

Utilisation des matériaux géosynthétiques dans la gestion et la dépollution des sites et sols pollués (SSP)

Thierry Gisbert

La problématique « Sites et sols pollués » en France

Il n'existe pas, en France, de valeur limite définissant des seuils de pollution des sols pour envisager une réhabilitation du site. Toutefois, pour pouvoir orienter les actions, les résultats d'analyses sont comparés aux valeurs réglementaires et/ou aux fonds géochimiques régionaux ou nationaux :

– pour les terres restant en place, aux « valeurs terres banalisables génériques » (VTB), définies par l'UPDS¹, à la demande du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT). À l'heure actuelle, elles n'ont toutefois aucun caractère réglementaire. Elles permettent de caractériser les terres excavées pouvant être utilisées comme remblais, sans contraintes sanitaires (et ce en raison de leur définition basée sur une évaluation quantitative des risques sanitaires pour l'usage le plus sécuritaire possible – usage résidentiel avec jardin potager), et quelle que soit leur origine (sauf dans le cas de terres contenant des substances polluantes autres que celles prises en compte pour la définition des VTB) ;

– aux fonds géochimiques nationaux en métaux : résultats généraux du programme ASPITET² (Denis Baize, INRA³, Centre d'Orléans) qui présentent des teneurs totales en « métaux lourds » dans les sols français dits ordinaires ;

– pour les terres excavées à éliminer en centre agréé, aux valeurs seuils d'acceptation en instal-

lation de stockage de déchets industriels inertes (SDI), lorsqu'elles existent, présentées dans l'arrêté du 15 mars 2006 fixant la liste des types de déchets inertes admissibles dans des installations de stockage de déchets inertes et les conditions d'exploitation de ces installations ainsi que dans les arrêtés préfectoraux de ces installations.

Attention, ces valeurs ne sont que des valeurs guides. Il ne s'agit pas d'objectifs de réhabilitation des sites pollués qui sont définis au cas par cas sur la base des performances atteignables par les techniques de réhabilitation disponibles et/ou de calculs de risques, dans le cadre du plan de gestion du site au sens des circulaires du MEEDDAT du 8 février 2007.

Concernant les eaux, l'impact d'un site sur la qualité des eaux s'étudie selon deux critères :

– l'impact est considéré comme significatif dès lors que l'on peut observer une augmentation de concentration d'au moins 50 % entre l'amont et l'aval hydraulique du site ;

– une pollution est considérée comme avérée dès lors que les teneurs observées à l'aval du site sont supérieures au critère retenu.

Par conséquent, les critères de comparaison retenus devront être, selon les cas :

– les limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (normes de potabilité) issues de l'arrêté du 11 janvier 2007 ;

– les valeurs limites de qualité des eaux brutes de toutes origines utilisées pour la production d'eau

1. Union professionnelle des entreprises de dépollution des sites.

2. Apports d'une stratification pédologique à l'interprétation des teneurs en éléments-traces.

3. Institut national de la recherche agronomique.

Les contacts

Arcadis, 9 avenue Réaumur, 92354 Le Plessis-Robinson Cedex.

4. Organisation mondiale de la santé.

destinée à la consommation humaine (valeur limite pour la potabilisation) issues de l'arrêté du 11 janvier 2007 ;

- les valeurs guides de l'OMS⁴ ;
- les normes de qualité et les valeurs seuils définissant le bon état chimique des eaux souterraines définies dans l'arrêté du 17 décembre 2008.

Les pollutions sur sites sont de natures variées mais résultent toujours de la défaillance d'une activité industrielle passée ou présente ou d'accidents de transport de produits polluants. Seuls les systèmes « dégradés » ont donc généré les sites dont il est question dans cet article. La gestion des polluants en contexte de fonctionnement industriel habituel (ou de routine) ne sera pas abordée.

Origines multiples et nature des pollutions

Les sites pollués sur lesquels nous intervenons régulièrement existent principalement depuis la fin du dix-neuvième siècle et il n'est pas rare d'avoir à intervenir aujourd'hui sur des pollutions dont la genèse est plus que centenaire, voire bien davantage, dans le cas des activités minières par exemple, dont certaines remontent à la période romaine.

En contexte industriel, les polluants sont aussi variés que les procédés qui les ont générés : hydrocarbures, métaux et solvants chlorés constituent néanmoins les principales familles rencontrées.

Les accidents de transport ont également généré leur lot de pollutions multiples, souvent représentées par les hydrocarbures. Les marées noires sont les plus connues du grand public, mais les déversements accidentels sont aussi inhérents à des accidents de la route ou du rail. À ce sujet, on se réfèrera notamment aux publications du CEDRE⁵.

Le contexte français de prise en compte des sites et sols pollués (SSP)

La prise en compte, de manière structurée, de la problématique des SSP en France a commencé principalement dans les années quatre-vingt. Le contexte réglementaire national s'est étoffé dès le début des années quatre-vingt-dix (loi « Barnier » en 1993) alors qu'augmentait la sensibilisation des acteurs concernés.

Dès 1994, sous l'égide du ministère en charge de l'environnement, le BRGM⁶ a développé des

inventaires des sites ayant été occupés par des activités de type industriel. La base de données BASIAS⁷ est destinée au grand public et est accessible sur internet. Par ailleurs, la base BASOL⁸ présente la liste des sites pollués recensés par les pouvoirs publics et faisant l'objet d'une action.

Durant les vingt-cinq dernières années, de nombreux diagnostics ont été réalisés et le sont encore, pour connaître les problèmes posés par de tels sites et mettre en place les mesures permettant qu'ils ne soient pas générateurs de risque compte tenu de l'usage qui en est fait.

En effet, la prise en compte croissante des principes du développement durable (et aussi d'un certain pragmatisme lié au nombre de plus en plus important de sites pollués recensés) s'est traduit par une évolution des pratiques. On est passé du principe « on enlève tout » à une approche plus globale intégrant l'usage futur du site.

Un impact existe là où les usages des milieux sont compromis, notamment au regard des critères sanitaires. Les études de risques sont donc le préalable nécessaire à toute décision de dépollution réfléchie : les vecteurs de transfert eau, air et ingestion y sont considérés. L'eau reste le principal vecteur concerné mais n'est donc pas le seul. La limite de l'acceptabilité des impacts dépend de l'usage que l'on veut ou que l'on peut maintenir ou préserver ; à titre d'exemple, pour les eaux, les usages peuvent être : eaux potables, potabilisables, industrielles, etc.

En 2008, les sites et sols pollués sont évoqués dans l'article 38 de la loi « Grenelle 1 » et leur réhabilitation a été identifiée par le gouvernement comme un des points importants dans le récent plan de relance de l'économie.

Dès lors, la gestion des risques suivant l'usage du site :

- ne s'oppose pas à rechercher et à traiter les sources de pollution en tenant compte des techniques de dépollution disponibles et de leur coût ;

- permet de laisser des produits pollués en place *si les pollutions et les voies de transfert sont maîtrisées et à condition d'en garder la mémoire.*

Cette analyse des risques doit se baser sur un bilan environnemental global pour favoriser une gestion équilibrée et transparente.

En 2009, polluer des milieux ou laisser des milieux pollués n'est pas admissible, alors qu'il existe une

5. Centre de documentation de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux.

6. Bureau de recherche géologique et minière.

7. Base des anciens sites industriels et activités de service.

8. Cf. le site internet : <http://basol.environnement.gouv.fr>

panoplie de techniques éprouvées qui permettent, avec discernement, non seulement de dépolluer (plus ou moins partiellement) des milieux impactés, mais aussi d'éviter de polluer les milieux.

L'utilisation des matériaux géosynthétiques dans la gestion des sites et sols pollués

Les géosynthétiques trouvent tout naturellement leur place dans la gestion des SSP et dans la mise en œuvre des différentes techniques de dépollution. Ils suivent en cela l'évolution des techniques et des pratiques en la matière : les solutions appliquées à la gestion et au traitement des SSP ont été, dans un premier temps, transposées à partir de celles en vigueur dans le monde des déchets puis, l'expérience grandissant, adaptées ou développées pour ce contexte. Pour autant, les sols pollués ne sont pas considérés systématiquement comme des déchets, notamment s'ils restent sur le site de leur genèse.

L'application des géosynthétiques à des « systèmes dégradés » constitue l'objet de cet article. Dès lors, l'utilisation des géosynthétiques pour la prévention de la migration de produits polluants, en contexte de fonctionnement industriel habituel et prévisible, n'est pas considérée ici. On pourra, par exemple, se référer à Touze-Foltz et Lupo (2009) pour avoir un panorama de l'utilisation des géosynthétiques dans les applications minières. Il reste que la distinction est parfois difficile à faire dans certains des cas que nous avons répertoriés.

Plus d'une vingtaine d'études de cas d'utilisation des géosynthétiques dans la gestion des SSP ont été répertoriées, principalement à la lecture des multiples éditions des « Rencontres Géosynthétiques » qui se sont révélées être une mine d'informations précieuse !

Les tableaux 1 et 2 rassemblent respectivement les références et le contexte de ces études de cas, numérotées de 1 à 25 ; on se référera également à la liste bibliographique située en fin de publication.

Les premiers chantiers mentionnés remontent à la fin des années quatre-vingt, traduisant la prise en compte naissante de la gestion des SSP. La première publication parlant, dans les Rencontres, de technique adaptée « pour contenir les déperditions liquides » (Violas, 1993), date de 1993, mais les premiers témoignages de l'utilisation des

géosynthétiques dans les chantiers de dépollution *stricto sensu* ont été publiés dans les « Rencontres Géosynthétiques », en 1997 (Eberentz et Ouvry, 1997 ; Meusy et Eloy Giorni, 1997).

Il apparaît clairement que la fonction « étanchéité » est la principale fonction recherchée et le mot « confinement » revient souvent dans les exemples cités.

La lecture du tableau 2 montre que les polluants à traiter sont souvent métalliques : Cr (chrome), Fe (fer), Mn (manganèse), As (arsenic), mais les cyanures, les hydrocarbures, le benzène, les polychlorobiphényles (PCB), les phtalates ou même les sels font partie des substances polluantes traitées.

Nous avons classé ces différentes études de cas en fonction de la famille à laquelle appartient la technique de dépollution utilisée, hors site, sur site ou *in situ* (tableaux 3 à 6) :

- *hors site*. Les matériaux pollués sont excavés, transportés et traités hors du lieu de leur genèse ;
- *sur site*. Les matériaux pollués sont traités sur le site, au sens de la propriété foncière, mais ils sont déplacés ou excavés pour le traitement ; les terrassements restent importants ;
- *in situ*. La pollution est traitée ou confinée en place, sans excavation des matériaux pollués ; les terrassements sont minimes et l'opération est réalisée sur le lieu même où la pollution a été générée.

Chantiers sur site et hors site : terrassements significatifs

Seize études de cas se rapportent à ces deux familles de procédés dont le point commun est la nécessité du déplacement des matériaux pollués, ce qui se traduit en général par des terrassements significatifs.

LES CONFINEMENTS SUR SITE

Les chantiers de confinement sur site représentent, à eux seuls, près de la moitié de l'ensemble des chantiers répertoriés (tableau 3) entre 1986 et 2008. Ils ne sont donc pas typiques d'une époque ou d'une autre. Ce type d'intervention est fréquent dès lors que le produit pollué peut être laissé dans l'emprise du terrain à dépolluer, mais doit être déplacé, pour des raisons :

- de technologie disponible : charge polluante trop importante ou traitement *in situ* inadapté ;

▼ Tableau 1 – Références des études de cas, des chantiers ou des travaux répertoriés.

| n° cas étudié | Année du chantier | Année Publication | Source de la publication | Auteurs | Affiliation |
|---------------|-------------------|-------------------|---|---------------------------------------|---|
| 1 | 1986 et ? | 1999 | Rencontres Géosynthétiques | Ballie, Studio et Breul | Colas |
| 2 | 1990 | 1999 | Rencontres Géosynthétiques | Ballie, Studio et Breul | Colas |
| 3 | 1991 | 1999 | Rencontres Géosynthétiques | Duwelz, Laureau, Mercier et Breul | DDE Nord et Colas |
| 4 | 1990 et 1994 | 1999 | Rencontres Géosynthétiques | Duwelz, Laureau, Mercier et Breul | DDE Nord et Colas |
| 5 | 1992 | 1993 | Rencontres Géosynthétiques | Violas | Fournier SA |
| 6 | 1994 | sans objet | Communication personnelle | Gisbert | Arcadis |
| 7 | 1995 | 1997 | Rencontres Géosynthétiques | Eberentz et Ouvry | Antea |
| 8 | 1995 et 1996 | 1999 | Rencontres Géosynthétiques | Duwelz, Laureau, Mercier et Breul | DDE Nord et Colas |
| 9 | 1996 | 1999 | Rencontres Géosynthétiques | Bourassin, Fayoux et Morizot | Fillon, Alkor Draka et Menard-Soltraitement |
| 10 | < 1997 | 1997 | Rencontres Géosynthétiques | Eberentz et Ouvry | Antea |
| 11 | < 1997 | 1997 | Rencontres Géosynthétiques | Eberentz et Ouvry | Antea |
| 12 | < 1997 | 1997 | Rencontres Géosynthétiques | Meusy et Eloy-Giorni | Agru France |
| 13 | < 1997 | 1997 | Rencontres Géosynthétiques | Eberentz et Ouvry | Antea |
| 14 | 1997 | 1999 | Rencontres Géosynthétiques | De Bont et Ouvry | Agri France et Antea |
| 15 | 1998 | 1999 | Rencontres Géosynthétiques | Faure et Itty | Sacer |
| 16 | 1998 | 1999 | Rencontres Géosynthétiques | Duwelz, Laureau, Mercier et Breul | DDE Nord et Colas |
| 17 | 2003 | 2006 | Rencontres Géosynthétiques | Ouvry et Pecci | Antea |
| 18 | 2005 | 2009 | Rencontres Géosynthétiques | Meusy | Agru Environnement France |
| 19 | 2002 à 2006 | 2009 | Rencontres Géosynthétiques | Benchet, Chalot, Steiner et Jacquemin | Siplast, Bec Frères, Ademe |
| 20 | 2005 – 2007 | 2009 | Rencontres Géosynthétiques | Ouvry et Hoang | Antea |
| 21 | 2007 | 2009 | Rencontres Géosynthétiques | Ouvry et Baghri | Antea et Somas |
| 22 | 2008 | 2009 | Rencontres Géosynthétiques | Meusy | Agru Environnement France |
| 23 | 2008 | 2008 | Lettre du CEDRE 24/04/2008 | CEDRE | CEDRE |
| 24 | 2008 à 2013 ? | 2008 | 1 st Int. Conf. on Haz. Waste Management | Gisbert, Ferrière et Thépaut | Arcadis |
| 25 | > 1990 | Sans objet | Nombreux chantiers ; peu de publications | Sans objet | Sans objet |

▼ Tableau 2 – Contextes des études de cas répertoriées.

| n° cas étudié | Année du chantier | Contexte de l'étude de cas, du chantier ou des travaux |
|---------------|-------------------|--|
| 1 | 1986 et ? | Recouvrement d'un terril de charrées de chrome par une géomembrane pour empêcher la lixiviation du Cr VI |
| 2 | 1990 | Transport et confinement de 18 000 m ³ de charrées de chrome d'un remblai SNCF vers un terril préexistant |
| 3 | 1991 | Recouvrement d'un terril de charrées de chrome par une géomembrane pour empêcher la lixiviation du Cr VI |
| 4 | 1990 et 1994 | Suite à pollution par le Cr VI, reprise d'étanchéité sur un remblai autoroutier réalisé en 1969 avec 450 000 tonnes de résidus chromés |
| 5 | 1992 | Paroi verticale en géomembrane pour détourner les eaux souterraines d'une ISD |
| 6 | 1994 | Recouvrement du flanc d'un terril de résidus de traitement de pyrite ; site minier |
| 7 | 1995 | Site industriel – Sol pollué aux PCB en zone urbaine : paroi étanche et couverture |
| 8 | 1995 et 1996 | Couverture étanche de résidus chromés stabilisés, provenant d'une ancienne usine de galvanoplastie |
| 9 | 1996 | Confinement, drainage et captage des émanations gazeuses provenant de la pollution aux hydrocarbures sous le stade de France |
| 10 | < 1997 | Complexe sidérurgique – Sol pollué par huiles de laminoir : paroi étanche + couverture |
| 11 | < 1997 | Site industriel – Nappe polluée par benzène et phtalates : paroi étanche et drainante |
| 12 | < 1997 | Site industriel – Nappe polluée par phtalates : paroi étanche et drainante |
| 13 | < 1997 | Complexe sidérurgique – Sol pollué par métaux, cyanures et hydrocarbures : excavation puis lixiviation en tas |
| 14 | 1997 | Reprise de la couverture d'un « tombeau d'arsenic » suite à une défaillance du confinement réalisé en 1991 |
| 15 | 1998 | Réalisation du dispositif d'étanchéité basal d'une aire de maturation des mâchefers |
| 16 | 1998 | Extension d'un parking d'hypermarché : reprise d'un échangeur sur l'A22 et confinement des charrées de chrome extraites lors des travaux |
| 17 | 2003 | Après étude de risque : le captage des gaz du sol, sous un bâtiment recevant du public, est amélioré par la mise en œuvre d'une géomembrane |
| 18 | 2005 | Étanchéité d'une cuve béton enterrée, soumise à des contraintes mécaniques et chimiques en cas de déversement accidentel de polluants |
| 19 | 2002 à 2006 | Site minier ; confinement de déchets et sols arséniés : création d'un casier étanche (6300 t) puis couverture d'une zone moins polluée (500 000 m ³) |
| 20 | 2005 – 2007 | Création de bassins pour le traitement passif d'eaux d'exhaure de mine, chargées en fer et manganèse |
| 21 | 2007 | Prévention de pollution : création d'un casier pour le stockage du sel d'encroûtement extrait lors de la réfection d'un bassin de stockage de saumures |
| 22 | 2008 | Confinement vertical en périphérie d'un site de stockage de phosphogypses, générant une pollution de l'aquifère |
| 23 | 2008 | Utilisation de géosynthétiques en urgence pour aider au nettoyage après une marée noire |
| 24 | 2008 à 2013 ? | Bio-traitement in situ d'un terril de charrées de chrome par injection de nutriments et précipitation de Cr III |
| 25 | > 1990 | Traitement de terres polluées par hydrocarbures (principalement) en biocentres ou biopiles |

▼ Tableau 3 – Recensement d'utilisations de géosynthétiques dans les chantiers de confinement sur site.

| n° cas étudié | Année Chantier | Lieu/chantier | Produits utilisés | Fonctions des géosynthétiques | Commentaires/chantier | Type de confinement | Commentaires relatifs à la conception |
|---------------|----------------|---|--|--------------------------------------|--|----------------------|---|
| 1 | 1986 et ? | Couverture du « Grand Terril » des Charrées de chrome de Wattlelos ; Nord | Géomembrane bitumineuse 3,9 mm | Étanchéité | Géomembrane posée sur les déchets (pH 12) et exposée aux intempéries | Couverture | Peu d'informations sur la conception ; talus recouverts plus tard |
| 3 | 1991 | Terril de 180 000 m ³ ; Nord | Géomembrane bitumineuse géotextiles, gabions + terre | Étanchéité | Recouvrement en tuiles de la géomembrane sur les talus | Couverture | Géomembrane choisie en raison de son « très faible coefficient de dilatation thermique » permettant un recouvrement en tuiles |
| 4 | 1990 et 1994 | Imperméabilisation des talus et plates-formes de l'autoroute A22 à Marcq en Baroeuil ; Nord | Géomembrane bitumineuse et géotextile drainant en sous face (talus) + gabions et terre | Étanchéité Drainage Protection | Travaux réalisés en conditions difficiles (circulation, risques de pollution et toxicité pour le personnel) | Casier et couverture | Pas d'informations sur les raisons du choix des produits ni sur les aspects conceptuels |
| 6 | 1994 | Mine de Chizeuil ; Saône et Loire | Géosynthétique bentonitique | Étanchéité | GSB posé sur les déchets (pH 2 à 4) et recouvert de terre végétale | Couverture | Pas d'information sur la conception ou les raisons du choix du produit |
| 8 | 1995 et 1996 | Normandie | Géotextile inférieur, géomembrane bitumineuse 4,8 mm, sable drainant et terre | Étanchéité Protection | Casier de type « ISD » réalisé sur site | Casier et couverture | Géomembrane choisie en raison de son « très faible coefficient de dilatation thermique » permettant un recouvrement en tuiles |
| 14 | 1997 | Ancienne usine d'engrais Cofaz à Pierrefitte Nestalas ; Hautes Pyrénées | Géomembrane PEHD 1,5 mm + géotextiles de protection + géosynthétiques de drainage gaz et eau | Étanchéité Protection Drainage | Couverture de type ISDD réalisée sur site (déchets déplacés) | Couverture | Pollution métallique : conception de type ISDD avec géomembrane PEHD – dimensionnement des géosynthétiques présenté. |
| 16 | 1998 | Travaux de reprise de l'échangeur de Roncq et extension du parking Auchan ; Nord | Géomembrane bitumineuse 3,9 mm ; terre de recouvrement stabilisée sur les talus par un par géoespaceur | Étanchéité Anti-érosion | Travaux réalisés en conditions difficiles (risques de pollution environnementale et de toxicité pour le personnel) | Couverture | Choix de la géomembrane argumenté en raison de son « très faible vieillissement » et de sa « très longue durée de vie » |

▼ Tableau 3 – Recensement d'utilisations de géosynthétiques dans les chantiers de confinement sur site. (suite)

| n° cas étudié | Année Chantier | Lieu/chantier | Produits utilisés | Fonctions des géosynthétiques | Commentaires/chantier | Type de confinement | Commentaires relatifs à la conception |
|---------------|----------------|--|--|--|--|-----------------------|--|
| 18 | 2005 | Industriel non précisé, Paris ; Seine | Plaques PEHD, 3 mm à crampons ; cuvelage | Étanchéité | Cuve permettant d'empêcher une pollution de la Seine en cas de déversement accidentel de polluants | Cuvelage Rétention | Conception et réalisation des travaux délicats. Dispositif préventif : la cuve est destinée à rester vide la plupart du temps |
| 19 | 2002 à 2006 | Réhabilitation de la Mine d'Or de Salsigne ; Aude | Géomembranes PEHD (2 mm), GSB (4,8 kg/m ²) et géotextiles (300 et 700 g/m ²) | Étanchéité Séparation Drainage Protection | Casier de type « ISD » ; Travaux réalisés en conditions difficiles (risques de pollution et de toxicité pour le personnel) | Casier et couverture | Conception et dimensionnement de type « ISDD » ; questionnement sur la durée de vie des ouvrages ; la performance environnementale est suivie en continu |
| 21 | 2007 | Sidi Larbi ; Maroc | Géomembrane PEHD 2 mm, géotextiles et géodrains | Étanchéité Filtration Drainage Protection | Le sel (pollué par des hydrocarbures) provient du lessivage de couches profondes, dédiées au stockage de gaz | Casier et couverture | Produits choisis pour résister au sel ; données sur le dimensionnement ; choix d'entreprises et de produits certifiés ASQUAL |
| 23 | 2008 | Accident de la raffinerie de Donges ; Loire Atlantique | Géomembranes, Géoflms, Géotextiles | Étanchéité, Séparation | Utilisation sur les plages lors du nettoyage et des opérations d'urgence | Rétention temporaire | Peu d'informations sur la conception : situation d'urgence |

9. Potentiel hydrogène.

10. Polyéthylène haute densité.

▼ Figure 1 – Poinçonnement possible lors du remplissage d'un confinement « sur site » (site industriel ; photo Arcadis).

– de temps disponible : les traitements *in situ* requièrent en général davantage de temps ;

– d'usage futur du site : gestion du risque requérant d'enlever et d'isoler tout ou partie des matériaux.

Les polluants, métalliques dans 50 % des cas répertoriés, proviennent d'industries chimiques ou minières : CrVI (quatre cas), résidus acides de pyrite (un cas), résidus arséniés (deux cas), PCB (un cas), sel de lessivage (un cas), hydrocarbures (marée noire : un cas), inconnus (cuve « préventive » : un cas).

Dans les chantiers de confinement sur site, l'étanchéité est la fonction principale recherchée puisqu'il s'agit souvent, soit de créer une sorte de casier de stockage comparable à ceux utilisés



dans les installations de stockage de déchets, soit de mettre en œuvre une couverture sur les matériaux pollués pour les isoler des eaux de pluie : il s'agit là clairement de transfert de technologies issues du « monde des déchets ». La durée de vie à atteindre est très longue (en dehors des rares cas rapportés d'usage temporaire ou préventif : cas n° 18 et 23), puisqu'en général les produits confinés, n'étant pas modifiés chimiquement ou physiquement, gardent leur potentiel de dangerosité sur le très long terme.

De fait, les aspects liés au vieillissement des géosynthétiques sont parfois mentionnés dans les commentaires conceptuels. Par contre, malgré une large gamme de pH⁹ (2 à 12) et une nature chimique variée (métaux, sels, polluants organiques), seule l'étude de cas n° 21 (sel de lessivage) fait état d'un choix de la géomembrane argumenté sur la compatibilité chimique avec les polluants à confiner. Les produits d'étanchéité utilisés sont d'ailleurs assez variés : géomembranes PEHD¹⁰ ou bitumineuses, géosynthétiques bentonitiques. De même, on trouve assez peu d'argumentations sur la conception des fonctions potentiellement associées à l'étanchéité : protection, drainage, filtration ou anti-érosion. Pourtant, des géosynthétiques assurant ces fonctions sont intégrés aux ouvrages mais leur choix semble s'appuyer souvent sur le retour d'expérience, peut-être en raison de l'absence de recommandations formalisées. Les exemples publiés de tels dimensionnements sont rares et les chantiers témoignent parfois d'un manque de précaution en la matière (figure 1). Il faut noter que les chantiers correspondants ont souvent été réalisés en conditions difficiles, en raison de l'urgence ou de la dangerosité des produits à manipuler ; ce point fait plus souvent l'objet du propos des auteurs.

Les figures 2 et 3 illustrent les ouvrages de confinement sur site, issus des cas répertoriés.

LES CHANTIERS DE TRAITEMENTS HORS SITE

Trois études de cas répertoriées présentent l'utilisation de géomembranes, géotextiles ou géocomposites drainants dans des traitements de sols pollués, hors site (tableau 4). On relève peu de références donc, mais dans la très grande

◀ Figure 2 – Confinement sur site, par géomembrane bitumineuse, des charrées de CrVI excavées sous un parking de supermarché en 1998 (Roncq, Nord ; in : Duwelz *et al.*, 1999).

majorité des cas où les sols pollués sont excavés puis évacués hors du site, ils sont considérés comme des déchets, au sens réglementaire ; ils sont, dès lors, éliminés dans des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), notamment des installations de stockage de déchets (ISD) et la spécificité « Sites et sols pollués » n'est plus de mise.

Une exception notable est celle de l'étude n° 2 où des résidus de traitement de minerai (chargés) de Cr VI (pH 12 et toxicité forte) ont été « rapportés » contre un terail préexistant, de fait assimilé à une installation de stockage de déchets dangereux, sans que celui-ci soit une ISD répertoriée (figure 4).

Les aires de maturation pour mâchefers ou de lixiviation des résidus pollués d'une activité minière devraient être conçues comme les aires de lixiviation de minerais, dont les spécificités sont notamment l'importance de la pérennité du drainage basal et les fortes contraintes mécaniques subies par le dispositif inférieur (Touze-Foltz et Lupo, 2009). Peu d'informations sont données sur la conception de ces deux ouvrages (tableau 4, études de cas n° 13 et 15), datant d'une dizaine d'années.

Il est surprenant de constater l'absence de publication répertoriée, concernant l'utilisation des géosynthétiques dans les biocentres ou les biotertres (sur site ou hors site, d'ailleurs). De telles installations sont pourtant nombreuses, au sein des ISD ou en dehors, ayant statut d'ICPE ou non. Les biotertres (appelés aussi « biopiles ») comportent souvent des géomembranes ou des géofilms en PEHD mais pas exclusivement, ainsi que des géotextiles (figures 5 à 7). Il est possible que la durée de vie plus limitée (moyen terme) de ces ouvrages n'ait pas incité leurs exploitants ou concepteurs à publier sur le sujet de leur conception. De fait, la fonction « étanchéité » est moins critique pour ces ouvrages qui comportent fréquemment des drains et des tuyaux traversant le dispositif de couverture pour favoriser la circulation de l'air : en effet, la dégradation recherchée des polluants (le plus souvent des hydrocarbures) est aérobie, à la différence des mécanismes, anaérobies, des principales ISD.

CAS PARTICULIERS DES BASSINS DE TRAITEMENTS
Deux des études de cas répertoriées présentent des bassins de traitement ou de décantation (tableau 5). Ils servent respectivement au stockage des saumures issues du lessivage de formations



▲ Figure 3 – « Tombeau d'arsenic » étanché par géomembrane PEHD en 1997 (Pierrefitte Nestalas, Hautes-Pyrénées ; in : De Bont et Ouvry, 1999).



▲ Figure 4 – Le « Grand terail de Cr VI » de Watrelos : au premier plan, son annexe, rapportée en 1998, est un confinement « hors site » par géomembrane bitumineuse (in : Ballie *et al.*, 1999).

géologiques profondes ou à la décantation et au traitement passif d'eaux d'exhaures de mine.

Leurs dispositifs d'étanchéité comportent une géomembrane PEHD, des géotextiles de protection et des géosynthétiques de drainage. Ces études de cas témoignent du soin apporté à la conception, au dimensionnement et au choix des prestataires. Ces travaux récents sont à apparenter à la conception, plus classique, des bassins de stockage. La spécificité de leur conception réside

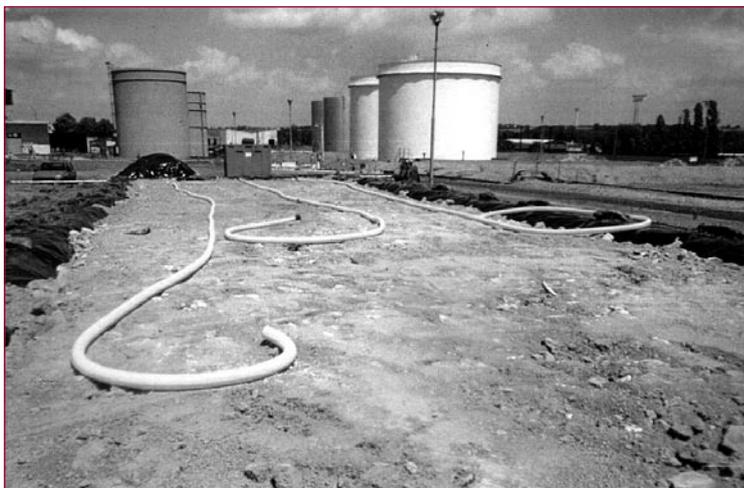
▼ Tableau 4 – Recensement d'utilisations de géosynthétiques dans les chantiers hors site.

| n° cas étudié | Année Chantier | Lieu/ chantier | Produits utilisés | Fonctions des géosynthétiques | Commentaires/ chantier | Hors Site | | | Commentaires relatifs à la conception |
|---------------|----------------|---|---|--------------------------------------|---|--------------------------|-----------|---------------------------|--|
| | | | | | | Lixiviation / maturation | Biocentre | Confinement | |
| 2 | 1990 | Casier raccordé au flanc du « Grand Terril » de Cr de Watrelos pour stocker les charnières de Carilhem ; Nord | Géomembrane bitumineuse, géotextiles, gabions + terre | Étanchéité Drainage Protection | Géomembrane partiellement exposée aux intempéries | | | X Casier et Couverture | Peu d'informations sur le dimensionnement |
| 13 | < 1997 | Non précisé | DEDG basal = géomembrane + géotextile + géocomposite drainant | Étanchéité Drainage | Aires de lixiviation de type « activité minière » | X | | | Peu d'informations sur la conception |
| 15 | 1998 | Aire de maturation des mâchefers d'Allonnes ; Sarthe | Géomembrane bitumineuse 4,8 mm et sables et graves en couches de protection et de roulement | Étanchéité Protection | L'aire de maturation devait permettre la circulation des engins (béton bitumineux en surface) | X | | | Géomembrane et dispositif choisis pour permettre le roulement ; pas d'essais de poinçonnement mentionnés |
| 25 | > 1990 | Nombreux sites pollués ou installations de traitement de déchets (ISD, etc.) | Films et géomembranes PEHD, le plus souvent ; géotextiles | Étanchéité Protection | Sites de durée de vie limitée | | X | | Peu d'information sur la conception des ouvrages |



◀ Figure 5 – Dispositif basal d'un biotertre comportant un géofilm en polyéthylène (site industriel ; photo Arcadis).

▶ Figure 6 – Couverture d'un biotertre exposé aux intempéries : géofilm en polyéthylène (site industriel ; photo Arcadis).



◀ Figure 7 – Mise en place de drains d'aspiration dans un biotertre (site industriel ; photo Arcadis).

▼ Tableau 5 – Recensement d'utilisations de géosynthétiques dans les bassins associés aux sites et sols pollués.

| n° cas étudié | Année Chantier | Lieu/ Chantier | Géosynthétiques utilisés | Fonctions des géosynthétiques | Commentaires/ chantier | Sur Site | | Commentaires relatifs à la conception |
|---------------|----------------|---|---|--|--|------------|---------------------|--|
| | | | | | | Bio-centre | Traitement des eaux | |
| 20 | 2005 – 2007 | Charbonnage de France ; Mine de charbon de la Houve, Creutzwald ; Moselle | Géomembrane PEHD 1,5 mm, géotextiles (500 g/m ²) et géodrains | Étanchéité Protection Drainage | Bassins de stockage, de traitement passif et de décanation | | X Bassins | Peu d'informations sur le choix des produits ; choix des entreprises justifié par leur certification et le respect des règles de l'art |
| 21 | 2007 | Sidi Larbi ; Maroc | Géomembrane PEHD 2 mm, géotextiles et géodrains | Étanchéité Filtration Drainage Protection | Le sel (pollué par des hydrocarbures) provient du lessivage de couches profondes, dédiées au stockage de gaz | | X Bassins | Produits choisis pour résister au sel ; données sur le dimensionnement ; choix d'entreprises et de produits certifiés ASQUAL |

respectivement dans les produits à stocker (forte salinité et agressivité potentielle prises en compte dans l'étude de cas n° 21) ou dans le mode d'exploitation prévu (développement de macrophytes pour l'étude de cas n° 20).

Chantiers *in situ* ; terrassements limités

Nous avons vu que les travaux *in situ* ne sont pas toujours possibles. Néanmoins, nous avons répertorié, dans le tableau 6, une dizaine d'études de cas se rapportant à cette famille de procédés dont le point commun est de réduire les impacts sur les milieux tout en laissant les matériaux pollués en place. Ceci se traduit en général par des terrassements restreints. En cela, les chantiers *in situ* sont *a priori* plus respectueux des principes du développement durable puisqu'ils limitent la consommation d'énergie ; aussi, leur coût de revient par m³ de sol traité est généralement moins élevé.

On peut distinguer deux grands concepts dans les chantiers *in situ* :

- le confinement : les parois ou les couvertures étanches sont réalisées *in situ*, les matériaux pollués (sols ou résidus) n'étant pas modifiés chimiquement ou physiquement ;
- le traitement : les polluants sont traités *in situ* par injection de réactifs ou de nutriments, pompage des liquides, captage et élimination des gaz du sol, etc.

Il existe aussi des traitements par « barrières réactives », mais l'utilisation de géosynthétiques dans ces ouvrages, si elle existe, n'a pas été répertoriée.

Les matériaux géosynthétiques sont utilisés dans les chantiers *in situ*, aussi bien dans les confinements que dans les traitements *stricto sensu*, mais leur rôle y est différent :

- dans les confinements *in situ*, les géosynthétiques constituent l'élément principal assurant la performance du dispositif puisque la fonction étanchéité est pratiquement la seule permettant la limitation des transferts de polluants et donc des impacts et ce, sur le long terme ;
- dans les traitements *in situ*, l'étanchéité est aussi la fonction principale des géosynthétiques mais elle est connexe au procédé de traitement mis en œuvre : l'étanchéité est là pour favoriser ou améliorer la performance du traitement réalisé sur les polluants. Dès lors, la durée de vie attendue du dispositif d'étanchéité peut être plus courte et l'exigence de performance absolue devient moins critique.

LES CONFINEMENTS *IN SITU* : PAROIS ET COUVERTURES ÉTANCHES

Les parois réalisées avec une géomembrane mise en œuvre à l'intérieur d'une tranchée se sont développées dans les années quatre-vingt-dix. Le premier cas rapporté date de 1992 (cas n° 5)

▼ Tableau 6 – Recensement d'utilisations de géosynthétiques dans les travaux et chantiers *in situ*.

| n° cas étudié | Année Chantier | Lieu/chantier | Géosynthétiques utilisés | Fonctions des géosynthétiques | Commentaires | <i>In situ</i> | | Commentaires relatifs à la conception |
|---------------|----------------|-------------------------------------|---|---|--|----------------|-------------------|---|
| | | | | | | Confinement | Bio stabilisation | |
| 5 | 1992 | ISD Laimont SITA ; Marne | Géomembrane PVC épaisseur ? | Étanchéité | Idée d'utilisation de parois avec géomembranes pour contenir des « déperditions hydrauliques » | X | | Géomembrane PVC et ancrage basal dans l'argile ; pas d'agressivité chimique attendue puisqu'il s'agit d'empêcher l'eau propre de rentrer dans le site |
| 7 | 1995 | Non précisé | Géomembrane PEHD 2 mm + géotextile de protection | Étanchéité Protection | Parking réalisé sur un confinement horizontal <i>in situ</i> | X | | Géomembrane PEHD et ancrage basal dans l'argile ; couverture en gmb PEHD + géotextile de protection |
| 9 | 1996 | Stade de France ; Seine Saint Denis | Géomembrane PVC 1 mm (zone centrale) et géofilm 0,25 mm (gradins) + géotextiles de protection | Étanchéité (associée à un drainage granulaire des gaz du sol) Protection | Géomembrane placée sur la zone traitée par pompage écrémage et venting ; surveillance continue ensuite | X | | Une des raisons du choix est le pré-assemblage en usine des lés de géomembrane PVC en panneaux de 30 x 18 mètres |
| 10 | < 1997 | Non précisé | Géofilm PVC en couverture ; paroi étanche latérale bentonite/ciment | Étanchéité | couverture de type provisoire | X | | Le caractère provisoire de la couverture justifie l'emploi d'un géofilm de faible épaisseur |
| 11 | < 1997 | Non précisé | Géomembrane PEHD 4 mm + massif drainant granulaire | Étanchéité | Panneaux de PEHD et enfilement de clé | X | | La sensibilité du milieu environnant (base de loisir) explique le choix de la solution retenue |
| 12 | < 1997 | Non précisé | Géomembrane PEHD 4 mm + massif drainant granulaire | Étanchéité | Panneaux de PEHD et enfilement de clé | X | | Calculs de perméabilité fournis par les auteurs |

▼ Tableau 6 – Recensement d'utilisations de géosynthétiques dans les travaux et chantiers *in situ*. (suite)

| n° cas étudié | Année Chantier | Lieu/chantier | Géosynthétiques utilisés | Fonctions des géosynthétiques | Commentaires | In situ | | Commentaires relatifs à la conception |
|---------------|----------------|---|--|--|--|--|-----------------------|--|
| | | | | | | Confinement | Bio stabilisation | |
| 17 | 2003 | Non précisé ; Ile de France | Géocomposite de drainage des gaz, géomembrane PVC 1,5 mm et géotextile de protection sous sablon | Étanchéité Protection Drainage | L'utilisation de la géomembrane résulte de l'étude de risque et permet la mise en œuvre d'une solution plus « légère » | X Couverture en géomembrane + captage gaz | | La complexité du chantier et, notamment, des raccordements semble avoir guidé le choix de la géomembrane |
| 19 | 2002 à 2006 | Réhabilitation de la Mine d'Or de Salsigne ; Aude | Géomembrane bitumineuse (4 mm) et géotextiles (300 et 700 g/m ²) | Étanchéité Séparation Drainage Protection | Couverture d'une zone ayant reçu 500 000 m ³ de résidus pollués | X Couverture | | Conception et dimensionnement de type « ISDD » ; questionnement sur la durée de vie des ouvrages ; la performance environnementale est suivie en continu |
| 22 | 2008 | Site non précisé ; Tunisie | Palfeuilles PEHD 3 mm dans un coulis bento-nite/ciment | Étanchéité | Panneaux de PEHD de 20 mètres, fabriqués sur site et enfilement de clé | X Paroi | | Fabrication des palfeuilles sur site pour s'adapter aux variations de la profondeur à atteindre ; calcul d'étanchéité globale présenté |
| 24 | 2008 à 2013 ? | « Grand Terril » des Charrées de Wattlelos ; Nord | Géomembrane bitumineuse 3,9 mm | Étanchéité | La géomembrane, installée en 1986, confine le terril et favorise l'établissement de conditions réductrices | X Paroi et couverture en géomembrane | X Biostabilisation | Le traitement en cours sera facilité par la présence du confinement déjà en place : géomembrane et paroi |

et concerne une ISD que l'on voulait préserver des entrées d'eau de nappe. Parmi les études répertoriées, c'est le seul cas d'utilisation d'une géomembrane PVC¹¹ en paroi mais cette application diffère un peu des « SSP ».

Dans les six autres cas répertoriés, quatre parois comprennent des géomembranes PEHD de 2, 3 ou 4 mm d'épaisseur (enroulées ou en feuilles, souvent appelées « palfeuilles ») et généralement associées à un coulis bentonite/ciment. Deux autres parois ne comprennent pas de géosynthétiques.

À l'exception d'un site de phosphogypse, ces parois « géosynthétiques » ont été mises en œuvre pour le confinement de produits organiques : huiles, benzène, phtalates ou PCB. Pour autant, le PEHD semble généralement choisi pour sa rigidité et parce qu'un système particulier d'enfilement de clé (à joint gonflant) a été développé spécifiquement avec ce produit (figures 8 et 9).

Les couvertures géosynthétiques *in situ* sont, soit :

- un complément au confinement par paroi : exemple du cas n° 10 ; géofilm PVC mis en œuvre sur un sol pollué par des huiles de laminoir (durée de vie courte attendue) ;

- mises en œuvre seules (cas n° 19) où les résidus miniers arséniés sont recouverts par le géotextile et la géomembrane bitumineuse ; la géomembrane, certifiée ASQUAL, a été choisie en raison de « sa mise en œuvre aisée et de sa faible sensibilité au vent » (site exposé à des vents violents).

Pour les différents types de confinements *in situ* (parois ou couvertures), les géosynthétiques d'étanchéité sont de nature variée (PEHD, PVC, bitume) et ont été choisis en raison des caractéristiques des projets : spécificités de mise en œuvre, profondeur des ouvrages et technologies disponibles. Ces confinements *in situ* doivent, pour la plupart, perdurer sur le long terme, et le retour d'expérience sur leur performance est généralement très satisfaisant. Il reste que l'évolution des performances des ouvrages dans le temps mérite d'être suivie avec précision, notamment si l'on considère que les géomembranes sont susceptibles de laisser passer une faible fraction des polluants organiques par diffusion et que les conditions de mise en œuvre difficiles peuvent générer des défauts d'étanchéité.

11. Polychlorure de vinyle.



◀ Figure 8 – Deux dispositifs de mise en œuvre de géomembrane PEHD en parois : enroulement et palfeuilles (photos : Agru France).

► Figure 9 – Différentes étapes de la mise en œuvre d'une palfeuille PEHD dans une tranchée au coulis bentonite/ciment (photos : Agru France).



APPORT DES GÉOSYNTHÉTIQUES DANS LES TRAITEMENTS DE POLLUANTS *IN SITU*
Dès lors que des traitements *in situ* sont réalisés pour diminuer significativement et durablement les impacts des polluants sur les milieux, l'étanchéité par géosynthétique devient un complément précieux du traitement mis en œuvre mais ne constitue plus le cœur du procédé.

Les cas n° 9, 17 et 24 (tableau 6) renvoient à cette problématique.

Deux cas présentent l'apport d'une géomembrane PVC en couverture (1 et 1,5 mm) pour améliorer l'efficacité d'un dispositif de captage des gaz du sol.

▼ Figure 10 – Mise en œuvre d'un dispositif avec géomembrane PVC pour améliorer la récupération des polluants sous les pelouses du Stade de France en 1996 (*in* : Bourassin *et al.*, 1999).

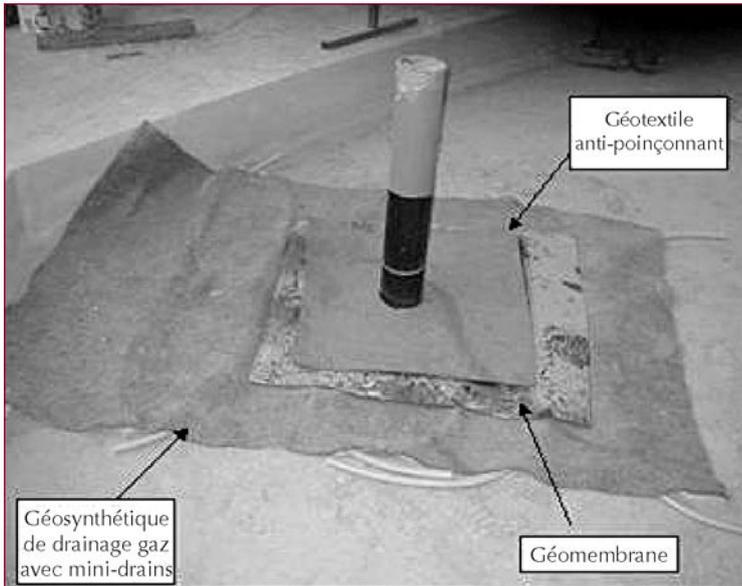


Dans le cas du Stade de France (cas n° 9 et figure 10), ce dispositif comprend des géosynthétiques de drainage et un pompage écrémage des hydrocarbures de la nappe sous-jacente, en plus du captage des gaz.

Dans le cas n° 17, l'utilisation de la géomembrane PVC et du géocomposite de drainage des gaz, sous la dalle d'un bâtiment destiné à recevoir du public, est partie intégrante de la solution retenue à l'issue d'une étude de risque (figure 11).

La bonne connaissance de l'étanchéité aux gaz ou de la capacité drainante des géosynthétiques utilisés est donc un plus dans cette problématique.

Le dernier cas étudié (n° 24) correspond à la reprise, en 2008, des travaux sur le « Grand Terril des charrées de chrome » de Wattrelos, déjà évoqué (cas n° 1 et 2, figure 4). Le bio-traitement *in situ*, en cours de mise en œuvre, requiert l'injection de nutriments (mélasse) dans la masse du terril pour générer un développement bactérien qui va rendre le milieu réducteur et permettre la précipitation du Cr VI en Cr III, non soluble, beaucoup moins toxique et stable à long terme. Il est clair que la présence de la géomembrane bitumineuse sur le terril et de la paroi étanche à sa périphérie favorisent l'établissement des conditions réductrices requises, en permettant le maintien d'un système quasiment fermé. Même si la géomembrane bitumineuse, exposée aux intempéries depuis plus de 20 ans, présente des signes évidents de vieillissement (figures 12 et 13), le niveau d'étanchéité résiduel semble suffisant pour assurer le fonctionnement de la solution retenue.



◀ Figure 11 – Transformation d'un bâtiment en centre de conférences (2003). Produits géosynthétiques mis en œuvre sous la dalle, avec détail de raccordement sur tube PVC (*in* : Ouvry et Pecci, 2006).

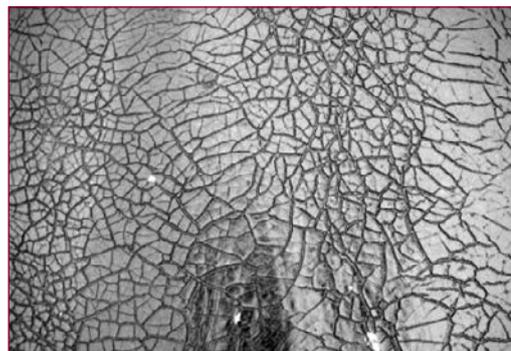
▶ Figure 12 – Couverture du « Grand Terril des charrées de chrome » de Wattrelos, en 2008, vingt-deux ans après la pose de la géomembrane bitumineuse (photo : Th. Gisbert, Arcadis).



Bilan et perspectives

Cette revue des études de cas et des chantiers « publiés », associée à des retours d'expérience personnels, permet de dresser un premier bilan des aspects conceptuels liés à l'utilisation des matériaux géosynthétiques dans la gestion des sites et sols pollués.

Le tableau 7 synthétise ces réflexions. Les cas étudiés y ont été regroupés selon les trois grands modes de gestion des SSP définis : hors site, sur site ou *in situ*. La deuxième colonne présente les



◀ Figure 13 – Détail des craquelures dues au vieillissement de la géomembrane bitumineuse exposée aux intempéries sur le terril de Wattrelos, en 2008 (photo : Th. Gisbert, Arcadis).

▼ Tableau 7 – Aspects conceptuels liés à l'utilisation des géosynthétiques dans la gestion des SSP.

| Modes de gestion des SSP | Points clés/conception | Axes d'amélioration proposés | Règles de l'art utilisables | Références CFG ou autres |
|--|---|--|---------------------------------------|--|
| Gestion des SSP hors site | | | | |
| Confinements (casiers) <i>(cas exceptionnel, l'envoi en ISD constitue le cas général des confinements « hors site »)</i> | <ul style="list-style-type: none"> – Étanchéité – Durée de vie très longue – Compatibilité chimique | <ul style="list-style-type: none"> – Dimensionnement des fonctions connexes : protection, drainage et filtration – Prise en compte systématique de la physicochimie des matériaux à stocker | Installations de stockages de déchets | <i>Fascicules du CFG n°10, 11 et 12</i> |
| Aires de lixiviation/maturation | <ul style="list-style-type: none"> – Étanchéité et drainage – Durée de vie moyenne – Compatibilité chimique – Contraintes mécaniques fortes | <ul style="list-style-type: none"> – Dimensionnement des fonctions connexes : drainage, filtration et protection – Prise en compte systématique de la physicochimie des matériaux à stocker | Domaine minier : lixiviation en tas | <ul style="list-style-type: none"> – Touze-Foltz et Lupo : <i>Rencontres 2009</i> – Fascicule du CFG n° 10 |
| Biocentres, biotertres | <ul style="list-style-type: none"> – Étanchéité – Durée de vie courte à moyenne – Poinçonnement | <ul style="list-style-type: none"> – Précautions lors du remplissage | Non ; à formaliser ? | <i>Fascicule du CFG n° 10</i> |
| Bassins de traitement des eaux | <ul style="list-style-type: none"> – Étanchéité – Durée de vie courte à moyenne – Compatibilité chimique | <ul style="list-style-type: none"> – Prise en compte systématique de la physicochimie des matériaux à stocker/étanchéité | Bassins routiers | <i>Guide « Bassins » SETRA/LCPC</i> |
| Gestion des SSP sur site | | | | |
| Confinements (casiers) | <ul style="list-style-type: none"> – Étanchéité – Durée de vie très longue – Compatibilité chimique | <ul style="list-style-type: none"> – Dimensionnement des fonctions connexes : protection notamment – Prise en compte systématique de la physicochimie des matériaux à stocker – Précautions lors du remplissage du casier | Installations de stockages de déchets | <i>Fascicules du CFG n° 10, 11 et 12</i> |
| Couvertures | <ul style="list-style-type: none"> – Étanchéité – Durée de vie très longue – Compatibilité chimique – Poinçonnement | <ul style="list-style-type: none"> – Dimensionnement des fonctions connexes : protection, drainage, filtration – Prise en compte de la physicochimie des matériaux à stocker/étanchéité | Installations de stockages de déchets | <i>Fascicules du CFG n° 10, 11 et 12</i> |
| Cuvelage | <ul style="list-style-type: none"> – Étanchéité – Durée de vie moyenne – Compatibilité chimique – Cuve parfois vide et exposée | <ul style="list-style-type: none"> – Prise en compte systématique de la physicochimie des matériaux à stocker/étanchéité | Cuvelage : domaine spécifique | <i>Fascicule du CFG n° 10</i> |
| Rétention temporaire | <ul style="list-style-type: none"> – Étanchéité – Durée de vie très courte – Poinçonnement | <ul style="list-style-type: none"> – Prise en compte des contraintes physicochimiques/étanchéité – Précautions lors du remplissage | Domaine minier : aires de rétention | <i>Touze-Foltz et Lupo : Rencontres 2009 - Fascicule du CFG n° 10</i> |

▼ Tableau 7 – Aspects conceptuels liés à l'utilisation des géosynthétiques dans la gestion des SSP (suite).

| Modes de gestion des SSP | Points clés/conception | Axes d'amélioration proposés | Règles de l'art utilisables | Références CFG ou autres |
|---|---|--|---------------------------------------|--|
| Gestion des SSP <i>in situ</i> | | | | |
| Parois étanches | <ul style="list-style-type: none"> – Étanchéité – Durée de vie très longue – Compatibilité chimique – Mise en œuvre spécifique | <ul style="list-style-type: none"> – Prise en compte systématique des contraintes physico-chimiques/étanchéité | Domaine spécifique ; à formaliser? | <i>Fascicule du CFG n° 10</i> |
| Couvertures seules | <ul style="list-style-type: none"> – Étanchéité – Durée de vie très longue – Compatibilité chimique – Poinçonnement | <ul style="list-style-type: none"> – Dimensionnement des fonctions connexes : protection, drainage et filtration – Prise en compte systématique de la physicochimie des matériaux à stocker/étanchéité | Installations de stockages de déchets | <i>Fascicules du CFG n° 10, 11 et 12</i> |
| Couvertures liées aux traitements <i>in situ</i> | <ul style="list-style-type: none"> – Étanchéité aux liquides et aux gaz – Durée de vie courte à moyenne – Poinçonnement – Contraintes climatiques si exposées | <ul style="list-style-type: none"> – Dimensionnement des fonctions connexes : protection et drainage gaz – Prise en compte des contraintes physicochimiques et de l'étanchéité aux liquides et gaz | Installations de stockages de déchets | <i>Fascicules du CFG n° 10, 11 et 12</i> |

points qui nous semblent être les éléments clés dans la conception des ouvrages étudiés, dès lors qu'ils comportent des matériaux géosynthétiques. Les défaillances constatées ou redoutées ont permis d'alimenter la troisième colonne : axes d'amélioration. Enfin, les deux dernières colonnes renvoient, pour chaque famille étudiée, aux règles de l'art les plus proches et aux références du CFG¹², pertinentes en la matière. En effet, il n'existe pas de règles de l'art formalisées et dédiées spécifiquement à l'utilisation des matériaux géosynthétiques dans la gestion des sites et sols pollués. Dès lors, il faut rechercher dans plusieurs domaines existants, ISD, mines, bassins ou cuvelage, pour trouver les règles de conception utilisables, moyennant certaines adaptations liées aux points clés identifiés. Dans certains cas, biotertres ou parois étanches, il n'est pas certain que de telles règles soient déjà formalisées à l'attention des concepteurs et utilisateurs et ceci pourrait faire l'objet de travaux futurs.

En conclusion, les matériaux géosynthétiques jouent un rôle évident dans la gestion des sites et sols pollués, trop souvent laissé au second plan en raison de l'importance, de la technicité et de la multiplicité des autres disciplines concernées : physique, chimie, géologie, écotoxicité, etc.

Ce rôle mériterait pourtant d'être davantage mis en exergue car l'apport des géosynthétiques est un élément déterminant dans la performance d'un projet de gestion des SSP et la pertinence de sa conception. C'est clairement ce qui ressort des études de cas qui ont fait l'objet de publications et qui sont présentées dans cette synthèse.

En termes de fonctionnalités recherchées, l'étanchéité est nettement prépondérante, mais les autres fonctions élémentaires principales des matériaux géosynthétiques, drainage, filtration, séparation, protection (sauf, peut-être, le renforcement, trop peu utilisé) sont toutes utiles dans les exemples qui ont été référencés.

De même, toutes les familles de produits sont représentées : géomembranes, géotextiles, produits apparentés aux deux familles, géocomposites...

D'un point de vue conceptuel, de nombreux transferts de technologies se sont plus ou moins spontanément exercés, depuis les techniques développées pour les ISD, les bassins, le cuvelage ou le domaine minier. Il reste que dans certains cas, le rôle des géosynthétiques est encore négligé et la conception sous-estimée au profit d'une « copie » de chantiers préexistants, ce qui est

12. Comité français des géosynthétiques.

dommageable. De même, les contrôles de mise en œuvre représentent un élément fondamental, parfois sous-estimé.

À la décharge des concepteurs et des maîtres d'œuvre, les règles de l'art concernant l'utilisation

des matériaux géosynthétiques dans la gestion des sites et sols pollués ne sont pas centralisées et peu, voire pas, formalisées : il s'agit clairement d'un axe d'amélioration sur lequel il est possible de se pencher. □

Résumé

Après une présentation de la problématique générale des sites et sols pollués, plusieurs exemples d'utilisation des matériaux géosynthétiques dans les techniques de dépollution des sols et des sites industriels sont présentés brièvement. Cette analyse permet un premier classement des domaines d'utilisation et des familles de produits géosynthétiques correspondants. Nous nous sommes attachés également à rechercher les principes conceptuels qui ont été suivis dans le cadre des chantiers étudiés, afin d'en proposer une analyse critique et de formuler des recommandations.

Abstract

After a general presentation of the polluted sites set of problems, several case studies involving the use of geosynthetic materials for their remediation (including industrial former plants) have been analysed and are briefly presented. This allows a first classification of the panel of geosynthetic materials used according to the various remediation techniques that have been applied. We also tried to analyse the conceptual principles that have been followed for these remediation works and we propose a critical analysis and some recommendations.

Bibliographie

BAIZE, D., 2000. Teneurs totales en « métaux lourds » dans les sols français. Résultats généraux du programme ASPITET, *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, n° 39, p. 39-54.

BALLIE, M., STUDIO, R., BREUL, B., 1999, Étanchéité de parois de terrils, *in : Géotextiles – Géomembranes, Rencontres 99*, Bordeaux, Girard et Gourc éditeurs, tome 1, p. 45-50.

BENCHET, R., CHALOT, L., STEINER, B., JACQUEMIN, P., 2009, Utilisation des géosynthétiques dans le cadre de la réhabilitation du site de la combe du saut (Salsigne), *in : Rencontres Géosynthétiques 2009*, Nantes, CFG, 1er au 3 avril 2009.

BOURASSIN, A., FAYOUX, D., MORIZOT, J.-C., 1999, Étanchéité par géomembrane sous la pelouse du stade de France, *in : Géotextiles – Géomembranes, Rencontres 99*, Bordeaux, Girard et Gourc éditeurs, tome 1, p. 51-57.

DE BONT, R., OUVRY, J.-F., 1999, Travaux d'étanchéité de couverture d'un tombeau d'arsenic, *in : Géotextiles – Géomembranes, Rencontres 99*, Bordeaux, Girard et Gourc éditeurs, tome 1, p. 21-27.

DUWELZ, A., LAUREAU, D., MERCIER, F., BREUL, B., 1999, Confinement de terres polluées dans une géomembrane bitumineuse : exemple de la bretelle de sortie de Roncq sur l'A 22, *in : Géotextiles – Géomembranes, Rencontres 99*, Bordeaux, Girard et Gourc éditeurs, tome 1, p. 39-44.

EBERENTZ, P., OUVRY, J.-F. 1997, Utilisation des géosynthétiques pour la réhabilitation de sites pollués *in : Géotextiles – Géomembranes, Rencontres 97*, Reims, Delmas et Gourc éditeurs, tome 2, p. 87-93.

FAURE, B., ITTY, J., 1999, Étanchéité par géomembrane bitumineuse d'une aire de maturation de mâchefères, *in* : *Géotextiles – Géomembranes, Rencontres 99*, Bordeaux, Girard et Gourc éditeurs, tome 1, p. 35-38.

GISBERT, T., FERRIERE, L., THÉPAUT, B.-E., 2008, Application of in situ reactive zones (IRZ) to the biological stabilization of Chromite Ore Processing Residues (COPR) heap and acid mine drainage, *in* : *CHANIA 2008, 1st International Conference on Hazardous Waste Management* ; Chania, Crete, Greece, October 1st to 3rd 2008.

MEUSY, J.-L., ELOY-GIORNI, C., 1997, Un nouveau système de dépollution par confinement et drainage, *in* : *Géotextiles – Géomembranes, Rencontres 97*, Reims, Delmas et Gourc éditeurs, tome 2, p. 80-86.

MEUSY, J.-L., 2009, Étanchéité d'une cuve béton par coques PEHD, *in* : *Rencontres Géosynthétiques 2009*, Nantes, CFG, 1er au 3 avril 2009.

MEUSY, J.-L., 2009, Confinement vertical d'un site pollué par palfeuille PEHD, *in* : *Rencontres Géosynthétiques 2009*, Nantes, CFG, 1er au 3 avril 2009.

OUVRY, J.-F., BAGHRI, K., 2009, Réhabilitation de l'étanchéité d'un bassin de stockage de saumure sur le site de sidi-larbi au Maroc, *in* : *Rencontres Géosynthétiques 2009*, Nantes, CFG, 1^{er} au 3 avril 2009.

OUVRY, J.-F., HOANG, V., 2009, Aménagement du dispositif de traitement passif des eaux de la mine de La Houve (Creutzwald), *in* : *Rencontres Géosynthétiques 2009*, Nantes, CFG, 1^{er} au 3 avril 2009.

OUVRY, J.-F., PECCI, R., 2006, Réhabilitation d'un terrain pollué par des substances volatiles : utilisation de géosynthétiques en solution alternative ou complémentaire à une dépollution, *in* : *Rencontres Géosynthétiques 2006*, Montpellier, CFG, p. 149-156.

TOUZE-FOLTZ, N., LUPO, J., 2009, Utilisation des géosynthétiques dans les applications minières, *in* : *Rencontres Géosynthétiques 2009*, Nantes, CFG, 1^{er} au 3 avril 2009.

VIOLAS, D., 1993, Étanchéité verticale : un procédé innovant, *in* : *Géotextiles – Géomembranes, Rencontres 93*, Joué Les Tours, Delmas et Gourc éditeurs, tome 2, p. 489-498.

Documents techniques et réglementaires utiles

Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 321-3, R. 321-7 et R. 321-38 du code de la santé publique.

Arrêté du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines.

BASIAS (base des anciens sites industriels et activités de service), site internet : <http://basias.brgm.fr>

CEDRE, 2008, Fiche de synthèse du 16 mars 2008, Raffinerie de Donges, site internet : <http://www.cedre.fr>

CFG (Comité français des géosynthétiques), fascicule n° 10, Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géomembranes, fascicule téléchargeable sur le site internet www.cfg.asso.fr

CFG, fascicule n° 11, Recommandations pour l'utilisation des géosynthétiques dans les centres de stockage de déchets, fascicule (48 pages) et CD Rom.

CFG, fascicule n° 12, Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géosynthétiques bentonitiques, fascicule (56 pages ; disponible mais en cours de révision).

OMS (Organisation mondiale de la santé), 2008, World Health Organisation Guidelines for Drinking-water Quality, third edition incorporating the first and second addenda, volume 1, Recommendations, Geneva, lien internet : http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf

SETRA (Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements) et LCPC (Laboratoire central des Ponts et Chaussées), Guide technique, Étanchéité par géomembranes des ouvrages pour les eaux de ruissellement routiers.

UPDS (Union professionnelle des entreprises de dépollution de sites), Définition d'un processus de « banalisation » applicable aux terres excavées, Propositions de la profession des sites pollués, 12 octobre 2007 ; mail : upds@upds.org