

CONFINEMENT HAUTE DURABILITÉ : RÈGLES DE CONCEPTION ET CAS PRATIQUE

HIGH DURABILITY SITE SEALING: CONCEPTION RULES AND PRACTICAL CASE

Thierry CHASSAGNAC ¹, Matthieu CAO-THANH ², Cyril PESTRE ³, Nicolas GIMENEZ ⁴.

1 3C, Lyon, France

2 TOTAL, Paris, France

3 EODD, Lyon, France

4 EODD, Clermont l'Hérault, France

RÉSUMÉ – Certains déchets présentent un potentiel polluant à très longue durée de vie et il n'existe à ce jour pas d'autres solutions que de les confiner pour des durées qui se chiffrent en siècles. C'est le cas par exemple de certains monodéchets issus de la chimie. Cet article est tiré de plusieurs expériences des auteurs sur cette problématique spécifique de la haute durabilité (> plusieurs siècles) et se propose de présenter les règles de conception auxquelles ils ont abouti, les concepts qui en ont été tirés, comme celui de la "surveillabilité" des fonctions sensibles, ou d'autres. Ces propos sont illustrés par des éléments issus d'un projet de confinement d'un stockage de déchets industriels intégrant des solutions nouvelles d'absorption des déformations long terme à base de géosynthétiques et des solutions de contrôle de ces dernières.

Mots-clés : ISD, haute durabilité, tassements, élongation, géosynthétiques.

ABSTRACT – Certain wastes present a very long-lasting polluting potential and today there is no other solution than confining these wastes for centuries-durations, for example chemistry's mono-waste. This article is based on several experiments of the authors about this specific problematic of the high durability goal (> several centuries) and is intended to present the rules of design and the corresponding concepts, as "monitorability" of the sensitive functions, or others. This is illustrated by elements coming from a project of confinement of a chemical waste stack integrating new solutions for long term distortion absorption with geosynthetics and corresponding monitoring solutions.

Keywords : high durability, settlement, elongation, geosynthetics.

1. Introduction

La question de la durée de vie, ou durabilité dans le cadre de cet article, des ouvrages de confinement de masses polluées, s'est posée dès les premières expériences d'étanchéification de grandes surfaces. Si les retours d'expériences semblent montrer que la durée de vie des produits actuels est compatible avec la grande majorité des besoins en confinement, en particulier les déchets ménagers et assimilés, il demeure des cas où la question reste ouverte. Du fait de la durée importante du maintien du potentiel polluant de certaines masses confinées, comme par exemple certains déchets et terrils miniers, pollutions complexes sur friches historiques avec usages limités, déchets radioactifs ou autres, il est nécessaire de concevoir des ouvrages de confinement dotés du maximum de durabilité possible compte tenu des connaissances et des produits actuels.

Les facteurs de vieillissement des géosynthétiques (GSY) sont connus : l'oxydation, l'hydrolyse, la solvatation, la fissuration sous contraintes environnementales ou stress cracking, l'attaque microbiologique, la lixiviation des composants notamment des anti-oxydants (Farcas F., Touze-Foltz N., 2014). Les retours d'expérience ne dépassent cependant pas plusieurs dizaines d'années. Concernant les géomembranes (GMB), l'hypothèse d'une durée de vie de plusieurs siècles est communément admise dans la profession même si elle reste scientifiquement difficile à démontrer (Koerner et al., 2011). Une telle durabilité spécifique n'est cependant envisageable que si l'environnement fonctionnel des GSY (leur protection, leurs conditions de fonctionnement) est lui-même doté d'une durabilité équivalente et s'il garantit l'absence de sollicitations mécaniques sur cette période. On définira la durabilité globale de l'ouvrage comme la durée du maintien des performances de la fonction étanche mais également des fonctions associées (protection, renforcement, drainage). Cet article vise à identifier les règles de conception permettant de définir des ouvrages de haute durabilité globale.

Ces règles ont été appliquées dans la conception du confinement de sites de stockage de mono-déchets de l'industrie chimique en France. Les déchets considérés ici ont été stockés sur des épaisseurs importantes, dans des unités étanches appelées « bassins ». Les déchets sont relativement solubles et se densifient lentement sur plusieurs décennies, générant des tassements conséquents. Ils présentent une charge ionique élevée et une forte acidité. Eu égard au comportement à long terme de ces mono-déchets exposés aux pluies et aux risques résiduels actuels, la solution du confinement par couverture étanche a été étudiée. Elle concerne plusieurs sites pour une surface totale de plus de 100 hectares. Elle nécessitera un besoin d'apport de remblais de plusieurs millions de mètres cubes.

2. Règles de conception proposées

Ces règles, identifiées lors de différentes expériences de réflexion ou projet relatives à des solutions de haute durabilité, proposent des critères de conception de la structure de confinement en vue d'optimiser la durabilité de la solution. Elles sont issues d'une analyse fonctionnelle sur chaque fonction de l'ouvrage et dans les conditions du projet, prenant en compte l'ensemble des dysfonctions potentielles. Les fonctions sensibles du projet, dont les dysfonctions impactent significativement le fonctionnement global de l'ouvrage, sont identifiées dans le cadre de cette analyse fonctionnelle. Ces règles sont énoncées comme suit

Une solution de confinement durable :

- est nécessairement robuste vis-à-vis des risques liés aux différents facteurs d'agression envisageables :
 - o intrusion animale (fouisseurs), végétale (racines) et humaine (erreur, malveillance, régression sociale),
 - o climatique (gel, dessiccation, variation climatique majeure),
 - o mécanique (tassements, fluage, rupture de cavités),
 - o érosion : le choix des pentes revêt ici toute son importance ;
- prend en compte des événements dimensionnants de périodes de retour au moins centennales ou pluri-centennales. Intègre le changement climatique ;
- surdimensionne les fonctions sensibles identifiées selon l'analyse fonctionnelle ;
- assure la « surveillabilité » des fonctions sensibles (aptitude des éléments à être contrôlés) ;
- conserve une accessibilité optimisée aux éléments fonctionnels des fonctions sensibles (aptitude à la réparation simplifiée) ;
- limite à l'acceptable (3% d'allongement) les sollicitations mécaniques des éléments de la fonction étanchéité ;
- privilégie, à performance équivalente, les matériaux naturels minéraux aux matériaux fabriqués.
- limite le besoin d'entretien et privilégie les solutions rustiques aux solutions sophistiquées (gestion des eaux) ;
- a un coût « acceptable » et privilégie le réusage du site (exemple photovoltaïque).

Ces règles générales peuvent ponctuellement être contradictoires dans le détail, un compromis est alors à identifier.

3 Cas des stockages des mono-déchets de l'étude

3.1 Propriétés des déchets

3.1.1. Potentiel polluant

Les mono-déchets comportent une forte charge ionique essentiellement constituée de sulfates et de métaux avec un pH acide compris entre 2 et 3. Ces caractéristiques nécessitent un traitement permanent des eaux de percolation, dont le volume important induit des coûts annuels de traitement élevés. La modélisation de la lixiviation des dépôts montre que la neutralisation progressive des masses par évolution naturelle sous l'action de la pluie nécessitera plusieurs centaines d'années.

3.1.2. Solubilité

La solubilité significative (3-5 g/L) entraîne un risque d'apparition de cavité de dissolution dans le massif. Cette situation élève significativement le besoin d'une haute performance en termes d'étanchéité en cas de confinement des dépôts ; en effet l'occurrence d'une fuite ponctuelle, même minime peut conduire à

terme à la création d'une cavité sous la couverture et à un risque d'effondrement.

3.1.3. Caractéristiques mécaniques et fluage

Les mono-déchets sont dotés de bonnes caractéristiques géomécaniques avec notamment un angle de frottement très élevé (35 à >50 degrés). Ils se consolident sur une durée de 30 à 40 ans après leur mise en place sous l'effet de leur propre charge, comme le suggèrent les lois de croissance de leur densité sèche en fonction de la profondeur (figure 1). Cette densification du matériau avec le temps s'accompagne de tassements significatifs pouvant atteindre 8 m en 15 ans pour les zones de stockage les plus épaisses (40 m) (figure 2).

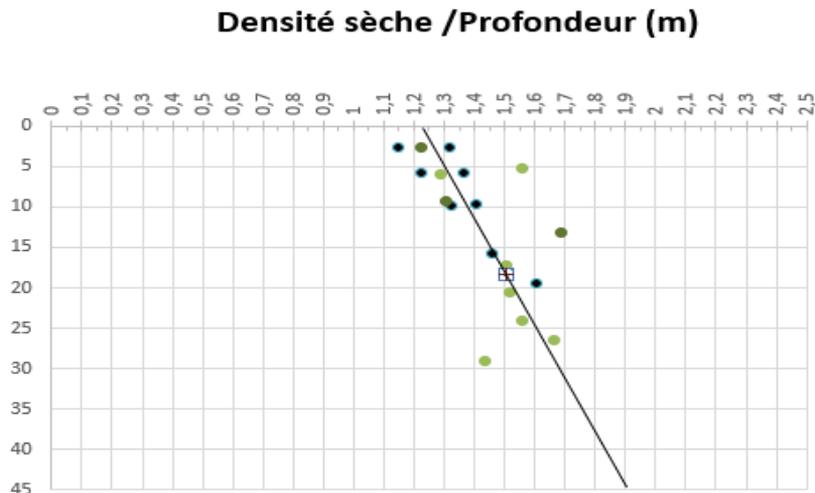


Figure 1. Evolution des densités sèches du mono-déchet non encore stabilisé

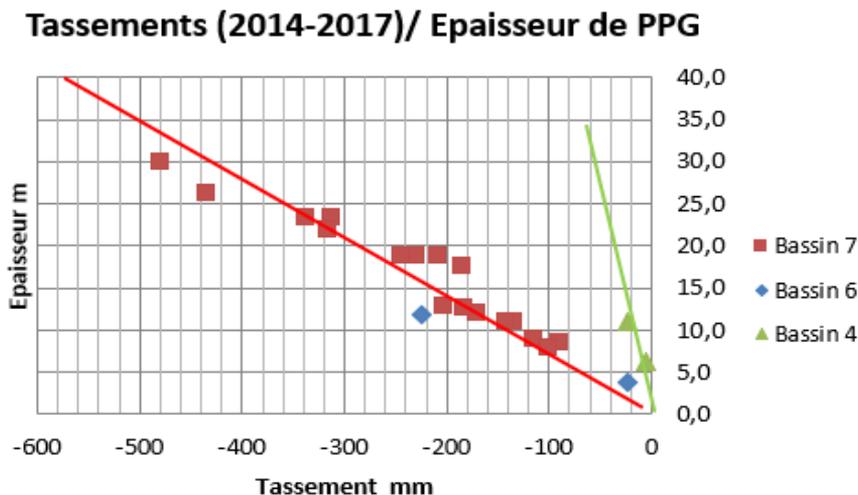


Figure 2. Evolution des tassements en fonction de l'épaisseur des déchets non stabilisés



Figure 3. Fissures de traction au droit de zones à tassements différentiel

Les vitesses de tassements étant différentes entre les bassins contigus d'âges différents, d'importants tassements différentiels peuvent apparaître en limites de bassins. De même, au droit de digues incompressibles enfouies sous le massif, des tassements différentiels significatifs peuvent engendrer des déformations importantes sur les matériaux et ouvrages de couverture. Le comportement à court terme du matériau étant très peu plastique, d'importantes fissures de traction ont été occasionnées dans le massif en début de stabilisation dans les zones à fort différentiel d'âge ou d'épaisseur (figure 3). Ces fissures peuvent représenter des zones de mise en traction sous l'effet des tassements résiduels.

Le suivi des tassements sur les massifs de déchets a également montré que, dans les versants, les tassements sont accompagnés de déplacements horizontaux dans le sens de la pente, d'un ordre de grandeur quatre fois moindre que les tassements.

3.1.4. Évaluation des tassements futurs

L'évaluation des tassements dans ce contexte de forte évolutivité dimensionnelle revêt toute son importance en vue de l'évaluation du comportement de la couverture et des GSY qui la composent. Le comportement rhéologique du matériau ne correspondant pas aux lois classiques de la consolidation en géotechnique, l'évaluation des tassements futurs s'est fondée sur la base d'hypothèses et de lois empiriques calées sur l'évolution de la densité avec la contrainte verticale telle qu'observée sur les bassins en fin de stabilisation. En particulier les hypothèses d'une reprise du fluage des déchets stabilisés dès lors qu'ils sont rechargés et d'une conservation de la loi de croissance de la densité avec la profondeur (ou contrainte verticale) ont été retenues. La stabilisation résiduelle des déchets les plus récents doit également être prise en compte en tenant compte d'une vitesse moyenne de tassement sur la durée résiduelle de stabilisation avant d'atteindre 35 années de vieillissement. Ainsi, l'évaluation des tassements totaux futurs, au terme d'une durée de 35 ans permettant une stabilisation complète, s'opère par sommation des trois types de tassement :

1. Tassement de fluage résiduel pour les bassins non stabilisés ;
2. Tassement de reprise de « fluage » sous charge dans les zones en remblai (jusqu'à 13 m de recharge) ;
3. Tassement de désaturation du massif lié à l'arrêt des infiltrations.

L'évolution en termes de densité sèche peut être représentée par le diagramme de la figure 4 :

L'évaluation des tassements et l'analyse du comportement du massif à long terme a permis d'identifier un certain nombre de zones sensibles vis-à-vis de la future couverture du fait des risques d'allongement y siégeant : les interfaces entre bassins d'âges différents, les bordures de flancs internes, les axes de digues enfouies sous faible épaisseur et les zones de fissures majeures anciennes. Les zones de bordures du plateau sommital élevé sont également exposées à l'extension liée à la composante horizontale des déplacements de fluage.

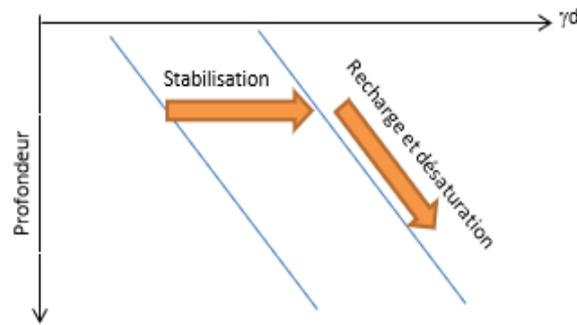


Figure 4. Évolution temporelle de la densité sèche suite au confinement

3.2 Design, partis pris techniques et solutions géosynthétiques

La recherche d'optimisation de la durabilité de l'ouvrage de confinement par l'application des règles définies ci-dessus a amené à rechercher la pente la plus faible possible eu égard au critère de disponibilité foncière périmétrique et aux coûts induits par les terrassements nécessaires (figure 5). En effet, les pentes faibles limitent les besoins en renforcement de pente et l'usage de GSY spécifiques, mécaniquement très sollicités et dont la durabilité reste inconnue sur le très long terme. Ces pentes sont également les garants d'une érosion limitée que l'on peut considérer comme un risque premier de dégradation des couvertures des ISD en contexte de changement climatique. Les pentes ont été fixées à 20% (11,3 degrés) en l'absence de contrainte foncière forte ce qui permet, avec l'usage d'une GMB structurée, d'éviter un renforcement géosynthétique. Sur un des sites en contexte périurbain manquant de disponibilité foncière périmétrique, la pente maximum a été fixée à 33% (18,4 degrés). Là encore l'usage d'une GMB structurée permet de limiter les efforts à reprendre par les GSY de renforcement qui restent nécessaires dans ce cas particulier.

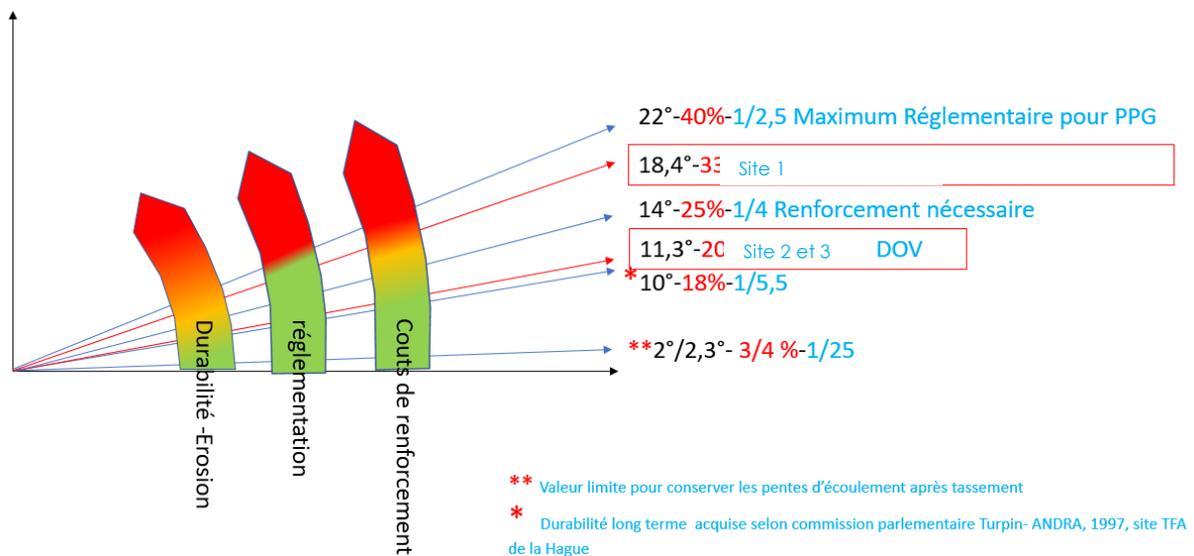


Figure 5. Analyse multicritère des pentes des confinements

De même la réflexion a amené au besoin de renforcement des deux fonctions identifiées comme sensibles par l'analyse fonctionnelle : les fonctions drainage de pente et étanchéité.

3.2.1. Renforcement de la fonction étanchéité

Le choix de l'épaisseur de la couche de protection du Dispositif d'Étanchéité-Drainage par Géosynthétiques (DEDG) a fait l'objet d'un compromis entre la recherche d'une forte épaisseur en vue de réduire le risque d'intrusion animale ou végétale et le besoin de conserver une accessibilité et une bonne aptitude à la surveillance et à la réparation. Ce niveau de protection a été fixé à 1,5 m en plateau et à 1 m en talus. Le traitement des zones avec mise en traction a été envisagé soit par mise en place d'un dispositif d'absorption des déformations quand ces dernières étaient significatives, soit par renforcement de la surveillance de la géomembrane.

Sur les zones de remontée de fissures majeures avec risque de rejeu résiduel, un faîtage glissant sera mis en œuvre permettant une élévation par glissement géomembrane sur géomembrane (figure 6). Une garde hydraulique de 0,75 m doit être assurée par mise en forme du fond de forme en merlon (pente ¼). L'étanchéité et le faible frottement du contact GMB/GMB sera assuré par des joints de bentonite sèche en 3 cordons de 1,5 kg/m sur chaque recouvrement. On peut espérer descendre jusqu'à 5-6% de frottement d'interface. Un drainage efficace doit être implanté en bordure du dispositif pour éviter toute remontée d'eau dans l'interface.

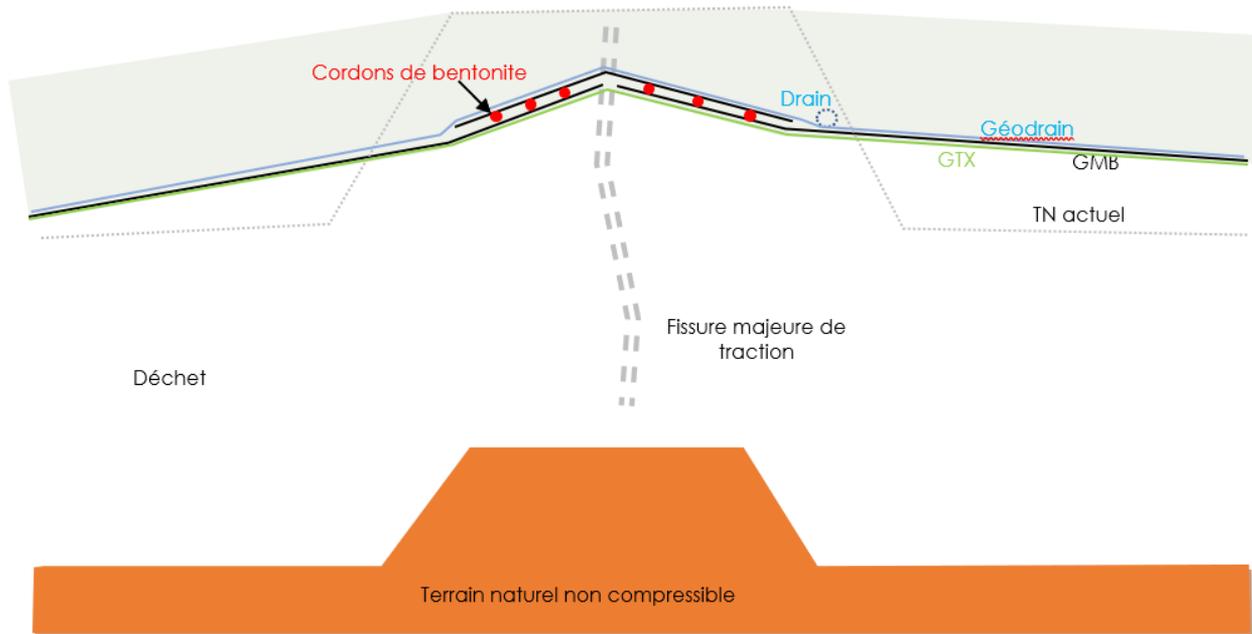


Figure 6. Dispositif de faîtage glissant

Le niveau de surveillance a été augmenté sur les zones à déformation attendue par la mise en place de dispositifs classiques de contrôle de déformation (extensométrie, profilométrie) ainsi que par la mise en place de dispositifs simples de mesure d'allongement pluridirectionnelle, spécialement développés dans le cadre de ces projets et dénommés roses d'allongement. Elles sont constituées de blocs de 9 repères fixés par extrusion sur la GMB (lors de sa pose) selon une maille de 30 cm et permettent de mesurer directement, avec un simple réglet, l'évolution de l'allongement local selon 4 directions (figure 7). Un regard de diamètre DN1000 avec échelon protégé le dispositif et permet l'accès direct à la GMB.

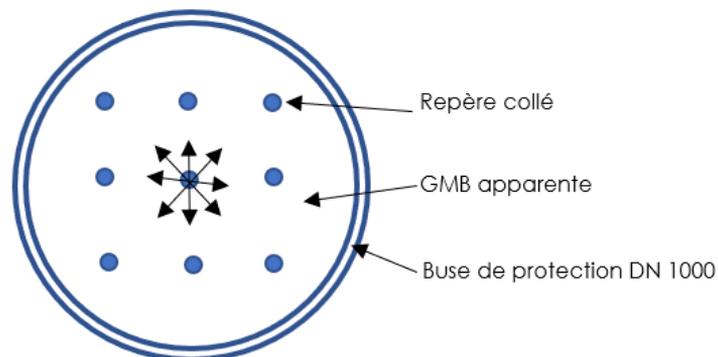


Figure 7. Rose d'allongement

3.2.2. Renforcement de la fonction drainage

Dans un contexte de durée de vie pluriséculaire, la fonction drainage est jugée particulièrement sensible du fait de la grande longueur des rampants des projets (plus de 150 m) et a fait l'objet de renforcement de divers types. D'une part la fonction assurée par une solution géosynthétique classique, dimensionnée pour des pluies extrêmes de fréquence centennale, a fait l'objet d'un complément en matériaux naturels de 30 cm d'épaisseur, jouant un rôle de capacité d'écoulement complémentaire, voire de substitution à

long terme. D'autre part une couche à faible perméabilité, compactée, a été insérée au cœur de la couche de protection en vue de limiter les infiltrations évitant une sur-sollicitation et un vieillissement plus rapide par colmatage. Dans le même esprit, en vue d'éviter toute mise en charge du drainage par vieillissement ou dysfonction des exutoires, ces derniers ont été conçus par solution aérienne et sans drain collecteur inséré. La mise en place d'une « bavette » en GSY permet de généraliser l'émergence des eaux drainées. La possibilité ainsi offerte de contrôler de visu les débits de drainage augmente la surveillabilité de la fonction. Les sorties d'eau canalisées (drains de décharge des géodrains) ont été renforcées par enrochement.

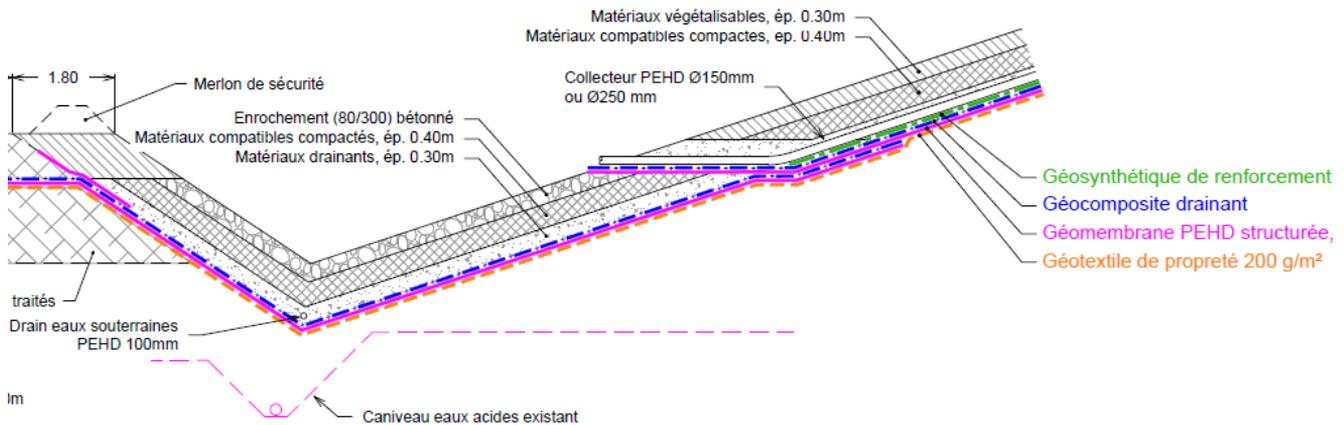


Figure 8. Renforcement de la fonction drainage

4. Conclusions

La durabilité des dispositifs de confinement des déchets est un sujet récurrent et fondamental pour les projets concernant les masses à potentiel polluant durable. La durabilité globale d'un ouvrage se définit comme la durée du maintien des performances de ses composantes principales (étanchéité, drainage) et c'est la durée de vie du composant le moins durable qui définit la durée de vie globale de l'ouvrage de confinement. Il convient donc d'identifier et de renforcer les composantes les plus sensibles pour rendre leurs durées de performances acceptables, sinon homogènes. Si certains GSY permettent d'espérer des durées de vie pluri-séculaires, il convient néanmoins que leurs conditions fonctionnelles l'autorisent réellement.

Les règles de conception identifiées dans le présent article et permettant de définir des ouvrages de haute durabilité globale reposent sur les principaux grands principes suivants :

- l'ensemble des facteurs d'agression doit être pris en compte,
- les solutions minérales sont généralement privilégiées par rapport aux solutions manufacturées, à performances égales,
- les fonctions sensibles sont surdimensionnées,
- les sollicitations mécaniques des GSY sont évitées ou limitées,
- la « surveillabilité » et la réparabilité des fonctions sensibles sont recherchées.

L'application de ces règles de conception ne révolutionne pas les règles de l'Art, mais elle permet de viser des pérennités nettement plus élevées.

5. Références bibliographiques

- Ardaman & Associates Inc (2006). Effectiveness of secondary liners in reducing phosphogypsum stack post-closure liabilities. Florida Institute of Phosphate Research Publication No. 01-190-237, 53 pages.
- Camp S. (2008). Comportement sous flexion d'une argile : application à la couverture d'une ISD TFA. Université de Grenoble. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA Vol. 43 No3 September 2012 ISSN 0046-5828, pp.55-61.
- Farcas F., Touze-Foltz N. (2014). Vers une évaluation de la durabilité des géomembranes en polyéthylène haute densité (PEHD) dans les installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND). Actes Journée CFG Durabilité des géosynthétiques dans les ouvrages, 28 pages.

- Olivier F. (2003). Tassement des déchets en CSD de classe II : du site au modèle. Mémoire de thèse de Doctorat, Université de Grenoble, 325 pages.
- Giroud J.P., Gourc J.P. (2014). 40 ans après, la première double étanchéité par géomembrane est toujours en service. Actes Journée CFG Durabilité des géosynthétiques dans les ouvrages, 28 pages
- Koerner R.M., Hsuan Y.G., Koerner G.R., (2011). Geomembrane Lifetime Prediction: Unexposed and Exposed Conditions. GRI White Paper #6, 27p.