

## Innovation canadienne : un géocomposite conducteur pour les résidus de sables bitumineux

Les sables bitumineux représentent un enjeu stratégique et économique incontestable pour le Canada. Toutefois, leur exploitation minière n'est pas sans impact sur l'environnement. En effet, les techniques d'extraction utilisées produisent de grandes quantités de résidus composés d'un mélange d'eau, de sable, d'argile et d'hydrocarbures, qui sont stockés pendant de nombreuses années dans d'immenses bassins de décantation et ne se consolident que très lentement. En se basant sur l'utilisation de produits géosynthétiques spécifiques, les scientifiques et les acteurs industriels ont travaillé ensemble pour développer une solution innovante permettant un assèchement plus important et plus rapide de ces résidus, afin de faciliter leur gestion et en minimiser l'impact environnemental.

### La problématique des résidus de sables bitumineux

Grâce aux sables bitumineux, le Canada détient la troisième place en termes de réserves prouvées de pétrole brut, avec 173 milliards de barils (AOSID, 2014). Sur les 1 800 milliards de barils de bitume répertoriés en Alberta, où sont localisés la majeure partie de ces sables bitumineux, il est estimé qu'environ 10 % sont exploitables avec les technologies de production actuelles. En particulier, 20 % du gisement de l'Athabasca, le plus important, est recouvert par moins de 75 mètres de terre meuble, ce qui en fait la seule réserve pétrolière au monde à pouvoir être exploitée commercialement à ciel ouvert. Le reste doit être extrait en injectant de la vapeur d'eau pour liquéfier le bitume avant de le pomper, ce qui consomme beaucoup plus d'énergie et génère une plus grande quantité de gaz à effet de serre. Grâce aux larges investissements réalisés dans la foulée de la crise de l'énergie dans les années 2000, la production de bitume brut à partir des sables bitumineux canadiens a atteint 1,9 millions de barils par jour en 2012. Et même si la baisse récente du prix du pétrole a eu un impact sur l'industrie, le *Canadian Energy Research Institute* prévoit que la production atteindra 3,7 millions de barils de bitume par jour d'ici 2020, et 5,2 millions en 2030. Cette croissance rapide est encouragée autant par le gouvernement de la province de l'Alberta que par celui du Canada. En effet, ce secteur d'activité génère

des emplois directs et indirects à la grandeur du pays et contribue à l'économie provinciale et fédérale par le biais des redevances et des taxes.

Si l'intérêt de l'exploitation des sables bitumineux est grand, en particulier pour le procédé d'extraction mécanique utilisé dans les mines à ciel ouvert, les impacts sur l'environnement ne sont pas à négliger (BGC Engineering Inc, 2010). Tout d'abord, l'exploitation des sables bitumineux consomme une quantité très importante d'eau (figure 1). Dans le cas du procédé d'extraction mécanique, trois barils d'eau de la rivière sont pompés pour chaque baril de pétrole brut produit. L'exploitation des sables bitumineux est également la source d'une quantité importante de gaz à effet de serre, soit 6,9 % des émissions de gaz à effet de serre au Canada et 0,16 % de celles à l'échelle de la planète. Il est à noter que les émissions de gaz à effet de serre par baril de pétrole de sables bitumineux ont diminué de 26 % depuis 1990. L'industrie des sables bitumineux génère aussi d'autres composés toxiques, par exemple des composés organiques volatils et des composés soufrés, qui sont une source de contamination pour l'air, l'eau et les sols.

Un des défis majeurs de l'industrie des sables bitumineux concerne aussi les résidus, appelés résidus fluides fins (FFT ou *Fluid Fine Tailings* en anglais), qui sont générés au rythme de 16 tonnes par tonne de pétrole brut produit. Ils sont composés de 70-80 % d'eau, de 20-30 % de sable, d'argile et de limon, de 1-3 % de bitume résiduel,

et d'une série de composés chimiques incluant de la soude et des solvants organiques. Après une sédimentation assez rapide du sable, les résidus fins atteignent une teneur en solides de 30% au bout de quelques années et forment une structure très stable : ils sont alors appelés résidus fins mûrs (MFT ou *Mature Fine Tailings* en anglais) et sont transférés dans des bassins de confinement où ils demeurent indéfiniment en raison de leur absence de consolidation additionnelle. Il y a actuellement 176 km<sup>2</sup> de bassins de résidus de sables bitumineux. Les trois principaux problèmes associés aux résidus de sables bitumineux sont :

- la séquestration de l'eau, qui n'est plus disponible pour être réintroduite dans le processus d'extraction par exemple ;
- la réquisition à très long terme d'espaces de stockage immenses, qui constituent un danger pour les humains et pour la faune en raison de la très faible surface portante des résidus ;
- les risques de fuites de contaminants vers le réseau d'eaux souterraines et de surface.

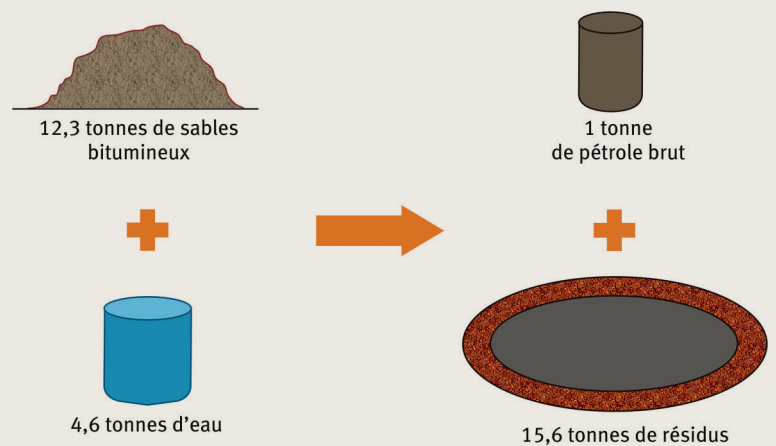
Afin de limiter l'impact de l'exploitation des sables bitumineux sur les communautés locales et sur l'environnement, l'Alberta a émis en 2009 une directive qui impose aux compagnies minières des objectifs en termes de portance pour les résidus qu'elles produisent. Ceux-ci doivent atteindre une résistance au cisaillement minimale de 5 kPa après un an et de 10 kPa cinq ans après la fin du dépôt.

Depuis qu'il est devenu clair au début des années 1990 que la consolidation des résidus de sables bitumineux se produisait sur une échelle de temps beaucoup plus longue qu'initialement estimé, de larges efforts ont été déployés par l'industrie des sables bitumineux pour tenter de trouver des solutions. Une première stratégie consiste à favoriser la recapture des particules fines argileuses, qui sont la cause principale de l'absence de consolidation des résidus, dans l'espace interstitiel entre les grosses particules de sables. Le procédé a été implémenté commercialement par Suncor en 1999 sous le nom de résidus consolidés (*Consolidated Tailings* en anglais) et par Syncrude en 2000 sous le nom de résidus composites (*Composite Tailings* en anglais), ou sous l'acronyme CT dans les deux cas. Cette stratégie, qualifiée à l'époque de solution miracle ou « *silver bullet* », n'a malheureusement pas été à la hauteur des attentes : divers problèmes ont limité sa mise en œuvre et la quantité de MFT traités. L'industrie des sables bitumineux a réalisé graduellement dans le courant des années 2000 que la réponse au problème des résidus ne viendrait potentiellement pas d'une solution unique : elle s'est maintenant orientée vers le développement d'un portefeuille de solutions ou « *silver suite* ». La première avenue est basée sur la recombinaison des résidus menant à la production de CT et de résidus non séparés (NST ou *Non-Segregating Tailings* en anglais). Une seconde avenue consiste au contraire à séparer les fractions fine et grossière des résidus. Elle inclut le séchage des particules fines en couches minces, la formation de résidus épaissis (TT ou *Thickened Tailings* en anglais) par ajout de flocculants, la centrifugation des MFT, la coagulation au dioxyde de carbone et le recouvrement des bassins de MFT par de l'eau. Les travaux sont toujours en cours.

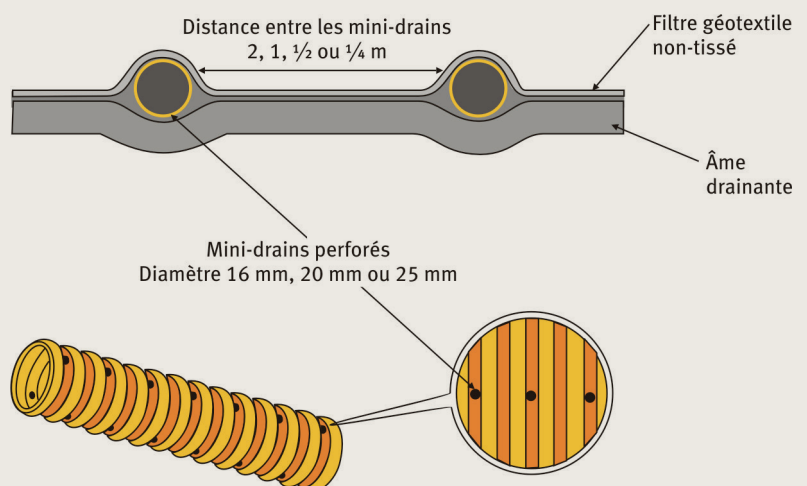
### De l'idée au prototype

Une solution innovante pour permettre un assèchement plus important et plus rapide des résidus de sables bitumineux a été développée au cours des trois dernières années. Elle se base sur l'utilisation d'un produit géosynthétique, le géocomposite de drainage planaire (Sarsby, 2008), qui combine des géotextiles non tissés assurant la filtration et le drainage, et des tubes perforés positionnés à intervalle régulier dans le géocomposite qui permettent l'extraction de l'eau (figure 2). Ces produits possèdent également la capacité de renfort mécanique offerte communément par les géotextiles. Ces produits sont maintenant largement utilisés dans de nombreuses applications en génie géotechnique et environnemental, par exemple pour le drainage des remblais, des chaussées, des terrains de sport, des recouvrements de sites d'enfouissement, pour le drainage vertical profond, pour la protection des géomembranes de bassins, et pour la collecte des lixiviats en fond de site d'enfouissement. Des composants conducteurs électriques agissant comme électrode sont ajoutés aux géocomposites de drainage planaires pour permettre la mise en œuvre du procédé de traitement électrocinétique. Grâce à celui-ci, un déplacement de l'eau et des espèces chargées positivement vers la cathode se produit par application d'une différence de potentiel entre les deux électrodes, tandis que les anions se dirigent

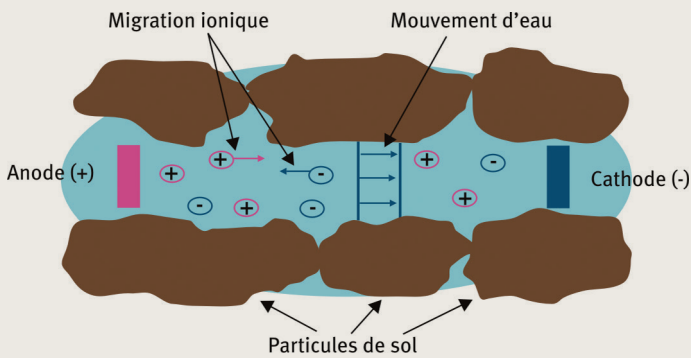
#### 1 Intrants et extrants du procédé d'extraction mécanique des sables bitumineux.



#### 2 Principe du géocomposite de drainage planaire (source : [www.draintube.net](http://www.draintube.net)).



### ③ Principe du traitement électrocinétique.



vers l'anode (figure ③). Les mécanismes principaux impliqués dans le processus électrocinétique sont l'électro-osmose et la migration ionique (Mahmaoud *et al.*, 2010). Des couches de géocomposite de drainage planaire conducteur électrique peuvent être déposées horizontalement à intervalle régulier dans le bassin de résidus au fur et à mesure qu'il se remplit. Les composants conducteurs de deux couches successives sont alimentés sur demande pour le traitement électrocinétique. Les tubes de drainage sont connectés à un système de collecte pour permettre l'extraction de l'eau des résidus par consolidation sous le poids des couches supérieures de résidus et par électro-osmose.

Trois partenaires clés sont impliqués dans ce projet et couvrent les différentes étapes de la chaîne de valeur du produit. Afitex-Textel Géosynthétiques est une entreprise manufacturière de produits de drainage synthétiques destinés principalement aux marchés du génie civil, environnemental et sportif. Elle est située à Sainte-Marie au Québec où elle possède une ligne d'aiguilletage adaptée spécifiquement pour la production de géocomposites de drainage planaires. L'entreprise a été formée en 2007 grâce au rapprochement d'Afitex International, un groupe dont le siège social est situé en France et qui détient la position de leader dans le domaine du drainage en Europe, et de Texel Inc., une division de ADS, le leader en Amérique du Nord dans les géotextiles.

Le deuxième partenaire principal du projet est le Groupe CTT, installé à St-Hyacinthe au Québec, et sa division « géosynthétiques et matériaux de construction » SAGEOS. Celle-ci constitue la ressource en essais et analyses de laboratoire pour l'industrie des géosynthétiques et des matériaux de construction depuis plus de vingt-cinq ans. Elle détient les accréditations ISO 9001 : 2000, ISO 17025 et GAI-LAP. Avec plus de dix millions de dollars d'équipements à la fine pointe de la technologie répartis sur plus de 3 700 m<sup>2</sup> d'espaces de laboratoire, l'équipe de plus de soixante-cinq professionnels du Groupe CTT offre des services d'essais et analyses de laboratoire, de recherche et développement, et de support à la commercialisation à l'industrie des textiles techniques et des matériaux souples.

Finalement, le troisième partenaire principal du projet est COSIA, la Canada's Oil Sands Innovation Alliance. Elle regroupe treize entreprises couvrant 90 % de l'exploitation des sables bitumineux au Canada : BP Canada, Canadian Natural Resources Ltd., Cenovus Energy Inc., ConocoPhillips Canada Resources Corp., Devon Canada Corporation, Imperial Oil, Nexen, Shell Canada Energy, Statoil Canada Ltd., Suncor Energy Inc., Syncrude Canada Ltd., Teck Resources Ltd. et Total E&P Canada Ltd. L'objectif de ce consortium est de permettre une accélération de l'amélioration des performances environnementales des sables bitumineux canadiens grâce à l'innovation ouverte et au partage d'informations commerciales. Au total, près de un milliard de dollars d'efforts de développement dans l'amélioration des performances environnementales des sables bitumineux ont été mis en commun par ses membres. Le projet a éga-

lement profité d'une collaboration avec Irstea, l'institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, et son équipe de recherche sur les géosynthétiques située à Antony en France.

La réalisation des travaux a bénéficié d'une collaboration très active des partenaires du projet. Celle-ci a démarré dès le montage du plan de travail et la préparation de la demande de financement auprès du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), un organisme fédéral canadien qui appuie la recherche et la formation avancée, et supporte le partenariat avec l'industrie. Elle s'est poursuivie tout au long du projet avec le partage des résultats des travaux et la tenue régulière de réunions de travail et du comité de pilotage. La réalisation des activités de recherche s'est déroulée principalement dans les laboratoires du Groupe CTT, où une équipe de chercheurs, d'ingénieurs et de techniciens a été mise sur pied avec un éventail d'expertises incluant le génie géotechnique et environnemental, les sciences des matériaux, les textiles, le génie électrique, le génie mécanique et la chimie.

Des étudiants ont également contribué aux travaux dans le cadre de stages de niveau collégial et universitaire, incluant plusieurs étudiants ingénieurs en projet de fin d'étude et un doctorant en géologie à Irstea. L'équipe d'Afitex-Textel a contribué par son expertise dans le drainage des sols et en fournissant les échantillons de géocomposite nécessaires aux expériences. Elle s'est également occupée de la recherche de partenaires pour la réalisation des essais terrain en collaboration avec le responsable chez COSIA, qui, en plus de relayer l'information sur les résultats des travaux auprès de ses membres, s'est chargé de l'obtention d'échantillons de résidus de sables bitumineux pour la réalisation des tests. Un large effort a également été consacré à la diffusion de l'information, autant auprès des partenaires directs et indirects du projet, qu'auprès de la communauté scientifique et industrielle des géosynthétiques, des sables bitumineux et des résidus miniers.

### Les réalisations

Une première série de réalisations a concerné le développement de montages expérimentaux destinés à mesurer l'efficacité du géocomposite de drainage planaire conducteur électrique pour l'assèchement des résidus de sables bitumineux et à étudier les différents processus contribuant à cet assèchement. En particulier, des cellules d'assèchement permettant de traiter 20 litres de résidus ont été conçues (Bourges-Gastaud *et al.*, 2014). Elles permettent de simuler l'ensemble des phénomènes pouvant se produire dans un scénario réel de traitement de FFT par des géocomposites de drainage planaires conducteurs électriques, c'est-à-dire la consolidation sous son propre poids et sous celui des couches supérieures, l'électro-osmose et l'expulsion de l'eau. Un autre montage a été développé spécifiquement pour l'étude du phénomène de filtration des résidus par la nappe filtrante du géocomposite. Finalement, un montage à petite échelle a aussi été conçu pour simuler uniquement l'étape d'électro-osmose du traitement.

Une autre réalisation a consisté au développement d'une formulation de résidus synthétiques et de sa méthode de préparation. En effet, de larges quantités de résidus sont nécessaires à la réalisation des travaux visant le développement de traitements d'assèchement. Or, le transport d'échantillons de résidus depuis les sites de production est complexe en raison de la nature des matériaux, et cher. De plus, la composition des résidus varie en fonction de l'emplacement de la mine et du temps, ce qui introduit une variable incontrôlée dans le plan d'expériences. La formulation proposée comprend de l'eau, du bitume, différents types d'argile (bentonite, kaolinite, illite) et du chlorure de sodium. Un comportement similaire a été observé pour

les résidus synthétiques et des MFT obtenus d'un exploitant de sables bitumineux lors de tests d'assèchement par les géocomposites de drainage planaires conducteurs électriques.

Le projet a aussi vu la conception et la fabrication de plusieurs prototypes de géocomposites de drainage planaires conducteurs électriques. Ils ont permis la mise en œuvre de différents types de géotextiles et de différents matériaux et configurations d'électrode. Des résultats prometteurs ont été obtenus grâce à ces prototypes. Par exemple, une réduction du volume de MFT de 51 % en 43 jours a été produite à l'aide d'un prototype de géocomposite de drainage planaire conducteur électrique composé d'un géotextile non tissé tri-couche, d'un tube perforé et d'une électrode tressée en cuivre étamé (photo ❶) soumis à une consolidation sous contrainte équivalent au poids de 1,5 m de résidu suivie par un traitement d'électro-osmose sous une différence de potentiel de 12 V. La valeur de résistance au cisaillement, qui caractérise la portance de la surface, est passée d'une valeur initiale proche de 0 à une valeur moyenne finale de 25 kPa, avec une augmentation de la teneur moyenne en solides des résidus de 44 % à 70 %. La consommation énergétique correspondant à ce traitement a été de 130 Wh, soit 6,6 kWh par m<sup>3</sup> de résidus traités.

Finalement, le projet a donné lieu au développement de connaissances sur différents aspects sous-jacents au traitement des résidus de sables bitumineux par les géocomposites de drainage planaires conducteurs électriques. Par exemple, il a été montré que la filtration des résidus de sables bitumineux par des géotextiles se produit sans colmatage. Le flux de liquide à travers le système est néanmoins très faible en raison d'une densification des résidus à proximité du géotextile. Par ailleurs, aucune modification significative des performances de géotextiles immergés pendant quatre mois dans une solution simulant l'environnement chimique des résidus n'a été mesurée. En ce qui concerne le traitement d'assèchement, une analyse des corrélations entre l'efficacité et les paramètres du traitement a été réalisée. Par exemple, une relation linéaire a été obtenue entre la résistance au cisaillement finale des MFT et la différence de potentiel appliquée, ainsi qu'entre la quantité d'eau extraite et la densité de courant. Finalement, des simulations permettant d'extrapoler à l'échelle des bassins de résidus de sables bitumineux les résultats obtenus avec les différents montages de laboratoire indiquent la faisabilité technique et économique de l'application du produit développé pour le traitement des résidus de sables bitumineux. Un autre avantage de cette solution est qu'elle ne nécessite pas de modification significative aux opérations minières.

## Conclusion et perspectives

Après plus de vingt ans d'efforts dans le développement de techniques pour une consolidation plus rapide des résidus de sables bitumineux, où des progrès ont été accomplis mais sans que le remède miracle ne soit identifié, la porte est ouverte pour de nouvelles idées. Par exemple, une solution innovante basée sur un géocomposite de drainage muni d'éléments conducteurs a été développée au cours des trois dernières années. L'assèchement se produit couche par couche par consolidation sous contrainte sous le poids des couches de résidus supérieures et traitement d'électro-osmose. Des tests réalisés en laboratoire et des simulations extrapolant les résultats à l'échelle des bassins de résidus indiquent la faisabilité technique et économique de l'application du produit développé pour le traitement des résidus de sables bitumineux.

L'implémentation de cette solution, seule ou en combinaison avec d'autres, pour le traitement des résidus de sables bitumineux au fur et à mesure de leur production permettra une réduction majeure de l'impact de l'exploitation des sables bitumineux sur l'environnement



❶ Exemple de prototype de géocomposite de drainage planaire conducteur électrique.

© Groupe CTT

et sur le paysage de l'Alberta sans modification importante des opérations minières. Elle pourra également être utilisée pour le traitement des résidus contenus dans les 176 km<sup>2</sup> de bassins actuels. Il s'agit là d'une opportunité majeure de développement d'un nouveau marché pour l'industrie des géosynthétiques de drainage.

Le recours aux produits géosynthétiques pour le traitement des résidus pourra également éveiller l'intérêt de l'industrie des sables bitumineux pour ces matériaux et générer d'autres applications dans ce secteur d'activité, par exemple pour le confinement des contaminants liquides et gazeux. La solution développée pour le traitement des résidus de sables bitumineux pourra également être étendue à d'autres types de résidus problématiques, par exemple les résidus produits dans des zones arctiques, où les températures froides réduisent la vitesse de consolidation, et les résidus d'extraction du minerai d'uranium, qui doivent être maintenus en conditions d'assèchement partiel pour que tout écoulement d'eau se produise en direction des résidus.

Ce projet a permis, en moins de trois ans, d'amener une idée jusqu'à l'étape des essais terrain, qui sont prévus pour les prochains mois. Il illustre les bénéfices d'une implication active de tous les acteurs clés de la chaîne de valeurs, du manufacturier du produit à l'utilisateur final, à la démarche d'innovation, et ce dès son initiation. ■

## Les auteurs

Patricia I. DOLEZ et Eric BLOND

SAGEOS/Groupe CTT

3000 Avenue Boullé – Saint-Hyacinthe – QC J2S 1H9 – Canada

✉ [PDolez@gcttg.com](mailto:PDolez@gcttg.com) / ✉ [EBLond@gcttg.com](mailto:EBLond@gcttg.com)

## EN SAVOIR PLUS...

- ❶ **AOSID**, 2014, *Alberta Oil Sands Industry, Quarterly Update, Winter 2014*, 18 p., disponible sur : [albertacanada.com/files/albertacanada/AOSID\\_QuarterlyUpdate\\_Winter2015.pdf](http://albertacanada.com/files/albertacanada/AOSID_QuarterlyUpdate_Winter2015.pdf) (consulté le 26/04/2015).
- ❷ **BGC ENGINEERING INC.**, 2010, *Oil Sands Tailings Technology Review, Oil Sands Research and Information Network*, 144 p., disponible sur : [www.infomine.com/library/publications/docs/BGCEngineering2010.pdf](http://www.infomine.com/library/publications/docs/BGCEngineering2010.pdf) (consulté le 26/04/2015).
- ❸ **MAHMAOUD, A., OLIVIER, J., VAXELAIRE, J., HOADLEY, A.F.A.**, 2010, *Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering*, *Water Research*, vol. 44, p. 2381-2407.
- ❹ **SARSBY, R. W.**, 2007, *Geosynthetics in civil engineering*, Woodhead Publishing Limited – CRC Press, Boca Raton, FL.
- ❺ **BOURGES-GASTAUD, S., STOLZ, G., DOLEZ, P., BLOND, E., TOUZE-FOLZ, N.**, 2014, *Laboratory device to characterize electrokinetic geocomposites for fluid fine tailings dewatering*, *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 52, n° 4, p. 505-514, disponible sur [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net) (consulté le 26/04/2015).