

RÉAMENAGEMENT DES BASSINS DE STOCKAGE G2 ET G3 À AUBY (59)

REORGANISATION OF TWO STORAGE PONDS NAMED G2 AND G3, SITE OF AUBY

Maxime MARTHE¹, Thierry PIRRION¹, Jean-Frédéric OUVRY¹, Jean-Pierre ANDRE², Jean-Pierre KOWALSKI², Alessandro MICHELOTTI³, Dany GUIBERT⁴

1 Antea Group

2 NYRSTAR

3 AQUAGEO

4 FLI

RÉSUMÉ – Les bassins G2 et G3 sont deux bassins de décantation remplis par des boues fortement chargées en métaux. Ces produits peuvent être assimilés à des déchets dangereux. Pour limiter au maximum l'impact environnemental de ces bassins, il est nécessaire de les couvrir de manière étanche. La conception des couvertures a dû intégrer le caractère compressible des produits stockés, la gestion des eaux pluviales et l'intégration paysagère du site. La conception des couvertures, aboutie d'un point de vue technico-économique, a été obtenue grâce à un large usage des géosynthétiques.

Mots-clés : Bassin, couverture, étanchéité.

ABSTRACT – The ponds named G2 and G3 are two sedimentations ponds, filled by muds highly loaded with metals. These products are considered as hazardous waste. To reduce at maximum the environmental impact of these storages, it was decided to cover them in a waterproof way. The covering design had to include the compressible behaviour of the storage products, the rainwater management and landscape integration of the site. The design was completed from technical and economical point of view thanks to a large use of geosynthetics.

Keywords: Pond, covering, waterproofness.

1. Introduction

La société Nyrstar, basée à Aubry (59), produit des métaux et alliages depuis la fin du XIX^{ème} siècle. Cette activité induit la production de boues chargées en métaux qui sont stockées dans des bassins de décantation près de l'usine.



Figure 1. Bassins G3 (premier plan) et G2 (second plan) - source : C. LEPILLET – 2012.

En 2002, Antea Group a été sollicité pour produire une étude relative au réaménagement des bassins G2 et G3 (Fig.1). Les bassins G2 et G3 sont deux bassins en terre et « hors sol », équipés d'une géomembrane en fond et flancs de parement interne. Ledit réaménagement a pour objectif de confiner les produits de stockage, classifiés déchets dangereux pour l'environnement, en intégrant une gestion des eaux pluviales. Les géosynthétiques ont représenté une part prépondérante des travaux, permettant de réaliser notamment des couvertures étanches et drainantes au droit de ces bassins de respectivement 8 et 6 hectares. Les travaux se sont terminés en 2013.

La conception de ces réaménagements a dû prendre en compte les contraintes techniques suivantes :

- La réalisation de couvertures étanches en appui sur des boues compressibles d'une dizaine de mètres d'épaisseur,
- Le besoin de tamponner les eaux pluviales au sein des couvertures afin de respecter les critères de débit de rejet à l'hectare,
- La nécessité de prendre en compte l'intégration paysagère du site.

Le présent article présente comment ont été conçues ces couvertures au regard des contraintes du site. L'article revient ensuite sur les éléments clés du chantier et fait le point sur la situation actuelle après quatre ans de fonctionnement.

2. Conception des couvertures

2.1. Choix du type de couverture

Les boues stockées dans les bassins G2 et G3 sont des résidus issus de l'hydrométallurgie du zinc et sont appelées « goethite ». Bien qu'elle soit un résidu, la goethite, reste très chargée en zinc mais aussi en d'autres métaux toxiques pour l'environnement tel que le plomb ou le cadmium.

Dans ce contexte, le choix de la couverture s'est orienté vers une couverture de type imperméable, à l'image de ce qui est recommandé dans l'article 22 de l'arrêté du 18/12/1992 (arrêté relatif au stockage de certains déchets industriels spéciaux ultimes et stabilisés pour les installations existantes).

Si l'on se reporte au *Guide pour le dimensionnement et la mise en œuvre des couvertures de sites de stockage de déchets ménagers et assimilés* (BRGM, Ademe – 2001), chapitre 2, la goethite peut s'identifier aux « déchets peu évolutifs mais à potentiel polluant élevé ». Le guide de 2001 préconise lui aussi l'usage d'une couverture imperméable dans cette configuration tel qu'illustré Fig.2.

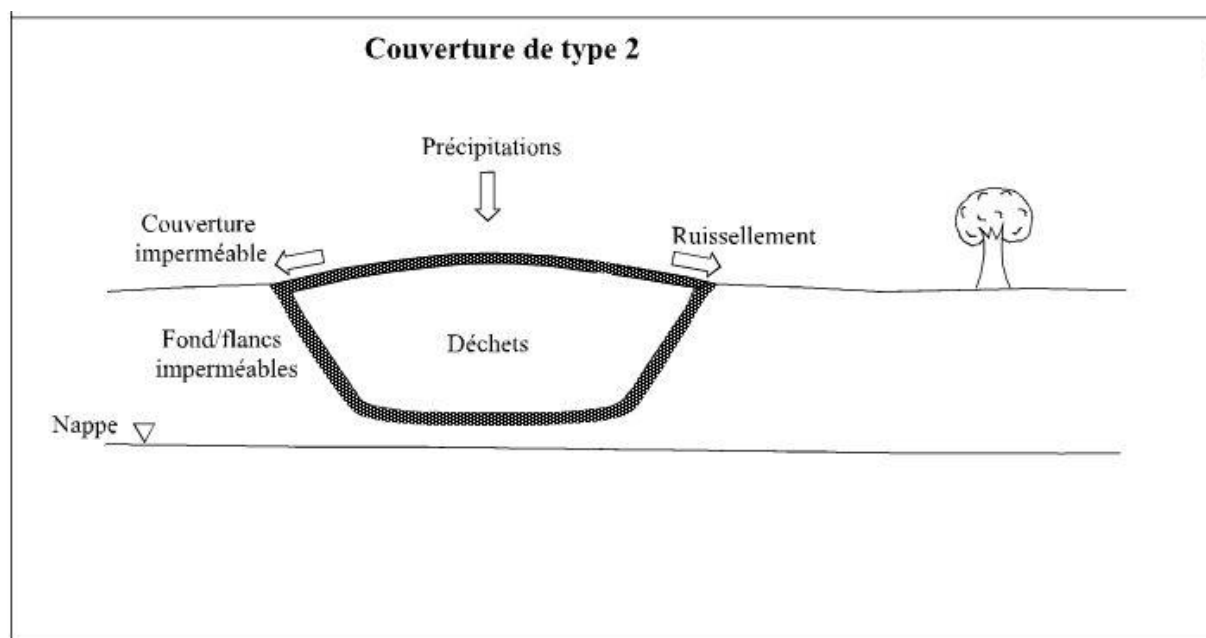


Figure 2. Type de couverture retenue pour les bassins G2 et G3, extrait du *Guide pour le dimensionnement et la mise en œuvre des couvertures de sites de stockage de déchets ménagers et assimilés* (BRGM, Ademe – 2001).

2.2. Configuration de la couverture

Pour concevoir les couvertures, nous avons dû intégrer un certain nombre de contraintes :

- Contrainte n°1 – l'absence de modelé

Le caractère relativement fluide des boues stockées dans les bassins G2 et G3 n'a pas permis de former un « dôme » de résidus lors de leur stockage. Pour répondre à cette première contrainte, nous avons proposé d'apporter des remblais permettant de donner un modelé au site. Ce point est primordial pour assurer une bonne gestion des eaux pluviales à long terme, ce qui implique une gestion gravitaire de ces dernières. Une pente minimale de 3% a été retenue pour la constitution des dômes.

- Contrainte n°2 – le caractère compressible des boues

L'étude géotechnique menée dans le cadre du projet a mis en évidence le caractère très compressible des boues. Par ailleurs, il est à noter que la consolidation des boues se poursuivra après la mise en place de la couverture. Pour répondre à cette problématique, nous avons assuré un préchargement des boues par les remblais d'apport permettant de réduire significativement les tassements résiduels. L'ensemble des tassements ne pouvant être totalement maîtrisé par la méthode de préchargement, nous avons retenu l'usage d'un géotextile de renforcement au sein du dispositif d'étanchéité par géomembrane. Le géotextile de renforcement a pour but de diminuer la formation de dépressions et ainsi limiter les efforts transmis au sein de la géomembrane.

- Contrainte n°3 – l'agressivité chimique des boues

L'eau au contact des boues est acide, le pH pouvant baisser jusqu'à 3. Dans ces conditions, nous avons retenu une géomembrane en Polypropylène flexible (PP-F), choix justifié par sa bonne résistance chimique associée à une souplesse appréciée au regard de la compressibilité des boues.

- Contrainte n°4 – le besoin de tamponner les eaux pluviales au sein des couvertures

Il est à noter que les bassins de stockage exploitent très bien l'emprise foncière du site, laissant extrêmement peu d'espace disponible en pied de bassin. Ainsi, aux pieds des bassins, on retrouve un mince fossé de collecte des eaux acheminant ces dernières jusqu'à un bassin tampon (Fig.3) d'une capacité limitée et non extensible de 1500 m³.

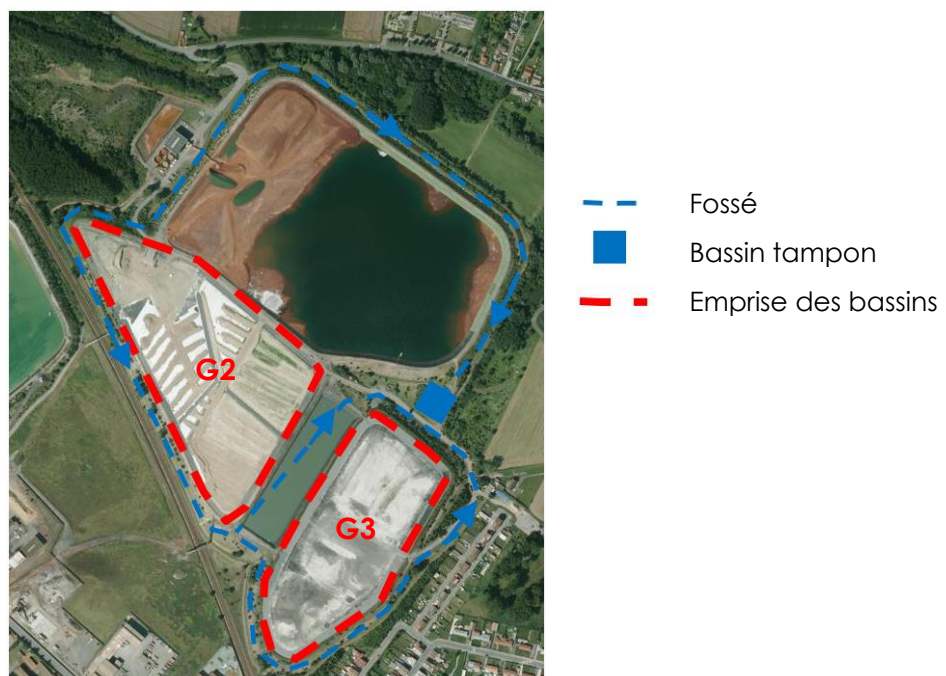


Figure 3. Type de couverture retenue pour les bassins G2 et G3 (source photo : Geoportail).

Dans le cadre de la pose des couvertures étanches, on estime que plus de 80% des précipitations vont être collectées et vont donc se diriger vers le réseau hydraulique actuel. Cette configuration va surcharger le réseau hydraulique existant. Hors, l'industriel a pour obligation de tamponner les eaux pluviales jusqu'à une pluie d'occurrence 10 ans et pour un débit rejet limité à 2l/s/ha. En partie Ouest, la présence d'une voie TGV oblige même l'industriel à empêcher tout débordement de ce côté pour une pluie d'occurrence 100 ans.

Dans ce contexte, nous avons pris le parti de tamponner directement sur les couvertures les eaux pluviales ruisselant sur celle-ci. Des fossés drainants et de grande dimension ont ainsi été réalisés en périphérie des dômes.

- Contrainte n°5 – le drainage des eaux pluviales

Pour assurer un bon drainage des eaux, un géocomposite de drainage est placé au-dessus de la géomembrane et sous la couche de terre végétalisée. Le géocomposite de drainage est dimensionné en fonction de la pente et pour reprendre le débit de référence correspondant à la part infiltrée pour une pluie décennale. Le géocomposite retenu se décompose respectivement en une nappe filtrante en polypropylène (assurant l'absence de contamination du dispositif drainant par la terre végétale), un réseau de mini-drains en polypropylène et enfin une nappe drainante en polypropylène.

Au droit des fossés de grande dimension, la terre végétale a été remplacée par une grave calcaire non traitée et bien calibrée. La GNT apporte une fonction de protection du dispositif d'étanchéité tout en assurant un drainage et un stockage des eaux pluviales (porosité de la GNT supérieure à 30%).

Notons également que le géocomposite de drainage répond aussi à une fonction anti-poinçonnement de la géomembrane sous-jacente.

- Contrainte n°6 - la nécessité de prendre en compte l'intégration paysagère du site

L'intégration paysagère du site a été assurée par la végétalisation d'une couche de terre. Par ailleurs, la couverture étanche n'a intéressé que la partie sommitale des bassins. Les flancs externes des digues, arborés dans l'ensemble, ont pu être préservés.

Intégrant l'ensemble de ces contraintes, nous avons retenu une structure de couverture avec une prééminence pour les géosynthétiques, ces derniers assurant les rôles de renforcement, d'étanchéité et de drainage. Par comparaison, une structure de couverture purement minérale (argile pour l'étanchéité, grave pour la couche de drainage) aurait présenté une épaisseur additionnelle de 1,5 m environ, elle aurait impliqué un volume non négligeable d'apports extérieurs en matériaux, un délai supplémentaire de travaux et enfin un surcoût estimé à 30 euros le m² (soit près de 4 millions d'euros à l'échelle des bassins G2 et G3). Vue en coupe (Figs.4 et 5), la structure retenue en dôme est la suivante :

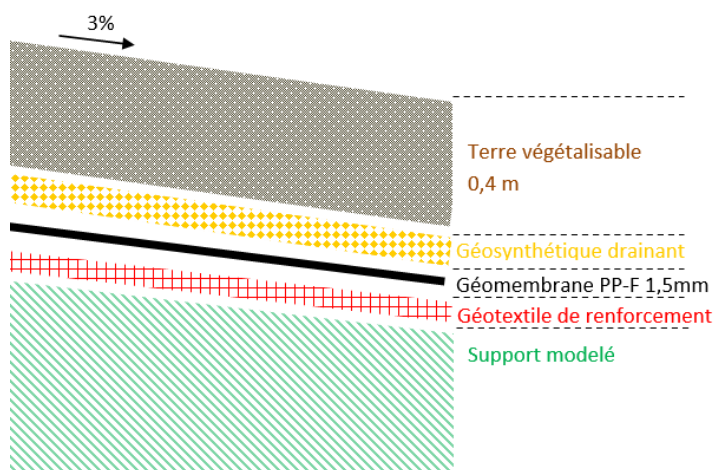


Figure 4. Structure de couverture retenue en dôme des couvertures G2 et G3.

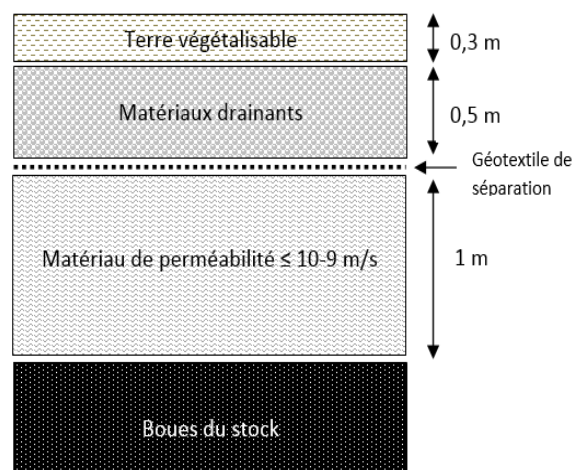


Figure 5. Structure de couverture minérale équivalente.

Au niveau de la gestion des eaux, pour chaque couverture de bassin, trois dômes ont été constitués. L'eau pluviale, ruisselant sur ces dômes, est ensuite récupérée par les fossés périphériques de grande dimension. Au niveau des points bas des fossés (4 points bas au total pour chaque bassin), un dispositif d'ajutage (Fig.6) est mis en œuvre pour assurer un débit de fuite limité à 2 l/s/ha.

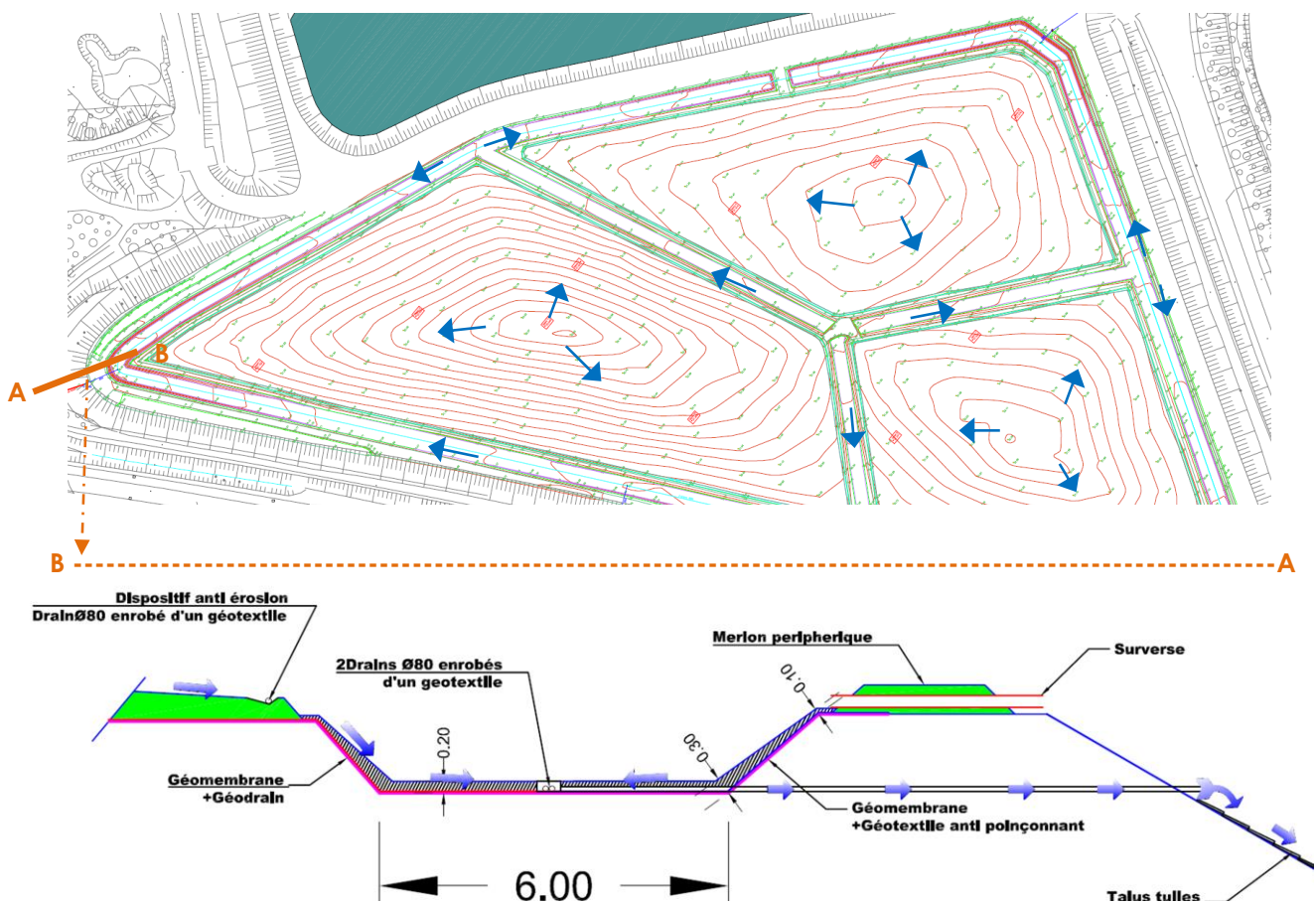


Figure 6. (En haut) Vue en plan du bassin G2 après modelage et illustration schématique du comportement hydraulique – (En bas) coupe schématique d'un point bas

2.3. Le dimensionnement de la couverture

Le dimensionnement de la géomembrane

La géomembrane PP-F a été retenue tout d'abord pour sa résistance chimique satisfaisante. L'épaisseur proposée de 1,5 mm représente le compromis entre souplesse, critère financier et bonne tenue mécanique.

Le dimensionnement du géotextile de renforcement

Au regard de l'étude géotechnique et du projet de remblaiement (jusqu'à 2 m de hauteur hors couverture), des tassements de consolidation atteignant 0,6 m ont été estimés dans les résidus boueux. Des tassements différentiels sont susceptibles d'affecter les dômes sus-jacents, ce qui pourrait être préjudiciable pour l'ouvrage si l'écoulement des eaux pluviales est perturbé. Pour éviter la création de contre-pentes, il a été fixé comme objectif de limiter l'amplitude des dépressions à 0,3 m (mesuré verticalement) pour un diamètre de 2,1 m au sein de la couverture. La mise en œuvre d'un géosynthétique de renforcement a donc été décidée pour réduire les tassements différentiels selon ces conditions. C'est le produit Stablenka 120/120 qui a été retenu. Sa justification est basée sur la méthode « Rafael » (Blivet et al., 2001), améliorée par Briançon et Villard (2008), dont il ressort les éléments de dimensionnement suivants :

Calcul de la déformée max (Rappel : dépression de 0,3m et 2,1 m de diamètre) : $\epsilon_g = 5,45 \%$

Tension de service (Charges et surcharges) : $R_t ; d = 18,5 \text{ kN/m}$

Raideur résultante à 5,45 % de déformation : $J = 341 \text{ kN/m}$

Résistance minimale exigée pour le Gsy (Application des coefficients de sécurité) : $R_t = 39,5 \text{ kN/m}$
($< 120 \text{ kN/m}$)

Lestage à plat requis : $L_L \geq 6,3 \text{ m}$

Pour assurer son ancrage, le géosynthétique de renforcement a été déroulé sous les fossés de drainage (fossés sous lesquels il n'y a pas de tassement attendu étant donné leur création en déblai).

Le dimensionnement du géosynthétique drainant

Les débits maximaux pouvant transiter au sein du géocomposite ont été estimés à partir d'une pluie de 24 h et d'occurrence 10 ans, d'une part infiltrée de 50 % (et 50% pour la part de ruissellement et d'évapo-transpiration) et des caractéristiques du plus grand bassin versant. Ce calcul nous a conduit à retenir un débit maximal de 50 l/m²/jour devant transiter dans le géocomposite de drainage.

A partir de l'hypothèse de débit, une modélisation a été réalisée à l'aide du logiciel Lymphéa®, développé avec le concours technique du Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Nancy et le Lirigm de Grenoble. Cet outil permet de valider la capacité de débit du système et de déterminer l'espacement des mini-drains dans le géocomposite en fonction de la longueur d'écoulement, de la pente, de la contrainte de confinement et du flux à drainer.

Pour la partie supérieure du géocomposite, nous avons retenu un géotextile de 500 g/m² et avec une résistance au poinçonnement de 2 kN pour assurer une fonction antipoinçonnante du produit. Rappelons qu'une couche de terre est prévue par-dessus le dispositif d'étanchéité par géomembrane, ce qui implique la circulation d'engins de chantier pour la mettre en œuvre. Le non poinçonnement de la géomembrane dans les conditions du chantier a été vérifié via la réalisation d'une planche d'essai en phase de travaux.

Le raccordement à l'existant

Dans le cadre des couvertures G2 et G3, nous n'avons pas cherché à retrouver la géomembrane en place. L'idéal aurait en effet été de se raccorder à l'ancienne par soudure, de manière à parfaitement isoler boues et eaux pluviales. Un débordement, sur les digues des bassins du dispositif d'étanchéité par géomembrane a été opté, comprenant un lestage du débord par la création d'un merlon de terre. Cette deuxième solution a été préférée pour éviter une recherche de géomembrane et un raccord par soudure hasardeux, ainsi que pour éviter de travailler au contact de la goethite. Pour rappel, cette disposition est illustrée sur la coupe de la figure 5.

En guise de synthèse, le tableau 1 présente les produits commerciaux retenus, leurs fonctions et leurs principales caractéristiques :

Tableau 1. Synthèse des géosynthétiques utilisés en couvertures des bassins G2 et G3.

Produit utilisé	Fonction	Caractéristiques principales
Stabilenka 120/120 de chez HUESKER	Renforcement	Résistance à la traction caractéristique (EN ISO 10-319) Longitudinale et Transversale $\geq 120 \text{ kN/m}$ Résistance à la traction sous 6% d'allongement (EN ISO 10-319) Longitudinale $\geq 50 \text{ kN/m}$
Géomembrane Wepelen FPP/ALKORTOP 1,5 mm distribué par RKW SE/RENOLIT France	Etanchéité	Produit ASQUAL Polypropylène flexible avec un module de flexion inférieur à 120 MPa (EN ISO 178) Masse surfacique nominale (EN 1849-2) : 1305 g/m ²
Draintube 500 FT1 D25 de chez AFITEX (Produit ASQUAL)	Drainage	Transmissivité dans le plan (NF G 38-018) sous 20 kPa : $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ Perméabilité normale au plan (EN ISO 11-058) : 50 l/s/m ²
	Filtration	Ouverture de filtration nominale (EN ISO 12-956) : 90 μm
	Protection	Masse surfacique (EN ISO 9-864) : 520 g/m ² Poinçonnement (NF G 38-019) : 2 kN

3. Exécution des couvertures

Les travaux démarrent par une période de préparation permettant une mise au point sur les procédures de travail et la vérification des fournitures conformément au cahier des charges de travaux. Concernant le volet des géosynthétiques, il a été notamment demandé à l'entreprise d'établir des plans de calepinage (Figs.7 et 8) et un phasage de travail préalablement aux travaux de pose.

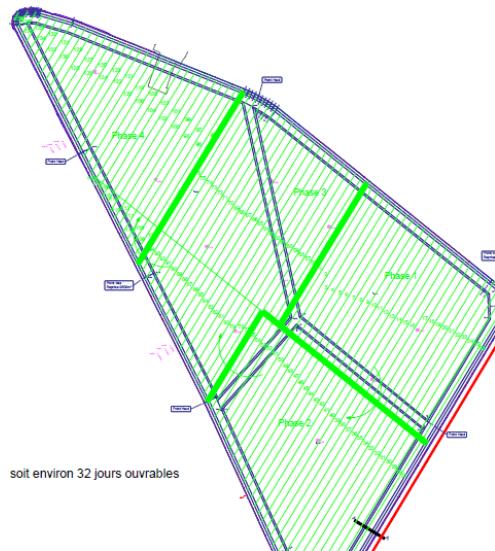


Figure 7. Bassins G2 – Extrait du plan de calepinage et phasage de pose de la géomembrane.

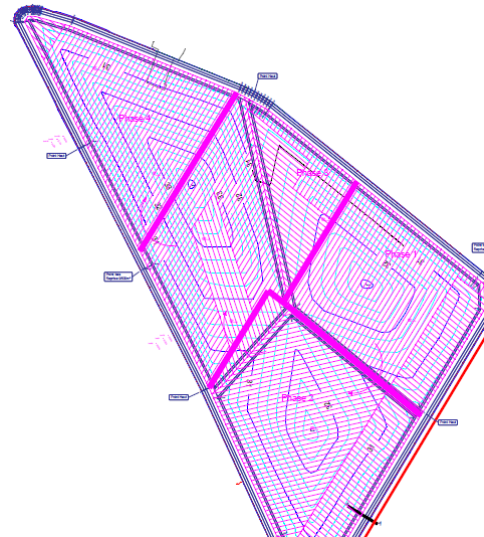


Figure 8. Bassins G2 – Extrait du plan de calepinage et phasage de pose du géocomposite drainant.

Les travaux ont démarré par les terrassements et notamment par la création des fossés périphériques (Fig.9). L'accent a été mis sur ce point pour s'assurer une bonne gestion des eaux durant tout le chantier. C'est aussi par les points bas qu'a débuté, autant que possible, la pose du géotextile de renforcement et de la géomembrane (Fig.10).



Figure 9. Bassins G2 – création des fossés de drainage et de tamponnement (Avril 2012).



Figure 10. Bassins G2 – Mise en œuvre du géotextile de renforcement suivi de la géomembrane au sein des fossés (Mai 2012).

Lors du déroulement des géosynthétiques, les points regardés avec attention sont la bonne qualité du support livré par le terrassier (support plan et non poinçonnant), le déroulement des géosynthétiques avec le respect des chevauchements entre lés et l'absence de plis, et le bon lestage au fur et à mesure de ces derniers (Fig.11). En ce qui concerne l'assemblage par soudure de la géomembrane, des

produits et des soudeurs certifiés Asqual ont été exigés. Les soudures ont été doublement contrôlées à 100%, d'une part par l'entreprise de pose elle-même et d'autre part par un organisme extérieur directement rémunéré par le maître d'ouvrage (Fig.12).



Figure 11. Bassins G2 – Pose de la géomembrane sur les dômes (Juin 2012).



Figure 12. Bassins G3 – Illustration du dispositif d'ajutage en point bas de fossé.

Sur ce type de chantier, la coordination entre terrassier et étancheur est un point essentiel. Il est nécessaire en effet de bien identifier les cadences de chacun et ainsi éviter de décaler des phases de travaux. Rapidement après la pose du géocomposite drainant, le terrassier vient pousser des antennes de terre végétale qui permet de lester le dispositif d'étanchéité par géomembrane. Ces antennes sont disposées en « arrêtes de poisson ». Le terrassier doit être sensibilisé au risque de poinçonnement ou de déchirure des géosynthétiques. Sur le présent chantier, l'amenée des terres par tombereau était autorisée sous réserve de circuler sur une épaisseur de terre végétale d'au moins un mètre. L'étalement de ces terres était ensuite assuré par pelle mécanique (Figs.13 et 14).



Figure 13. Bassins G2 – Géosynthétique drainant posé et création des pistes de terre végétale en « arrêtes de poisson » (Juillet 2012).



Figure 14. Bassins G2 – (Juillet 2012).

Sur ces chantiers de grande dimension, nous avons rencontré des problématiques d'érosion de la terre posée en couverture. Des ravines se sont formées en pied des dômes, au niveau des points d'accumulation des eaux de ruissellement (Fig.15). Un système de cunette et de butée en pied de dôme

a été créé pour freiner les eaux et les canaliser provisoirement (Fig.16). Un ensemençement rapide associé à une terre végétale de bonne qualité ont permis une végétalisation rapide et une stabilisation des dômes.



Figure 15. Bassins G2 – Apparition de ravines au sein de la terre végétale, au niveau du raccord entre dôme et fossé granulaire pluviales (Juillet 2012).



Figure 16. Bassins G2 – Couverture après reprise des ravines et création d'une cunette » afin de gérer le ruissellement des eaux pluviales (Juillet 2012).

4. Etat actuel et conclusions

Quatre ans après leur réalisation, les couvertures (Fig. 17) se comportent bien et ne souffrent d'aucune dégradation. Les eaux de ruissellement, collectées par la couverture, sont récupérées par le Maître d'Ouvrage qui les réinjectent dans son process industriel. C'est une économie d'eau que l'on peut estimer à près de 80 000 m³ d'eau par an.



Figure 17. Illustration des couvertures en 2014.

Notons que le géotextile de renforcement a semble-t-il bien joué son rôle, aucune dépression ne s'est formé au sein des couvertures malgré des cinétiques de tassements élevées. Les couvertures ont été

équipées de tassomètres pour surveiller les tassements, ces derniers ont atteint jusqu'à 500 mm d'amplitude depuis septembre 2012. A fin 2016, on mesure encore des cinétiques de tassements de l'ordre de quelques millimètres par mois (Fig.18).

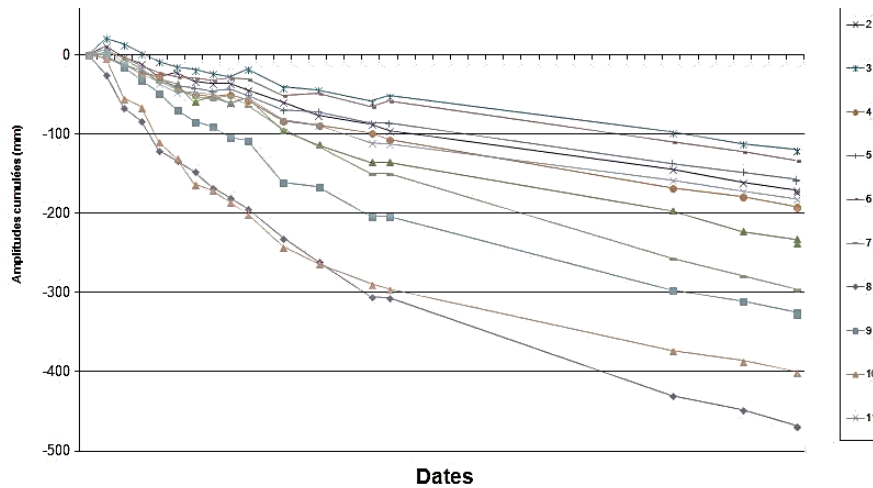


Figure 18. Amplitude des tassements mesurés (en mm) au droit des tassomètres de la couverture G2, allant de septembre 2012 à septembre 2016.

5. Conclusion

En conclusions, la réalisation de couvertures étanches intégrant une gestion des tassements, une gestion des eaux pluviales et une intégration paysagère des sites a été permise grâce à un large usage des géosynthétiques. Pour ces travaux, par comparaison à une structure de couverture minérale, l'utilisation des géosynthétique a permis une économie substantielle de 4 millions d'euros, mais aussi un gain sur les délais de chantier et enfin une baisse sur les nuisances avec un volume de transports nettement réduit.

En termes financiers, les travaux ont coûté 2 millions d'euros pour le bassin G2 et 1,6 millions d'euros pour le bassin G3, avec respectivement 1,2 et 0,9 millions d'euros liés à la fourniture et à la pose des géosynthétiques.

Les travaux ont montré l'importance d'une bonne coordination entre le terrassier et l'étancheur, tant sur la gestion des cadences de chantier que sur la préservation de l'intégrité du dispositif d'étanchéité par géomembrane.

6. Références bibliographiques

- Arrêté du 18/12/1992 relatif au stockage de certains déchets industriels spéciaux ultimes et stabilisés pour les installations existantes, article 22.
- BRGM, Ademe (2001), *Guide pour le dimensionnement et la mise en œuvre des couvertures de sites de stockage de déchets ménagers et assimilés*, chapitre 2, mars 2001.
- Blivet J.C., Khay M., Gourc J.P., Giraud H. (2001). Design considerations of geosynthetic for reinforced embankments subjected to localized subsidence. Proc. Geosynthetics'2001 Conference, February 12-14, Portland, Oregon, USA, PP 741-754.
- Briançon L., Villard P. (2006). Dimensionnement des renforcements géosynthétiques de plateformes sur cavités. *Revue Française de Géotechnique*, N°117, 4^{ème} trimestre 2006, pp. 51-61.
- Briançon L., Villard P. (2008). Design of geosynthetic-reinforced platforms spanning localized sinkholes, *Geotextiles and Geomembranes* 26, pp. 416-428.