

MATERIAUX GEOSYNTHETIQUES POUR LA MAITRISE DU CYCLE DE L'EAU DANS L'INDUSTRIE SUCRIERE : CAS CONCRET

THE USE OF GEOSYNTHETICS TO CONTROL THE WATER CYCLE IN THE SUGAR INDUSTRY: A CONCRETE CASE

Caroline CHALAK¹, Thomas WOHLHUTER², Thierry GISBERT³

¹ ARCADIS, Lyon, France

² ARCADIS

³ ARCADIS

RÉSUMÉ – L'industrie sucrière est productrice d'eau. Cela permet de réduire voire arrêter toute sa consommation en eau de forage. Le stockage de ces eaux et des divers effluents est un enjeu majeur pour cette industrie. Seront présentés dans ce contexte les études de conception et les travaux de création d'un bassin de stockage d'eaux terreuses, effluents issus des installations de lavage des betteraves, et les différents produits géosynthétiques utilisés.

ABSTRACT –The sugar industry produces water. This allows it to reduce or even stop any consumption of the drilling water. The storage of this water and the various effluents is a major issue for these installations. In this context, the design studies and the work to create a storage basin for earthy waters, effluents issued from the beetroots washing facilities, and the various geosynthetic products used will be presented.

1. Introduction

En 2018-2019, La France fut le premier producteur européen de sucre. L'industrie sucrière est l'une des rares activités industrielles productrice d'eau. En effet, la betterave contient environ 77% d'eau qui va être libérée lors du processus d'extraction et de cristallisation du sucre. Ainsi, les chiffres du Syndicat National des Fabricants de Sucre (SNFS) indiquent qu'une sucrerie qui travaille 20 000 t de betteraves par jour durant une campagne de 110 jours produit chaque année environ 300 000 t de sucre, 400 000 t de pulpes, 60 000 t de mélasse... et 1,7 millions de m³ d'eau. L'eau est donc le premier produit d'une sucrerie, devant le sucre ! Cette réalité permet donc théoriquement aux sucreries d'être complètement autonomes vis-à-vis de leurs besoins en eau et doit leur permettre de réduire drastiquement voir d'arrêter toute consommation d'eau de forage, réduisant ainsi leur impact sur la ressource en eau souterraine.

La capacité de l'industrie sucrière à stocker et valoriser cette eau est donc déterminante et permet à l'industrie sucrière de contribuer activement au développement de pratiques agronomiques performantes et durables.

Les sucreries sont amenées dans ce contexte à améliorer les performances de leurs installations de stockage existantes constituées essentiellement de bassins en terre. Les fluides à stocker peuvent être des eaux terreuses (issues du lavage des betteraves), des eaux condensées (en provenance du procédé d'extraction du sucre), des eaux traitées avant rejet au milieu naturel, des boues de STEP (préalablement à leur épandage sur les parcelles agricoles) ou encore des eaux industrielles ou d'extinction d'incendie. L'utilisation des géosynthétiques permet de répondre aux enjeux que constituent le stockage de l'eau et des divers effluents des sucreries.

La société Arcadis a assisté un grand producteur de sucre pour la création et la rénovation de ses bassins.

Seront présentés dans cet article les études de conception et les travaux de création ex-nihilo d'un bassin de stockage et de décantation d'eaux terreuses issues des installations de lavage des betteraves d'une sucrerie ainsi que les enjeux techniques associés. Les différents produits géosynthétiques utilisés seront également présentés: géomembrane, géotextile de protection, géosynthétique bentonitique et géogrille de renforcement.

2. Principe général de conception d'un bassin

La réalisation d'un bassin nécessite une conception soignée et différente en fonction des divers objectifs à remplir. Un programme fonctionnel doit être défini suite aux échanges avec l'exploitant de l'ouvrage, dès le démarrage du projet, pour définir l'importance des éléments cités ci-dessous :

- l'implantation de l'ouvrage au regard des emprises foncières disponibles et des servitudes existantes, du périmètre de l'Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE), de la présence d'enjeux écologiques, du voisinage, du contexte géologique et géotechnique, ou des contraintes d'accès pour la réalisation et pour l'exploitation de l'ouvrage ;
- la forme générale du bassin par rapport aux avoisinants, pour lesquels il faut prendre en considération des éléments comme la largeur des pistes, le positionnement des clôtures périphériques par rapport aux tranchées d'ancrage des géosynthétiques, la présence de fossés de gestion des eaux, la présence d'ouvrages en eau ou d'infrastructures à proximité, etc. ;
- la profondeur du bassin, qui conditionne les moyens de reprise des eaux, la cinétique de ressuyage des matériaux humides, le temps de séjour des effluents dans l'ouvrage, etc;
- la surface du bassin, qui conditionne en partie le temps de séjour des effluents, influence le bilan hydrique de l'ouvrage et constitue une donnée d'entrée pour le calcul de la hauteur de revanche ;
- la localisation du point bas de l'ouvrage et de la rampe d'accès;
- le volume utile du bassin, qui constitue, avec la hauteur des digues et la présence d'habitations à proximité, les critères de classement prévus par l'article R. 214-112 du Code de l'Environnement relatif aux dispositions relatives à la sécurité et à la sûreté des ouvrages hydrauliques autorisés, déclarés et concédés ;
- la perméabilité recherchée au regard des obligations réglementaires applicables à l'ouvrage et de son usage futur (stockage ou décantation/infiltration) ;
- la multifonctionnalité du bassin (stockage de différents types d'effluents) ou de sa potentielle évolutivité (agrandissement par exemple), qui orienteront le concepteur pour la sélection des produits géosynthétiques et leur emplacement au sein de l'ouvrage.

Ces éléments constituent des données d'entrée des phases de conception de stade avant-projet et projet qui sont à croiser avec les résultats des missions géotechniques dont l'enchaînement répond à la norme NF P 94-500.

3. Programme fonctionnel et caractéristiques du bassin à créer

En 2017, le groupe industriel exprime le besoin de disposer d'un bassin de stockage et de décantation des eaux terreuses en provenance du lavoir à betteraves. Ce bassin a pour vocation de stocker temporairement et de décanter les eaux issues du lavage des betteraves. Les eaux surnageantes sont pompées et envoyées vers un méthaniseur pour subir une première épuration en produisant une partie de l'énergie nécessaire à la sucrerie. Après assèchement, les terres issues de la décantation sont quant à elles curées (pelles mécaniques et tracto-bennes) puis retournées au milieu naturel, permettant ainsi de préserver les qualités des sols agricoles et de gérer durablement la terre.

Afin d'assurer sa fonction de stockage, le fond de ce bassin doit donc être suffisamment imperméable. Par ailleurs, la conception et la réalisation de cet ouvrage doivent être compatibles avec le curage mécanisé régulier des terres décantées afin de vider le bassin et de le rendre opérationnel pour la campagne de production sucrière suivante.

Ce bassin a été conçu et dimensionné afin d'atteindre les principes suivants :

- le volume de terres décantées à stocker est **54 000 m³** ;
- la surface approximative du fond du bassin est de **2 ha** ;
- le débit d'alimentation du bassin de décantation des eaux terreuses est d'environ **270 m³/h** nominal ;
- le temps de séjour moyen des eaux est **7 jours** ;
- le pH des eaux est compris entre **5** et **8** ;
- la hauteur de la lame d'eau au-dessus des terres décantées de **1 m** environ. Le débit de pompage des eaux surnageante est ajusté en fonction ;
- l'épaisseur moyenne des terres décantées est **3 m** ;
- la hauteur minimale de revanche est **1 m** ;
- les pentes internes et externes des bassins : **2H/1V** (sous réserve de la stabilité);
- la création de rampes d'accès externe et interne de **5 m** de largeur et pentées à **6%** ;
- le profilage du fond du bassin avec création d'un point bas à proximité de la rampe d'accès interne ;
- la hauteur moyenne de stockage entre le fond du bassin et la crête de digue est de **5 m** ;

4. Etudes et investigations géotechniques

Une parcelle agricole a été identifiée pour la création du bassin. Au démarrage de la mission, aucune information précise sur la lithologie est disponible sur le périmètre d'étude. Par ailleurs, le risque de présence d'anciennes marnières et cailloutières sur la zone d'implantation est précisé en bibliographie et des remontées de cavités ont déjà affecté les environs. Plusieurs effondrements sont recensés à proximité de la zone d'implantation du bassin et d'autres cavités souterraines (cavité naturelle ou carrières) sont localisées à une distance supérieure à 1 km par rapport à la zone projet.

Des études géotechniques ont donc été entreprises et ont eu pour objet :

- la détermination des principes généraux et des principales sujétions géotechniques des terrassements ;
- l'évaluation des possibilités de réemploi des matériaux de déblai dans le cadre de la recherche d'un équilibre déblai/remblai ;
- l'évaluation de la stabilité des digues et des talus ;
- la détermination des principes généraux de construction des voiries ;

- l'évaluation des aléas « cavités souterraines » pour définir les hypothèses de dimensionnement d'un éventuel produit de renforcement, le cas échéant.

Ces études ont requis la réalisation des investigations suivantes :

- Des fouilles à la pelle mécanique (25 fouilles entre 2,1 et 4,7 m de profondeur) permettant la description des sols de surface et le prélèvement d'échantillons de sols nécessaires pour la caractérisation de base des matériaux en laboratoire et la réalisation des essais mécaniques et de traitement de sol.
- Des investigations géophysiques non destructives visant à détecter des anomalies de réponse aux signaux géophysiques attribuables à la présence de cavités, d'horizons décomprimés, ou d'hétérogénéités du sous-sol et permettant d'orienter les investigations destructives plus ponctuelles. Ces études permettent aussi de déterminer si un produit de renforcement contre les effets d'une remontée de cavité est nécessaire, ce qui peut impacter significativement le coût des travaux (jusqu'à 25-30 % du montant des travaux). Des investigations par mesures électromagnétiques par conductimètre EM31 (profils espacés de 3 m environ, soit 14 km de mesures) et par prospection microgravimétrique (maille de 7 m, soit 1037 stations de mesurage) ont été réalisées.
- Des sondages visant à reconnaître la succession lithologique au droit du site, à évaluer la compacité du sous-sol et ses caractéristiques mécaniques : 8 sondages avec essais pressiométriques réalisés jusqu'à des profondeurs comprises entre 15 et 41 m, 14 sondages destructifs avec enregistrement de paramètres réalisés à des profondeurs comprises entre 15 et 19 m de profondeur, et 7 sondages au pénétromètre statique ayant atteint le refus entre 8,5 et 13,9 m de profondeur.
- Des essais en laboratoire qui permettent de classer les sols selon le GTR et d'évaluer notamment leur aptitude au traitement ainsi que les conditions de leur réemploi dans l'ouvrage : identifications GTR, détermination de la masse volumique sèche compactée, essais de compactage Proctor sur sol brut (non traité), essais de compactage Proctor sur sol traité, essais d'aptitude au traitement selon différents dosages, essais de perméabilité au triaxial, analyses de la teneur en sulfate sur les limons et les argiles et mesures de la résistance en compression, sur les limons traités au mélange chaux + liants hydrauliques + bentonite.

5. Conclusion sur les investigations géotechniques

5.1. Lithologie au droit du bassin

Les investigations réalisées ont mis en évidence la présence en surface, sous les horizons végétalisés, d'une couche de limons sablonneux ou argileux (1 à 2,5 m d'épaisseur), surmontant une couche d'argile à silex (Formation résiduelle à silex d'épaisseur très variable pouvant atteindre 27 m) et le substratum composé de craie à silex. Aucune nappe n'a été rencontrée lors des investigations.

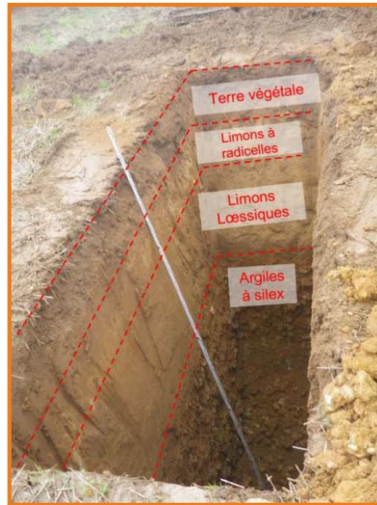


Figure 1. Horizons observés au droit d'un sondage sur site (source Arcadis)

5.2. Risque d'effondrement

Les investigations géophysiques, complétées par les sondages de reconnaissance ont mis en évidence au droit du bassin la présence d'anomalies microgravimétriques et de conductivité électrique pouvant correspondre à une zone d'altération plus importante de la craie par cheminement préférentiel des eaux (zone fracturée, ancien chenal, etc) et confirmant l'hétérogénéité de la profondeur du toit de la craie, dont la frange supérieure est altérée et parfois très décomprimée. Aucun vide franc n'a toutefois été détecté sur cette zone.

6. Conception et dimensionnement des digues et de l'étanchéité du bassin

L'une des principales difficultés de conception de ce bassin a résidé dans le choix d'un dispositif d'étanchéité :

- permettant de maîtriser les flux d'eau à travers l'ouvrage pour limiter les circulations d'eau dans les digues en remblai et vers le substratum crayeux décomprimé et potentiellement karstifié tout en favorisant le ressuyage des terres décantées ;
- compatible avec les conditions d'exploitation (curage régulier par moyens mécanisés, acidité de l'eau) et le contexte géotechnique local (potentielles déformations du sous-sol ou remontée de vides francs).

Par ailleurs, compte-tenu de l'importance de ce bassin pour l'activité de l'usine, et bien qu'aucun vide franc n'ait été détecté lors des études géotechniques, il a été décidé de renforcer le fond du bassin contre les effets d'une remontée potentielle de cavité qui pourrait affecter la structure de l'ouvrage et dont les conséquences pourraient être multiples et graves, notamment en cas de rupture de digue.

6.1. Produits géosynthétiques

Les principaux produits géosynthétiques utilisés dans la conception du bassin sont les suivants :

- **Des géosynthétiques d'étanchéité** : Deux géosynthétiques d'étanchéité ont été choisis :
 - Une géomembrane en PEHD de 2 mm d'épaisseur pour le parement interne des digues ayant pour but de protéger les digues contre les effets des infiltrations d'eau

en provenance du bassin (risque de renard et de création d'instabilités) et des effets du battillage. Il coupe également les transferts d'eau vers le sous-sol et réduit ainsi notamment le risque de développement de circulation d'eau préférentielles dans le sous-sol situé sous les digues. Ce dispositif, réputé « imperméable » vient donc protéger les digues périphériques qui retiendront les terres en cours de décantation et l'eau lagunée.

- Un géosynthétique bentonitique (GSB) calcique associé à une couche de confinement et de circulation en matériaux naturels traités de 60 cm d'épaisseur. Les GSB disposent d'une certaine déformabilité (ils gardent leurs caractéristiques fonctionnelles jusqu'à un allongement de 3% environ) et d'un pouvoir auto-cicatrisant qui sont plus adaptés au contexte géotechnique et géologique du site qu'une couche de matériaux traités à la bentonite seulement par exemple. Ce dispositif robuste est également compatible à la fois avec la circulation d'engins de chantier lourds lors des opérations de curage des bassins et avec la maîtrise des eaux s'infiltrant dans les sols. En effet, les argiles rencontrées au droit de la zone d'aménagement comportent de nombreux silex au contact desquels des chemins d'écoulement préférentiels d'eau acide vers la craie peuvent se développer. Enfin, le choix d'une bentonite calcique et non sodique a été retenu en raison du contexte calcique et alcalin du projet, et ce afin de prévenir les échanges cationiques susceptibles de dégrader les performances du GSB à long terme.
- **Un géotextile de protection** qui a pour but de prévenir la perte de la fonction d'étanchéité de la géomembrane pouvant être endommagé par des éléments poinçonnant sur les talus des digues construites avec des matériaux traités.
- **Une géogrille de renforcement** : un dispositif de protection contre les effets d'une remontée de cavité est mis en place sous le GSB au fond du bassin et dans le corps des digues en raison du contexte d'aléas de cavité régional, bien que les études géophysiques et géotechniques réalisées n'aient pas mis en évidence de vide franc ou de cavité au droit de la zone d'implantation. En contact avec des matériaux traités, cette géogrille ne doit pas être altérée chimiquement, ce qui implique d'éviter de recourir à des produits de renforcement en polytéréphtalate d'éthylène (PET) en raison du phénomène d'hydrolyse du polyester en milieu alcalin.

La géogrille a été dimensionnée par la méthode de Briançon et Villard 2008. Cette méthode loin d'être triviale d'application nécessite un calcul itératif complexe pour la détermination de la résistance de géosynthétique à mettre en place. L'intérêt principal de cette méthode par rapport à la méthode RAFAEL, est qu'elle tient compte du glissement de la nappe géosynthétique dans la zone d'ancrage, donc permet de mieux estimer les valeurs de déflexion du géosynthétique et de tassement en surface et la résistance nécessaire du produit à mettre en place.

Les hypothèses suivantes sont considérées pour le calcul :

- La durée de vie de l'ouvrage est prise égale à 100 ans,
- La déformation maximale considérée pour la géogrille est identique à celle considérée dans le GSB, à savoir 3 %,
- Une hauteur de remblais entre le géosynthétique de renforcement et le GSB de 20 cm.
- La cavité est circulaire et de 2 m de diamètre. Il est difficile en réalité de déterminer la forme et le diamètre de la cavité. Dans certains cas, on peut s'appuyer sur les résultats des investigations géophysiques ou les observations des fontis existantes sur site, ce qui n'est pas le cas dans cette étude. Le choix du diamètre de la cavité peut aussi avoir un impact financier important sur le coût des travaux. Une cavité d'une taille plus élevée nécessite un géotextile plus résistant et donc plus cher. Compte-tenu de l'importance de ce bassin pour l'activité de l'usine (sachant qu'aucun vide franc n'ait été détecté lors des études géotechniques) et de l'impact financier une cavité de 2 m de diamètre est considérée pour le calcul.

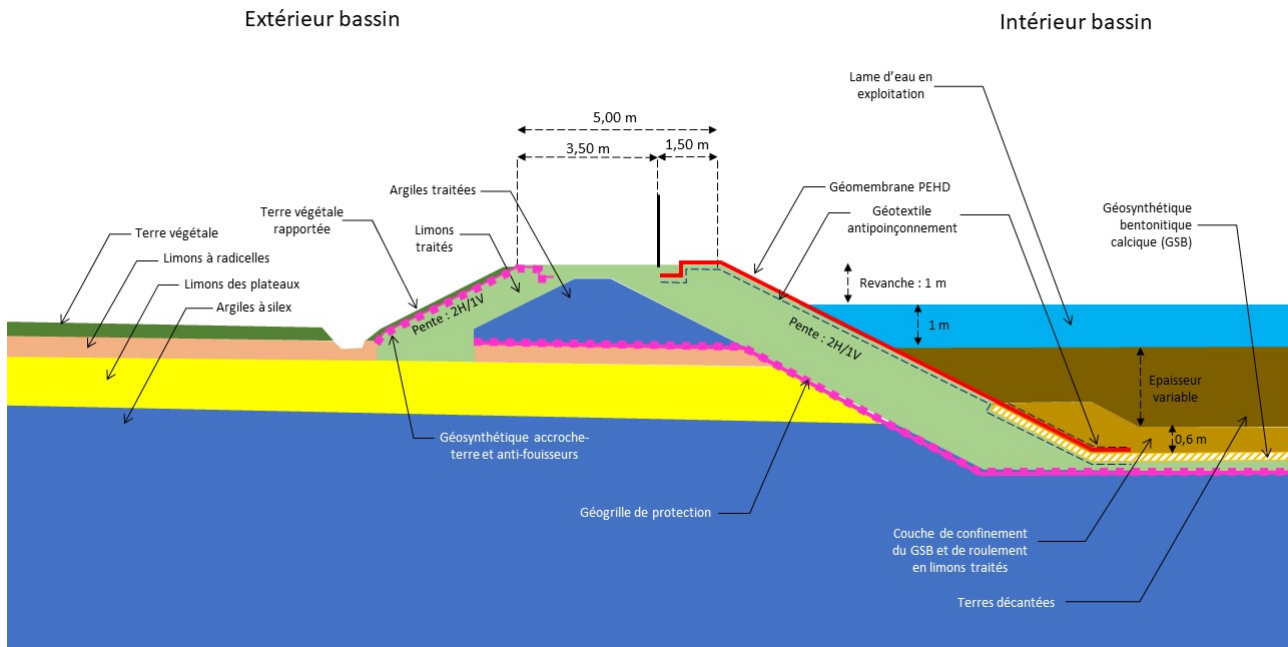


Figure 2. Coupe illustrant les divers éléments utilisés dans la conception du bassin

6.2. Etudes géotechniques : réemploi des matériaux

Les résultats des essais menés au laboratoire indiquent que les déblais qui seront générés par les travaux (limons et argiles de silex) sont inutilisables dans l'état, et doivent être traités avant réutilisation. Les argiles à silex ont préférentiellement été orientées vers le cœur des digues périphériques du bassin afin de limiter la présence d'éléments poinçonnant au niveau de la structure support du Dispositif d'Etanchéité et de Drainage par Géosynthétiques (DEDG) tandis que les limons ont été orientés, après traitement à la chaux et au liant hydraulique, vers le fond du bassin et la surface des talus pour disposer d'un matériau plus aisé à lisser dans le cadre des travaux d'étanchéité.

7. Stabilité des digues et des talus du bassin

L'étude de la stabilité des digues et des talus du bassin a une importance primordiale.

Les calculs de stabilité ont été vérifiés pendant plusieurs phases : la phase transitoire de déblais correspondant aux terrassements réalisés dans les terrains naturels et jusqu'au fond de fouille (soit 0,8 m sous la cote utile du bassin), la phase transitoire de montage des digues correspondant à la mise en œuvre des corps de digues, et la phase permanente d'exploitation du bassin dans les conditions défavorables (bassin vide en fin de curage des boues).

Plusieurs profils représentatifs des flans internes et externes des digues (faiblement en déblais et fortement en remblais, totalement en remblais, fortement en déblais et faiblement en remblais, très fortement en déblais et faiblement en remblais avec présence de la rampe d'accès interne) ont été étudiés. Pour un talus de pente 2H/1V, la stabilité est vérifiée.

La stabilité des digues contre le risque d'érosion interne a été également étudiée afin de vérifier pour les digues entièrement en remblai que la mise en œuvre d'un GSB n'engendre pas de phénomène de suffusion et de boullance.

Le risque d'érosion interne a été écarté.

8. Réalisation et mise en eau

Les travaux ont été attribués à un groupement d'entreprises spécialisées : une entreprise de travaux publics spécialisés dans les terrassements et les VRD et une entreprise qualifiée pour l'application de produits géosynthétiques. Les travaux ont débuté en mars 2019.

Ils ont débuté les travaux par le décapage d'une surface de travail de 49 000 m² (emprise bassin, zones de stockage de matériaux et aménagements périphériques) et par l'extraction des matériaux limoneux et argileux. Avant d'être réutilisés, les matériaux extraits ont été traités sur une aire dédiée à l'aide de 1 400 tonnes de chaux et de 2 800 tonnes de liant hydraulique. Ces matériaux ont d'abord été réutilisés pour reprofiler le fond du bassin et constituer le noyau d'argile de la digue périphérique. La géogrille a ensuite été installée sur l'arase de terrassement, tant au niveau du fond que de la digue périphérique. Les opérations de terrassement ont ensuite pris le relais pour finaliser la digue et recouvrir la géogrille de 20 cm de matériaux traités.

Le GSB a ensuite été appliqué au fond du bassin et immédiatement recouvert par la couche de confinement de 60 cm de matériaux traités. L'absence d'endommagement du GSB par les matériaux mis en œuvre au-dessus a été vérifié au moyen d'une planche de convenance. Les talus intérieurs du bassin tout comme la rampe d'accès intérieure ont ensuite été équipés d'un géotextile de protection et de la géomembrane en PEHD ancré en crête de digue. Les opérations de pose des différents produits géosynthétiques pouvant se faire simultanément à des fins d'optimisation du planning de travaux. Les talus extérieurs ont été protégés par un géocomposite accroche-terre et anti-fouisseurs et recouverts d'un horizon de terre végétale ensemencée par voie hydraulique afin d'améliorer l'intégration paysagère du projet. Au total, le volume de déblais réutilisés en remblais traités est de 81 000 m³.

Les travaux se sont achevés en août 2019 et la mise en eau du bassin a été effectuée mi-septembre 2019, au démarrage de la campagne sucrière 2019-2020.