

MATÉRIAUX GÉOSYNTHÉTIQUES POUR LA MAÎTRISE DU CYCLE DE L'EAU DANS L'INDUSTRIE SUCRIÈRE : RETOURS D'EXPÉRIENCES

GEOSYNTHETICS PRODUCTS FOR THE WATER CYCLE MANAGEMENT IN THE SUGAR BEET INDUSTRY : CONCRETE FEEDBACKS

Thomas WOHLHUTER¹, Thierry GISBERT², Yves GÉRARD³

1 Arcadis, Saint-Herblain, France

2 Arcadis, Le Plessis-Robinson, France

3 YGD Conseil, Saint-Etienne-de-Montluc, France

RÉSUMÉ – La France est le premier producteur européen de sucre. Comptant 25 sucreries, la filière française s'est engagée dans un plan de réduction de ses consommations d'eau. La betterave contenant entre 70 et 80% d'eau, l'un des enjeux majeurs de la filière est de pouvoir réutiliser, recycler et stocker l'eau produite pendant la campagne sucrière qui s'étale chaque année entre les mois de septembre et janvier. Dans ce cadre, un grand producteur européen de sucre de betteraves a engagé un programme de rénovation de ses bassins de stockage. La réalisation de ces bassins fait appel à plusieurs types de géosynthétiques dont la sélection et le dimensionnement doivent être réfléchis dès la conception de l'ouvrage. Le contrôle extérieur en phase de travaux permet de s'assurer que les règles de l'art sont respectées.

Mots-clés : sucre, betterave, bassin, maîtrise d'œuvre, contrôle extérieur

ABSTRACT – France is the first European sugar beet producer. With 25 refineries, the French sugar sector has launched a water consumption reduction plan. The water content of sugar beets is comprised between 70% and 80%. Thus, one of the major stakes of this sector is to reuse, recycle and store the water produced during the refining period which takes place each year between September and January. In this framework, a big European sugar company has initiated a renovation plan of its storage ponds. The construction of those ponds involves the use of different geosynthetics products that must be selected and designed appropriately. External control during the construction phase is also important to check that the state-of-the-art rules for geosynthetics application are followed.

Keywords: sugar, beet, pond, design, external control

1. Introduction

En 2017-2018, la France fut le premier producteur européen de sucre (Métropole + DOM) et le premier producteur mondial de sucre de betterave (moyenne sur 3 ans) (CEDUS, 2019a). Totalisant 25 sucreries sur la campagne 2016-2017, la France métropolitaine a produit 4,7 millions de tonnes de sucre (SNFS, 2019). L'industrie sucrière est l'une des rares activités industrielles productrice d'eau. En effet, la betterave contient environ 75% 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 traite 20 000 tonnes de betteraves par jour durant une campagne de 110 jours produit chaque année environ 300 000 tonnes de sucre, 400 000 tonnes de pulpes, 60 000 tonnes 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 théoriquement aux sucreries d'être complètement autonomes vis-à-vis de leurs besoins en eau et doit leur permettre de réduire drastiquement, voire d'arrêter, toute consommation d'eau de forage, réduisant ainsi leur impact sur la ressource en eau souterraine. La production d'eau n'intervient néanmoins que lorsque la campagne de fabrication du sucre est lancée, généralement au mois de septembre, alors que le besoin en eau de la sucrerie est réparti sur toute l'année, pour les essais techniques et le nettoyage des équipements.

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

Conscient de cet enjeu, un grand producteur de sucre européen s'est engagé à réduire ses consommations d'eau prélevée dans le milieu naturel en mettant en œuvre un programme d'amélioration technique de ses outils de production et d'augmentation de sa capacité de stockage.

Arcadis, société d'ingénierie et de maîtrise d'œuvre, et YGD Conseil, contrôleur extérieur spécialisé en géosynthétiques, accompagnent cet industriel dans ce programme.

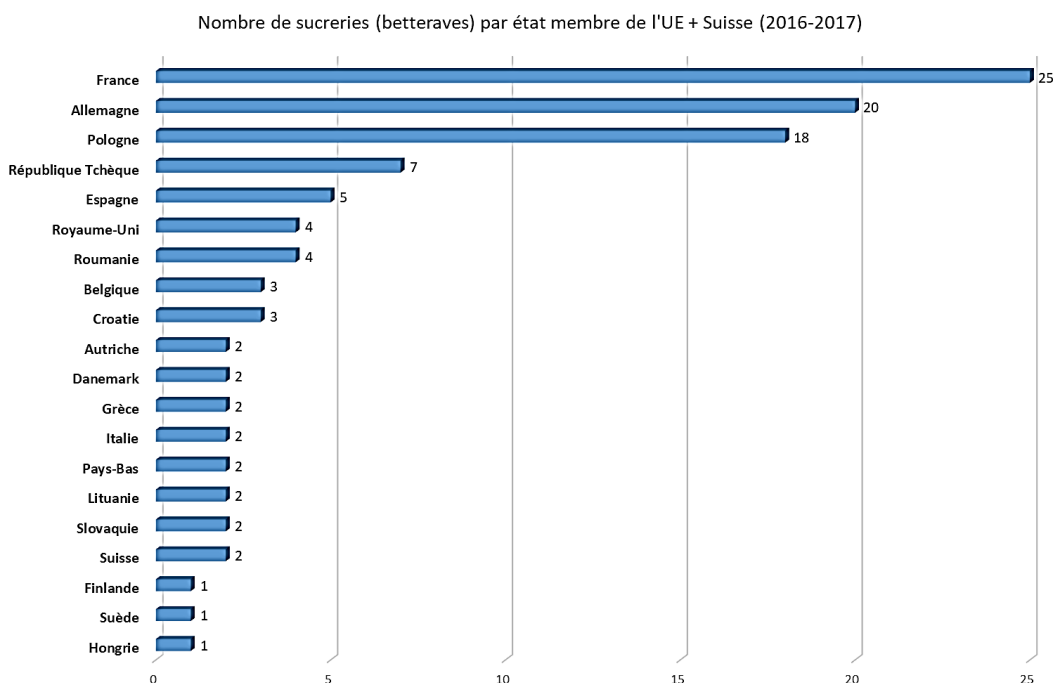


Figure 1. Nombre de sucreries dans l'Union-Européenne et la Suisse (d'après CEFS)

2. L'eau dans l'industrie sucrière

Dans l'industrie sucrière, l'eau est utilisée pour transporter puis laver les betteraves, extraire le sucre, alimenter les chaudières pour produire de la vapeur, démarrer les installations en début de campagne, les refroidir, les nettoyer en fin de campagne, ou les recycler dans un autre procédé, comme la production d'éthanol...

On distingue donc plusieurs types d'eaux produites et utilisées en sucrerie :

- l'eau condensée, extraite du jus sucré au cours de l'étape d'évaporation : celle-ci est recyclée à différentes étapes du process sucrier (extraction du sucre et lavage final des betteraves par exemple). L'eau condensée excédentaire, traitée par ultrafiltration et osmose inverse, permet d'alimenter les chaudières et l'excédent peut être directement utilisé en irrigation ;
- l'eau de transport et de lavage des betteraves décantées : partiellement débarrassée de sa charge en terre, elle peut à nouveau être réutilisée pour le transport et le lavage des betteraves. La fraction chargée en terre peut, quant à elle, directement retourner aux parcelles agricoles, via un épandage permettant de leur restituer de la terre, de l'eau et des éléments fertilisants exportés par la betterave. Les eaux terreuses peuvent également, après une étape de décantation et de lagunage, être méthanisées pour valoriser la fraction organique solubilisée.

Les volumes d'eau utilisés sont différents en fonction des étapes de fabrication. L'infographie présentée sur la figure 2 illustre les différentes étapes consommatrices d'eau au cours de la fabrication du sucre dans une usine type de l'Union Européenne.

La filière betterave-sucre en France s'est engagée à promouvoir une agriculture durable, qui conjugue à la fois des rendements performants et des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement. Elle s'est ainsi engagée à recycler plus de 95% de l'eau contenue dans la betterave (CEDUS, 2019b) et de ne plus utiliser d'eau en provenance de l'extérieur (nappes et cours d'eau). Lors des campagnes de fabrication du sucre, l'eau doit donc être plusieurs fois recyclée et stockée, permettant de réduire au minimum l'apport d'eau neuve issue de forages ou de prélèvements.

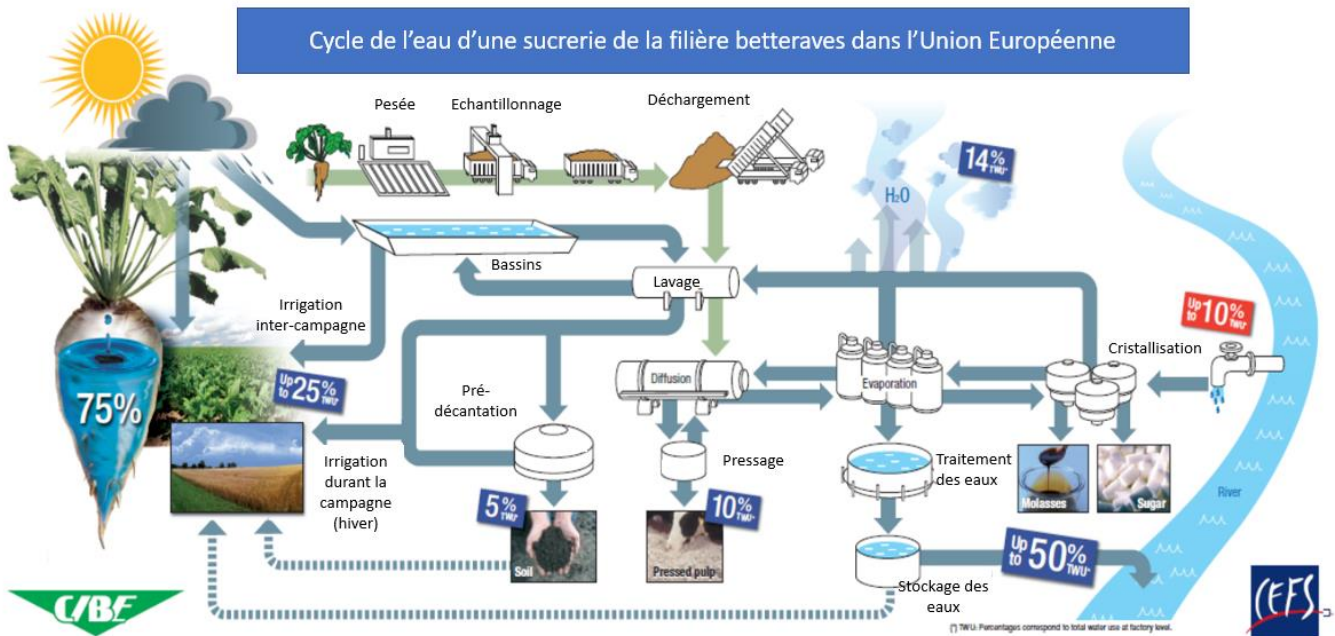


Figure 2. Utilisation de l'eau dans une sucrerie de la filière betteraves dans l'Union Européenne (adapté du CEFS, 2018)

3. Fonction et utilisation des géosynthétiques dans l'industrie sucrière

Pour permettre le stockage de l'eau en période de production excédentaire et sa réutilisation dans le process sucrier, il est nécessaire de stocker cette eau dans des bassins de grandes capacités.

Toutes les familles de géosynthétiques trouvent, dès lors, leur place dans la construction d'ouvrages de stockages d'effluents de sucrerie. Les fonctions les plus utilisées sont décrites dans le paragraphe 3.1. Le paragraphe 3.2 aborde quelques notions importantes au stade de la conception.

3.1. Principales fonctions utilisées pour la construction des bassins en sucrerie

- **Étanchéité** : la fonction étanchéité est assurée par des géomembranes ou des géosynthétiques bentonitiques et recherchée pour prévenir ou limiter l'infiltration de liquides dans le sol support, les digues et le sous-sol. L'étanchéité répond à plusieurs objectifs ou exigences. Ainsi, l'étanchéité d'un ouvrage peut répondre à un objectif quantitatif (limiter la perte d'eau par infiltration dans le sous-sol), qualitatif (prévenir l'impact potentiel du stockage des effluents sur la qualité des milieux, notamment celle des eaux souterraines) ou fonctionnel (protéger une digue en matériaux naturels contre les effets du battillage, assurer sa stabilité mécanique, etc.). Dans ce dernier cas, ce n'est pas la fonction étanchéité seule d'un géosynthétique qui contribue à la protection de la digue, mais également la fonction de séparation mécanique.
- **Drainage** : cette fonction pourrait techniquement être assurée par un géotextile (par exemple non-tissé aiguilleté) mais les géocomposites de drainage, dont la capacité de débit dans le plan est souvent supérieure, sont davantage utilisés. La fonction drainage est fortement associée à la fonction étanchéité pour la construction d'ouvrages de stockage et vient protéger l'étanchéité des effets des sous-pressions que peut engendrer l'accumulation de fluide (gaz ou eau) sous une géomembrane et son évacuation vers un exutoire. L'accumulation de gaz peut être liée à la remontée rapide de la nappe phréatique dans un sol non saturé, à la décomposition de matière organique en profondeur et aux fuites de liquides chargés en matières organiques. En l'absence de drainage, cette accumulation a pour effet de générer un gonflement de la géomembrane qui se désolidarise de son support et se met en tension. Ces déformations nuisent au fonctionnement de l'ouvrage, limitent sa capacité de stockage et endommagent la géomembrane. Les géosynthétiques de drainage des gaz permettent d'évacuer ces derniers vers des événements situés en partie haute, au niveau des zones d'ancrage des géosynthétiques. L'accumulation d'eau sous l'étanchéité, quant à elle, peut être liée au battement de la nappe phréatique, à la circulation d'eau de subsurface dans les corps de digue, à des fuites

provenant de l'ouvrage lui-même ou d'un ouvrage avoisinant. Elle peut avoir pour conséquence le gonflement de la géomembrane, l'érosion de la structure support, voire sa déstabilisation. Dans le cas des bassins de stockage d'effluents, les eaux drainées par des géocomposites de drainage sous étanchéité sont souvent dirigées vers une tranchée de drainage/infiltration permettant, soit l'infiltration dans le sous-sol, soit la reprise par un ouvrage de pompage.

- Filtration : la fonction filtration est assurée par un géosynthétique ayant une faible ouverture de filtration, adaptée à la granulométrie des matériaux à son contact. Cette fonction consiste à laisser circuler librement un fluide (eau notamment), tout en retenant les éléments du sol dans le but d'éviter le colmatage de la partie drainante par les éléments fins, l'augmentation de la pression interstitielle au voisinage du dispositif de drainage, ou encore la déstabilisation du sol (formation de cavités ou renards). Ainsi, dans le cas des bassins de sucrerie, on retrouve les géosynthétiques de filtration à proximité des géosynthétiques de drainage, souvent sous l'étanchéité.
- Protection : la fonction protection est assurée par la mise en œuvre d'une structure de protection pouvant intégrer un ou des géotextiles. Elle est a pour but de prévenir la perte de la fonction d'étanchéité du géosynthétique d'étanchéité (géomembrane ou géosynthétique bentonitique). Cette perte de fonctionnalité peut être liée à des agressions mécaniques (poinçonnement, déchirures ou friction par exemple), chimiques (pH, caractéristiques physico-chimiques du milieu), ou liées à l'environnement physique ou aux conditions d'exploitation de l'ouvrage (effets du rayonnement ultra-violet, des cycles d'humidification/dessiccation, des variations de température, de l'alternance des cycles gel/dégel...). L'évaluation des risques d'endommagement de la structure d'étanchéité doit être conduite dès la phase de conception de l'ouvrage et mise à jour lors de sa réalisation, voire lors de son exploitation (notamment en cas de modification des conditions d'exploitation). La mise en œuvre d'une structure de protection peut être nécessaire d'un seul ou des deux côtés de la structure d'étanchéité, en fonction des caractéristiques du projet.
- Renforcement : la fonction renforcement peut être assurée par plusieurs types de produits géosynthétiques tels que les géogrilles ou les géocomposites. Dans le cas des bassins d'effluents de sucrerie, ces produits sont employés lorsque des risques d'évolution du support sont identifiés et permettent de maîtriser le risque de tassement de la structure support ou le risque de remontées de cavités. En leur absence, le tassement de la structure support ou l'ouverture du toit d'une cavité seraient susceptibles de mettre en tension les géosynthétiques sus-jacents au-delà d'un seuil acceptable, voire d'engendrer leur rupture, aboutissant à la ruine de l'ouvrage et à la survenue d'incidents ou d'accidents environnementaux, voire humains.
- Lutte contre l'érosion de surface : ce type de renforcement peut être assuré par des géotextiles antiérosifs, par des géotextiles alvéolaires, des géoconteneurs ou encore des géofilets. Ces produits permettent la mise en place et la retenue d'un horizon de terre végétalisable sur les talus extérieurs d'un ouvrage de stockage d'effluents qui, une fois végétalisé, contribuera à réduire les phénomènes de ravinement et à augmenter la durée de vie de l'ouvrage.

3.2. Programme fonctionnel et conception

Le programme fonctionnel d'un projet de création ou de réhabilitation d'un ouvrage de stockage d'effluents industriels liquides est primordial pour concevoir et dimensionner l'ouvrage et définir les fonctionnalités auxquelles doivent répondre les matériaux géosynthétiques.

Le fascicule n°10 édité par le Comité Français des Géosynthétiques, dont la nouvelle version a été publiée en juillet 2017 (Guinard, 2017), présente dans son chapitre 3 les principaux paramètres à prendre en compte pour la conception d'un ouvrage.

La définition du programme fonctionnel et l'analyse du contexte environnant (topographie, géologie, hydrogéologie, climat, etc.) peuvent nécessiter la réalisation d'investigations préliminaires dont la teneur, la durée et le coût doivent être intégrés au programme de travaux.

L'industrie sucrière est par ailleurs concernée par la réglementation ICPE. Ses activités peuvent relever de plusieurs régimes (autorisation, déclaration ou enregistrement) et sont la plupart du temps encadrées par des prescriptions préfectorales. Ainsi, tout projet de modification des conditions d'exploitation d'une sucrerie doit être analysé afin de vérifier s'il doit être porté ou non à la connaissance du Préfet, ce qui peut engendrer des délais de procédure à prendre en compte dans le programme et le planning du projet.

Le chapitre 4 présente différents chantiers de création ou de réhabilitation de bassins de stockage d'effluents menés depuis 2015. Le chapitre 5 proposera une sélection de retours d'expériences sur ces chantiers.

4. Exemples de chantiers de bassins réalisés entre 2015 et 2018

Ce chapitre présente différents chantiers de création de bassins, aux fonctions et conceptions différentes, réalisés entre 2015 et 2018. Il concerne 3 principaux types de bassins :

- les bassins de stockage entièrement étanches, non curables par moyens mécanisés ;
- les bassins de stockage à perméabilité contrôlée, curables par moyens mécanisés ;
- les bassins de stockage entièrement étanches, curables par moyens mécanisés ;

4.1. Bassins entièrement étanches et non curables, destinés au stockage d'eau condensée

Plusieurs chantiers de création de bassins de stockage d'eau condensée ont été réalisés entre 2015 et 2018 par l'industriel.

4.1.1. Cas du bassin B3 de la sucrerie A réalisé en 2015

Débutée en 2015, la rénovation de 4 des 5 bassins de stockage de la sucrerie A aura duré seulement 3 ans.

Début 2015, l'exploitant choisit de réhabiliter un premier bassin non étanché, utilisé pour la décantation des eaux issues du lavage des betteraves. Une fois asséché, en fin de campagne sucrière, ce bassin présente à la surface des matériaux décantés, des signes laissant craindre la présence de voies préférentielles d'écoulements vers le sous-sol (Figure 3). Il est alors décidé de procéder au curage des terres décantées et à la réalisation d'études de prospection géophysique et de sondages géotechniques pour évaluer les risques liés au sous-sol. Les travaux devant démarrer en juin 2015 pour une livraison au plus tard début septembre 2015, le temps disponible pour la réalisation des études préalables et de conception est très restreint.



Figure 3. Exemple d'indice de voie de circulation préférentielle de l'eau à la surface des terres décantées

Le chantier d'un second bassin présentant les mêmes caractéristiques et devant être converti en bassin à perméabilité contrôlée et curable par moyens mécanisés est lancé en parallèle. Celui-ci est décrit au paragraphe 4.2.

Afin de respecter les délais imposés par le processus de production, les investigations préalables, notamment géophysiques et géotechniques, sont réalisées en parallèle d'une phase de consultation d'entreprises en conception/construction. Le bassin a un volume de 768 400 m³.

Les caractéristiques du Dispositif d'Étanchéité et de Drainage par Géosynthétiques (DEDG) retenu pour ce chantier sont présentées dans le tableau 1. Le géocomposite de drainage des gaz (mis en œuvre en raison de la présence potentielle de matière organique fermentescible dans les sols sous-jacents) équipe 10% de la surface du bassin. L'emploi de deux différents types de géotextiles de protection se justifie par la découverte, au cours du chantier, d'un talus de craie dont l'état de surface, après profilage et lissage, laissait présager une protection insuffisante par le produit initialement prévu au marché (Géosynthétique de protection n°1 – Tableau 1). Un géotextile de protection présentant une résistance au poinçonnement plus élevée (Géosynthétique de protection n°2 – Tableau 1) fut donc installé. Par ailleurs, pour éviter des résurgences d'eau en provenance d'un bassin situé à proximité, non encore réhabilité,

dont le niveau d'eau était supérieur à la cote altimétrique du fond du bassin à réhabiliter, la totalité d'un talus a été recouverte par le géocomposite prévu pour le dégazage et dont les caractéristiques de perméabilité normale au plan et de débit dans le plan sont précisées dans le Tableau 1.

L'ensemble du DEDG est ancré dans une tranchée située à 1 m de la crête de digue et la section pesante est de 0,64 m².

Des photos des travaux (Figure 4) permettent d'illustrer la réhabilitation.

4.1.2. Chantier des bassins B4 (2016) et B1 (2017) de la sucrerie A

À la suite des travaux initiés en 2015, la sucrerie A décide de rénover les bassins B4 et B1, respectivement en 2016 et 2017.

Les délais de réalisation des études préalables (relevés topographiques, investigations géophysiques, sondages géotechniques), de consultation des entreprises et de réalisation des travaux sont également très courts. Afin de respecter les délais imposés, les investigations préalables sont à nouveau réalisées en parallèle d'une phase de consultation d'entreprises en conception/construction. Les deux bassins ont des volumes de 550 000 m³ et 350 000 m³.

Les caractéristiques des DEDG retenus pour les bassins 1 et 4 sont présentées à titre d'exemple dans le tableau 2. Sur la base du retour d'expérience acquis sur le bassin 3, il fut choisi d'utiliser des produits différents sur le fond et sur les talus pour protéger la géomembrane du support. En effet, l'état de surface de certains talus, terrassés dans la craie et lissés par engins de chantiers, a laissé présager une protection insuffisante par le géotextile de protection n°1 prévu pour le fond (voir caractéristiques dans le tableau 2). Un produit présentant des caractéristiques de résistance au poinçonnement supérieures (géosynthétique de protection n°2) a donc été spécifié pour équiper les talus des bassins (tableau 2). La découverte, en cours de chantier, d'un horizon de craie indurée sur un talus raide (fruit proche de 1H/1V), pour lequel les opérations de lissage étaient compromises, a conduit à retenir un produit de protection contre le poinçonnement encore plus performant (géosynthétique de protection n°3) (figure 5).

Les marchés de travaux prévoient enfin la mise en place d'un géocomposite de drainage, sous étanchéité, selon le maillage suivant : une bande de dégazage de 1 m de large tous les 10 m.

Tableau 1. Caractéristiques du DEDG du bassin 3

Fonction	Drainage sous étanchéité	Protection sous étanchéité		Étanchéité
Produit	Géocomposite de drainage	Géosynthétique de protection n°1 (3 talus et fond)	Géosynthétique de protection n°2 (1 talus)	Géomembrane
Matériau	Composite	PP	PP	PEHD
Masse surfacique	420 g/m ² (NF EN ISO 9864)	400 g/m ² (NF EN ISO 9864)	600 g/m ² (NF EN ISO 9864)	1850 g/m ² (EN 1849-2)
Épaisseur	3,6 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	3,4 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	4,5 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	2,0 mm (EN 1849-2)
Résistance en traction (et déformation au seuil d'écoulement)	12/12 SP/ST (NF EN ISO 10319)	27/27 SP/ST (NF EN ISO 10319)	40/40 SP/ST (NF EN ISO 10319)	33,4/33,4 KN/m (et 12/12 %) SP/ST au seuil d'écoulement (EN 12311-2)
Résistance à x% de déformation		3/4 SP/ST à 5% (NF EN ISO 10319)	4/7 SP/ST 5% (NF EN ISO 10319)	24/24 SP/ST à 250% (EN 12311-2)
Performance dynamique (chute de cône)	20 mm (NF EN ISO 13433)	11 mm (NF EN ISO 13433)	7,5 mm (NF EN ISO 13433)	
Poinçonnement	1,2 KN (NF G 38-019)	2,1 KN (NF G 38-019)	3,1 KN (NF G 38-019)	Résistance : 670 N Déplacement : 14 mm (NF P 84-507)

Fonction	Drainage sous étanchéité	Protection sous étanchéité		Étanchéité
		4,5 kN (NF EN ISO 12236)	6,8 kN (NF EN ISO 12236)	
Poinçonnement statique CBR	2,0 kN (NF EN ISO 12236)	4,5 kN (NF EN ISO 12236)	6,8 kN (NF EN ISO 12236)	
Perméabilité	0,05 m/s (NF EN ISO 11058)	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée
Capacité de débit dans le plan pour la partie courante et pour les mini-drains pour un gradient de 1 (mousse/mousse)	1,0.10 ⁻⁵ m ² /s SP 1,5.10 ⁻⁴ m ² /s SP	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée



1 ligne blanche

Figure 4. Étapes de réhabilitation du bassin B3 - – Photos Arcadis



Figure 5. État de surface d'un support sur talus raide nécessitant le choix d'un géotextile de protection sous géomembrane plus performant que celui prévu au marché (géosynthétique de protection n°3)

Tableau 2. Caractéristiques du DEDG retenu pour les bassins n°1 et n°4

Fonction	Drainage sous étanchéité	Protection sous étanchéité			Étanchéité
Produit	Géocomposite de drainage des gaz	Géosynthétique de protection n°1 (en fond)	Géosynthétique de protection n°2 (en talus)	Géosynthétique de protection n°3 (sur un talus en craie)	Géomembrane
Matériau	Composite	PP	PP	PP	PEHD
Masse surfacique	640 g/m ² (NF EN ISO 9864)	400 g/m ² (NF EN ISO 9864)	800 g/m ² (NF EN ISO 9864)	1200 g/m ² (NF EN ISO 9864)	1863 g/m ² (EN 1849-2)
Épaisseur	4,5 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	3,4 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	6,0 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	8,3 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	2,0 mm (EN 1849-2)
Résistance en traction (et déformation au seuil d'écoulement)	18/16 SP/ST (NF EN ISO 10319)	27/27 kN/m SP/ST (NF EN ISO 10319)	46/46 kN/m SP/ST (NF EN ISO 10319)	75/75 kN/m SP/ST (NF EN ISO 10319)	34,0/34,6 kN/m (et 9,7/9,2 %) SP/ST au seuil d'écoulement (EN 12311-2)
Résistance à x% de déformation		3/4 KN/m SP/ST à 5% (NF EN ISO 10319)	5/9 KN/m SP/ST 5% (NF EN ISO 10319)		24,2/24,3 SP/ST à 250% (EN 12311-2)
Déformation à l'effort de traction maximale	40/50 % SP/ST (NF EN ISO 10319)	85/75 % SP/ST (NF EN ISO 10319)	95/80 % SP/ST (NF EN ISO 10319)	105/100 % SP/ST (NF EN ISO 10319)	
Perforation dynamique (chute de cône)	30 mm (NF EN ISO 13433)	11 mm (NF EN ISO 13433)	6,0 mm (NF EN ISO 13433)	3,0 mm (NF EN ISO 13433)	
Poinçonnement		2,1 kN (NF G 38-019)	4,0 kN (NF G 38-019)	6,2 kN (NF G 38-019)	Résistance : 755 N Déplacement : 14,4 mm (NF P 84-507)
Poinçonnement statique CBR	1,4 kN (NF EN ISO 12236)	4,5 kN (NF EN ISO 12236)	8,5 kN (NF EN ISO 12236)	11 kN (NF EN ISO 12236)	

Perméabilité	90 l/m.s (NF EN ISO 11058)	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée
Capacité de débit dans le plan pour un gradient de 1 (plaque/plaque)	0,62 l/ms sous 20 kPa (NF EN ISO 12958)	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée

4.1.3. Chantier du bassin de stockage des eaux condensées de la sucrerie B

En 2016, la sucrerie B décide de rénover et d'agrandir un ancien bassin à écumes afin de le transformer en bassin étanche permettant le stockage d'eaux condensées (Figure 6). Ce bassin est situé à proximité d'une plateforme remblayée dont les caractéristiques géotechniques et environnementales ont fait l'objet d'investigations particulières visant à préciser le contexte géologique et à évaluer la qualité des futurs déblais.

Les éléments de conception particuliers à prendre en compte dans le cadre de la conception de cet ouvrage sont liés à la fois à une politique du groupe et à l'exploitation du bassin. Les traversées d'étanchéité étant proscrites par le groupe, l'exploitant a prévu lors de la préparation du chantier la mise en place d'un radeau d'alimentation/pompage accessible depuis une passerelle métallique. Ce radeau est utilisé par l'exploitant pour alimenter le bassin à la cote du plan d'eau sans effet de chute sur la géomembrane et pour le pompage de l'eau au niveau du point bas. Il a donc été nécessaire, au stade de la conception, de prévoir un surcreusement du fond de forme au niveau du point bas pour permettre la vidange complète du bassin et la protection de la géomembrane à l'endroit où le radeau vient se poser quand le bassin est vide. Le bassin étant quasiment vide une partie de l'année, un dispositif de lestage de la géomembrane a dû être installé pour prévenir le soulèvement de la géomembrane sous l'effet du vent. Ce lestage a été concentré au niveau des talus les moins hauts, c'est-à-dire à proximité du point haut du fond de bassin.

Les caractéristiques du DEDG installé dans ce bassin sont données dans le tableau 3. Le cahier des charges prévoyait par ailleurs la mise en place d'un géosynthétique de dégazage par bandes de 1 m de largeur, au maximum, positionnées de manière à ce que 30% de la surface étanchée soit équipée.

Tableau 3. Caractéristiques du DEDG retenu pour le bassin d'eaux condensées

Fonction	Drainage sous étanchéité	Protection sous et sur étanchéité			Étanchéité
Produit	Géocomposite de drainage des gaz	Géosynthétique de protection (en fond)	Géosynthétique de protection (en talus)	Géosynthétique de protection (sous béton sur rampe)	Géomembrane
Matériau	Composite	PP	PP	PP	PEHD
Masse surfacique	640 g/m ² (NF EN ISO 9864)	400 g/m ² (NF EN ISO 9864)	600 g/m ² (NF EN ISO 9864)	800 g/m ² (NF EN ISO 9864)	1850 g/m ² (EN 1849-2)
Épaisseur	4,5 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	3,4 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	4,5 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	6,0 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	2,0 mm (EN 1849-2)
Résistance en traction (et déformation au seuil d'écoulement)	18/16 SP/ST (NF EN ISO 10319)	27/27 SP/ST (NF EN ISO 10319)	40/40 SP/ST (NF EN ISO 10319)	46/46 kN/m SP/ST (NF EN ISO 10319)	33/33 kN/m (et 12,4/12,3 %) SP/ST au seuil d'écoulement (EN 12311-2)
Résistance à x% de déformation		3/4 SP/ST à 5% (NF EN ISO 10319)	4/7 SP/ST 5% (NF EN ISO 10319)	5/9 kN/m SP/ST 5% (NF EN ISO 10319)	24/24 SP/ST à 250% (EN 12311-2)

Fonction	Drainage sous étanchéité	Protection sous et sur étanchéité			Étanchéité
Déformation à l'effort de traction maximale	40/50 % SP/ST (NF EN ISO 10319)	85/75 % SP/ST (NF EN ISO 10319)	95/78 % SP/ST (NF EN ISO 10319)	95/80 % SP/ST (NF EN ISO 10319)	
Perforation dynamique (chute de cône)	30 mm (NF EN ISO 13433)	11 mm (NF EN ISO 13433)	7,5 mm (NF EN ISO 13433)	6,0 mm (NF EN ISO 13433)	
Poinçonnement		2,1 kN (NF G 38-019)	3,1 kN (NF G 38-019)	4,0 kN (NF G 38-019)	Résistance : 670 N Déplacement : 14 mm (NF P 84-507)
Poinçonnement statique CBR	1,4 kN (NF EN ISO 12236)	4,5 kN (NF EN ISO 12236)	6,8 kN (NF EN ISO 12236)	8,5 kN (NF EN ISO 12236)	
Perméabilité	90 l/m ² .s (NF EN ISO 11058)	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée
Capacité de débit dans le plan pour un gradient de 1 (plaque/plaque)	0,62 l/m.s sous 20 kPa (NF EN ISO 12958)	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée



Figure 6. Photographie de l'ancien bassin à écumes (à gauche) et du bassin à eaux condensées rénové et agrandi (à droite) – Photos Arcadis

4.2. Bassins à perméabilité contrôlée pour la décantation des eaux de lavage des betteraves

En 2015, en même temps que les travaux de réhabilitation du bassin B3 de la sucrerie A (paragraphe 4.1.1), le groupe engage les travaux de réhabilitation du bassin B2. Ce bassin est destiné à stocker et décanter les eaux terreuses en provenance du lavoir à betteraves. Sa conception et sa réalisation doivent être compatibles avec le curage régulier des terres décantées par moyens mécanisés (pelles mécaniques, dumpers et tracto-bennes). Compte-tenu de la fonction du bassin (décantation d'eaux terreuses, des conditions d'exploitation futures (circulation d'engins de chantier) et des conditions environnantes (présence d'autres bassins à proximité et digues périphériques situées en partie au-dessus du niveau des terrains environnants), il a été choisi de concevoir différemment l'étanchéité des talus et du fond. Ainsi, seuls les talus ont été équipés d'une géomembrane en PEHD, le fond du bassin devant laisser s'infiltrer l'eau de ressuyage des terres. La fonction étanchéité du fond du bassin est assurée par une couche de matériaux limoneux traités à la bentonite sur 30 cm et de portance 20 MPa (correspondant à une plateforme de type PF1), avec un coefficient de perméabilité inférieur à 10^{-8} m/s, tandis que la circulation des engins de chantier est rendue possible par la mise en place, au-dessus de la couche d'étanchéité, d'une plateforme de type PF2 de 30 cm d'épaisseur environ de matériaux limoneux traités au liant hydraulique et de portance 50 MPa.

Des anomalies du sous-sol ont été détectées par méthode géophysique (méthode électromagnétique EM31 et EM34-3) entre 6 et 15 m de profondeur. Elles sont potentiellement attribuables à une cavité à remplissage argileux sans présence de fontis franc et ont conduit le maître d'ouvrage à renforcer localement le fond du bassin avec un géosynthétique de renforcement (Figure 7). Le produit et ses modalités d'installation ont été déterminés en considérant l'ouverture d'une cavité circulaire de 1,5 m de diamètre et une flèche admissible de 15 cm maximum à la surface des 60 cm de plateforme. Le produit a été dimensionné selon la méthode RAFAEL.

Par ailleurs, la zone de transition entre la géomembrane en PEHD équipant les talus et le fond du bassin traité à la bentonite a été recouverte d'un lé de géosynthétique bentonitique déroulé longitudinalement afin d'assurer une continuité de la fonction étanchéité (Figure 8).

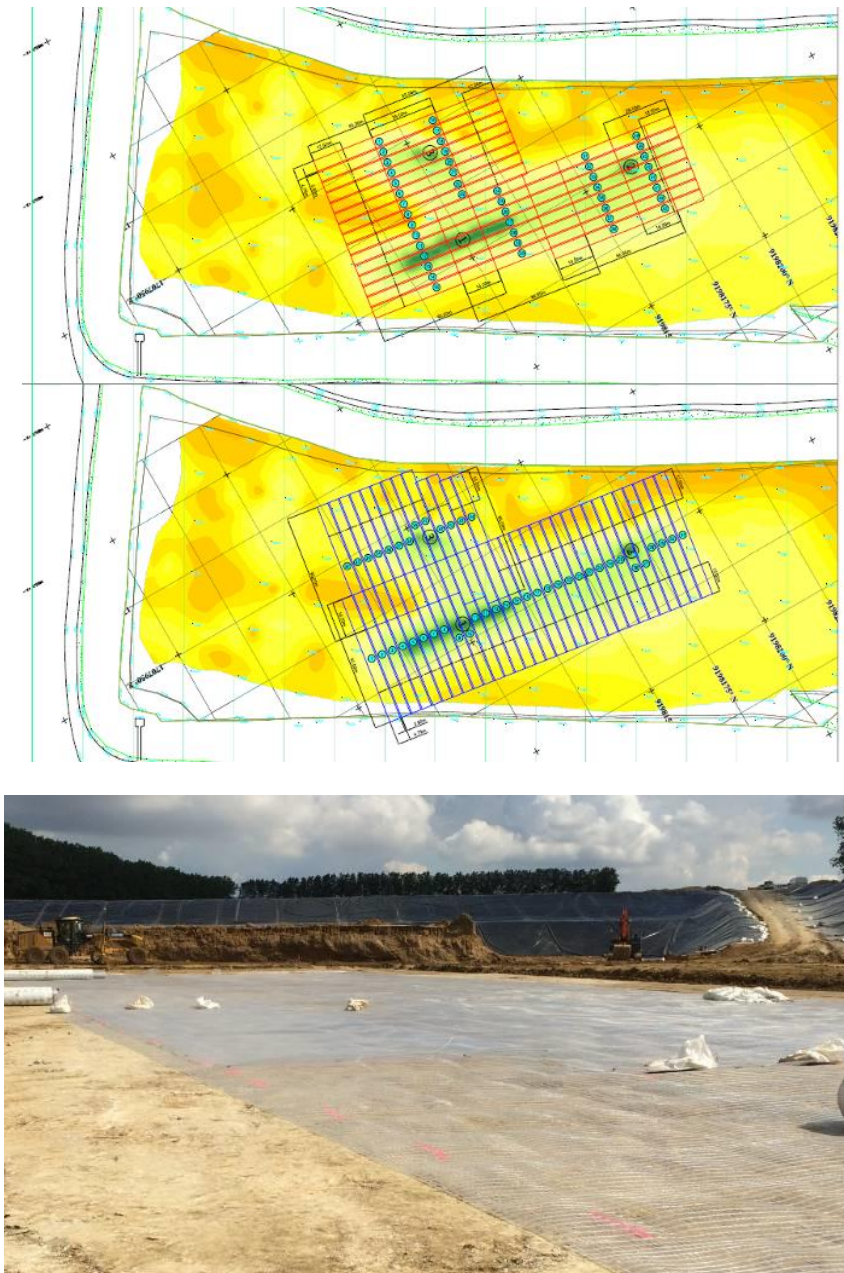


Figure 7. Plan de calepinage de la géogrille de renforcement en couches croisées et mise en œuvre du produit de renforcement

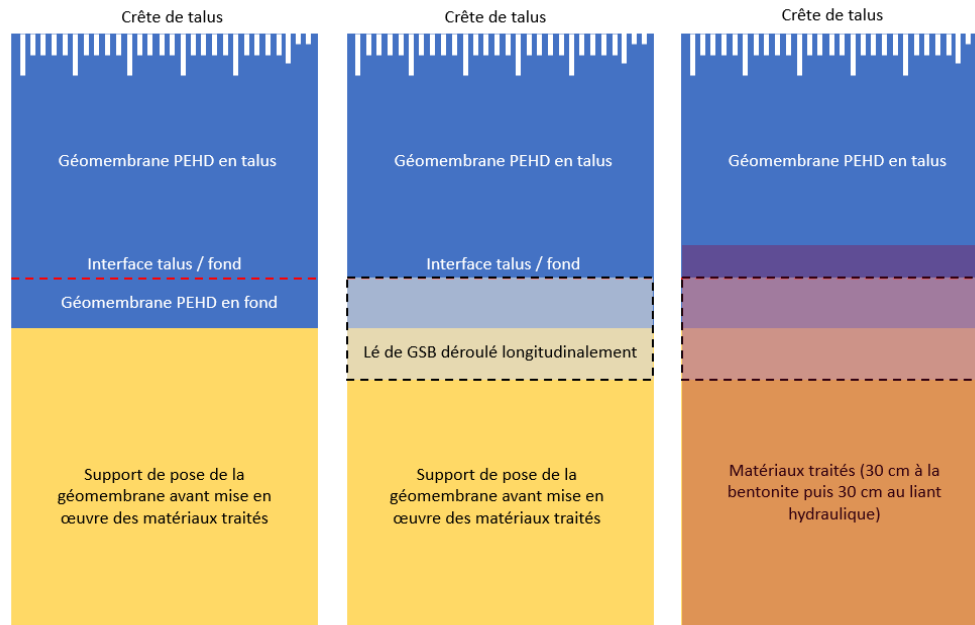


Figure 8. Principe de pose du lé de GSB en pied de talus, sous le fond du bassin en matériaux traités

4.3. Bassins étanches et curables

En 2017, la sucrerie C décide de réhabiliter et de transformer un ancien bassin de lagunage pour créer un bassin de stockage de boues de STEP et un bassin de stockage d'eaux industrielles. La qualité des boues d'une part et la nécessité que l'un de ces bassins puissent stocker les eaux d'incendie, d'autre part, conduisent le maître d'ouvrage à opter pour une étanchéité complète des deux bassins, au moyen d'un DEG. La durée de la période d'épandage étant limitée à environ 1 mois, les boues relativement liquides produites par la STEP de l'usine tout au long de l'année sont susceptibles de décanter et de ne plus être pompables lors de la période d'épandage. La nécessité de pouvoir curer si nécessaire les bassins par des moyens mécanisés (mini-pelle ou mini-chargeur) s'impose donc comme contrainte de conception. Une protection du DEG en fond de bassin est donc nécessaire pour permettre la circulation au fond des bassins.

Le bassin est conçu pour être étanché entièrement au moyen d'une géomembrane en PEHD. Une couche de circulation sus-jacente, en matériaux naturels limono-argileux traités à la chaux et au liants hydrauliques, de 60 cm d'épaisseur au fond du bassin, permet la circulation en fond de bassin. Cette conception implique la nécessaire protection mécanique de la géomembrane qui risque d'être endommagée par la mise en œuvre de cette couche de matériaux.

Les caractéristiques des produits retenus sont présentées dans le tableau 4. Le choix du géotextile de protection supérieur, au-dessus de la géomembrane, spécifié au cahier des charges a été confirmé dès le démarrage des travaux au moyen d'une planche de convenance (Fig. 9) qui a montré l'absence d'endommagement de la géomembrane après compactage de la couche de circulation. Le marché prévoyait aussi que 20% de la surface étanchée du fond de bassin soit équipée d'un géocomposite de drainage des gaz disposé en bandes de 1 m de large au maximum.

Une vue de l'ouvrage achevé est proposée sur la figure 10.



Figure 9. Réalisation d'une planche de convenance pour valider le géotextile de protection situé sur la géomembrane (Photo : YGD Conseil)



Figure 10. Bassin entièrement étanché par géomembrane avec couche de circulation en matériaux naturels traités (Photo : Arcadis)

Tableau 4. Caractéristiques du DEDG retenu pour les bassins de stockage de boues de STEP

Fonction	Drainage sous étanchéité		Protection sous et sur étanchéité			Étanchéité
Produit	Géocomposite de drainage des eaux (produit 1)	Géocomposite de drainage des gaz (produit 2)	Géosynthétique de protection (en talus équipé du produit 1) (produit 3)	Géosynthétique de protection (en talus sur le sol support) (produit 4)	Géosynthétique de protection sur géomembrane (produit 5)	Géomembrane (produit 6)
Matériau	Composite	Composite	PP	PP	PP	PEHD
Masse surfacique	462 g/m ² (NF EN ISO 9864)	520 g/m ² (NF EN ISO 9864)	600 g/m ² (NF EN ISO 9864)	800 g/m ² (NF EN ISO 9864)	1000 g/m ² (NF EN ISO 9864)	1900 g/m ² (EN 1849-2)
Épaisseur	4 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	4,2 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	4,5 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	5,4 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	8,1 mm (2kPa) (NF EN ISO 9863-1)	2,0 mm (EN 1849-2)

Fonction	Drainage sous étanchéité		Protection sous et sur étanchéité			Étanchéité
Résistance en traction (et déformation au seuil d'écoulement)	15/15 SP/ST (NF EN ISO 10319)	10/9 SP/ST (NF EN ISO 10319)	38/40 SP/ST (NF EN ISO 10319)	50/60 SP/ST (NF EN ISO 10319)	65/90 KN/m SP/ST (NF EN ISO 10319)	38/38 kN/m (et 12,5/11,5 %) SP/ST au seuil d'écoulement (EN 12311-2)
Déformation à l'effort de traction maximale	90/90 % SP/ST (NF EN ISO 10319)	40/50 % SP/ST (NF EN ISO 10319)	80/80 % SP/ST (NF EN ISO 10319)	80/80 % SP/ST (NF EN ISO 10319)	95/95 % SP/ST (NF EN ISO 10319)	
Performance dynamique (chute de cône)	5 mm (NF EN ISO 13433)	30 mm (NF EN ISO 13433)	4 mm (NF EN ISO 13433)	1 mm (NF EN ISO 13433)	0 mm (NF EN ISO 13433)	
Poinçonnement			3,5 kN (NF G 38-019)	4,5 kN (NF G 38-019)	5,5 kN (NF G 38-019)	Résistance : 750 N Déplacement : 13 mm (NF P 84-507)
Poinçonnement statique CBR	3 kN (NF EN ISO 12236)	1,4 kN (NF EN ISO 12236)	7 kN (NF EN ISO 12236)	9,5 kN (NF EN ISO 12236)	11,5 kN (NF EN ISO 12236)	
Perméabilité	100 l/s/m ² (NF EN ISO 11058)	90 l/m.s (NF EN ISO 11058)	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée
Capacité de débit dans le plan pour un gradient de 1 (plaque/plaque)	1 l/m.s sous 20 kPa (NF EN ISO 12958)	1 l/m.s sous 20 kPa (NF EN ISO 12958)	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée	Caractéristique non recherchée

5. Retours d'expériences et bonnes pratiques

Ce chapitre propose trois sections. La première rappelle l'importance du programme fonctionnel du bassin et des échanges avec l'exploitant dans le cadre des études de conception. La seconde décrit sommairement la teneur et l'importance des études géotechniques. La dernière propose une sélection de règles de l'art en matière d'application des géosynthétiques et rappelle l'importance du rôle du contrôleur extérieur.

5.1. Programme fonctionnel du bassin et conception

La définition du programme fonctionnel du bassin est déterminante pour définir les investigations complémentaires préalables, pour identifier les études réglementaires éventuellement requises, et enfin pour concevoir l'ouvrage et le réaliser. Ce sont les échanges avec l'exploitant de l'ouvrage, dès le stade des esquisses préliminaires, qui permettront de définir l'importance :

- de l'implantation de l'ouvrage au regard des emprises foncières disponibles et des servitudes existantes, du périmètre de l'installation ICPE, de la présence d'enjeux environnementaux (par exemple proximité d'une Zone Naturelle d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique de type 1 ou d'une zone humide), du voisinage, du contexte géologique et géotechnique, ou encore des contraintes d'accès pour la réalisation et pour l'exploitation ;
- de la forme générale de l'ouvrage par rapport aux avoisinants, notamment si d'autres projets sont prévus à proximité immédiate du projet de bassin, pour lesquels des interfaces particulières sont à prendre en considération (largeur des pistes, positionnement des clôtures périphériques par rapport aux tranchées d'ancrage des géosynthétiques, présence de fossés de gestion des eaux, de réseaux divers, présence d'ouvrages en eau à proximité, etc.) ;
- de sa profondeur, qui conditionne les moyens de reprise des eaux (pompage sur radeau ou pompe installée sur berge), la cinétique de ressuyage, le temps de séjour des effluents dans l'ouvrage, l'établissement éventuel de réactions biologiques (dans le cas d'effluents chargés en matière

organique, par exemple) susceptibles de modifier la qualité souhaitée des effluents ou de générer des odeurs ;

- de sa surface, 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 et la mise en œuvre éventuelle d'éléments de protection contre les effets du battillage ;
- de la localisation du point bas de l'ouvrage et de la rampe d'accès ;
- de son volume utile, 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 ;
- du critère de perméabilité recherché au regard des obligations réglementaires applicables à l'ouvrage (par exemple un arrêté préfectoral) et de son usage futur (stockage ou décantation/infiltration) (chapitre 4) ;
- de la multifonctionnalité du bassin (stockage alternatif de différents types d'effluents) ou de sa potentielle évolutivité (agrandissement par exemple), qui orienteront le concepteur pour la sélection des 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.

5.2 Études et suivi géotechnique

Les bassins réalisés et présentés dans ce document sont des ouvrages en « terre ». Leur conception doit s'appuyer sur des études géotechniques spécifiques qui ont notamment pour objet, et sans que la liste suivante ne soit limitative, de :

- déterminer les principes généraux et les principales sujétions géotechniques des terrassements ;
- évaluer les possibilités de réemploi des matériaux de déblai dans le cadre de la recherche d'un équilibre déblai/remblai ;
- évaluer la stabilité des digues et des talus ;
- déterminer les principes généraux de construction des voiries ;
- évaluer l'aléas « cavités souterraines » pour définir les hypothèses de dimensionnement d'un éventuel produit de renforcement, le cas échéant.

Ces études requièrent la réalisation de tout ou partie des méthodes d'investigations suivantes :

- méthodes d'investigations géophysiques non destructives visant à évaluer le degré d'hétérogénéité du sous-sol et permettant d'orienter les investigations destructives plus ponctuelles (sondages et fouilles) ;
- sondages carottés, sondages destructifs avec enregistrement des paramètres de forage, et sondages pressiométriques, par exemple, visant à reconnaître la succession lithologique au droit du site, à évaluer la compacité du sous-sol et ses caractéristiques mécaniques ;
- réalisation de piézomètres, dans le cas où la nappe phréatique est peu profonde ou si des ouvrages en eau non étanchés sont situés à proximité ;
- fouilles à la pelle mécanique 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 ;
- Essais en laboratoire.

Concrètement et à titre d'exemple, les résultats de ces études permettront 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).

Ils permettent également d'orienter les entreprises dans leur mouvement de terres, en précisant l'aptitude des sols à être terrassés et leur adéquation avec l'installation de géosynthétiques.

On citera l'exemple d'un projet de création d'un nouveau bassin pour lequel deux principales lithologies ont été rencontrées : des limons loessiques et des argiles à silex. Ces dernières ont été préférentiellement orientées vers le cœur des digues périphériques du bassin afin de limiter la présence d'éléments poinçonnants au niveau de la structure support du DEDG tandis que les limons ont été orientés 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.

Ces études permettent également de déterminer l'environnement « physico-chimique » dans lequel seront installés les géosynthétiques. Dans le cas où les matériaux doivent subir un traitement à la chaux,

le concepteur s'orientera vers des matériaux géosynthétiques compatibles avec un milieu calcique et alcalin. Il privilégiera alors un géosynthétique bentonitique calcique à un géosynthétique bentonitique sodique, bien que ce dernier soit plus léger et plus facile à installer et évitera de recourir à des produits de renforcement en PET en raison du phénomène d'hydrolyse du polyester en milieu alcalin.

5.3 Règles de l'art et contrôle extérieur pour l'application des géosynthétiques

Cette section propose une sélection de règles de l'art en matière d'application de géosynthétiques.

5.3.1. Contrôle de la qualité du support

Le premier point critique du contrôle est la qualité du support. Ces ouvrages sont réalisés assez souvent dans des calcaires indurés ou de la craie à silex. Le contrôle de la qualité de finition du support est donc primordial et la validation de la méthodologie de préparation passe par des planches d'essais de manière à affiner les techniques de préparation jusqu'au résultat souhaité. Le support de pose des géosynthétiques doit faire l'objet d'une réception avant toute mise en œuvre. Cette réception permet de vérifier la conformité du support avec le cahier des charges et les règles de l'art et d'identifier les supports non compatibles avec la pose de géosynthétiques (Figure 11) ou la présence résiduelle d'éléments potentiellement poinçonnants (Figure 12).

Concernant ces techniques de finition de support, il faut savoir que les ouvrages réhabilités ont souvent des pentes de talus assez élevées, ce qui limite le passage des engins notamment des compacteurs. Par ailleurs, sur des pentes plus douces, ce passage de compacteur est parfois difficile voire impossible en raison de l'humidité des supports qui provoque le glissement des engins avec les risques d'accident associés.

Les techniques de préparation sont donc variées, du broyage au passage de compacteur en passant par le lissage au godet (Figure 13) et la mise en place ponctuelle de sable ou de matériaux de faible granulométrie.

Dans la majorité des ouvrages, les contrôles de support et les réceptions sont réalisés en plusieurs phases (talus par talus) pour éviter toute dégradation par la pluie avant la pose des géomembranes. À noter que la pose des géotextiles est insuffisante pour protéger les talus en cas de pluie forte et qu'elle constitue même un piège dans la mesure où le support et les éventuels ravinements ne sont plus visibles.



Figure 11. Exemple de supports non réceptionnés car présentant trop de risques d'endommagement du DEDG (Photographies : YGD Conseil)



Figure 12. Exemple d'éléments métalliques parasites retrouvés sur le support (Photographie : YGD Conseil)



Figure 13. Broyage au bull suivi d'un lissage au godet (à gauche), broyage et compactage (à droite) (Photographies : YGD Conseil)

Quelques ouvrages doivent pouvoir être nettoyés en exploitation et nécessitent donc une rampe d'accès (Figure 14) et une surface de circulation au fond pour les camions et les pelles mécaniques. Cette surface ne peut être mise en œuvre sur des géomembranes reposant elles-mêmes sur des supports irréguliers ou poinçonnants.



Figure 14. Coulage d'une dalle béton sur la rampe d'accès interne et surcreusement au point bas du bassin pour permettre la vidange du bassin à partir du futur radeau de pompage

5.3.2. Contrôle des fournitures

La certification ASQUAL des matériaux est demandée dans les cahiers des charges mais des contrôles des approvisionnements sont cependant effectués (1 rouleau pour 10 000 m² environ) pour vérifier :

- les grammages des géotextiles. Il est rappelé que lorsque qu'un grammage est exigé au CCTP, il y a lieu de préciser s'il s'agit du grammage annoncé sur la fiche technique, par exemple 400g/m² avec la tolérance de 10% de la certification ASQUAL ou s'il s'agit du grammage minimal individuel par rouleau (aucun rouleau en-dessous de 400 g/m² n'est accepté). En effet, il arrive que certains rouleaux présentent une masse surfacique inférieure à 400 g/m² ;
- les épaisseurs et masses surfaciques des géomembranes ainsi que leurs caractéristiques mécaniques (traction voire poinçonnement statique).

Les prélèvements sont à effectuer tout au long de l'approvisionnement des chantiers pour tenir compte des différents lots de fabrication. Pour éviter des refus de lots suite à de mauvais résultats et des retards de chantier, il est possible d'anticiper les fabrications et les livraisons pour effectuer prélèvements et essais avant le démarrage des travaux, voire de prélever en usine sur des lots identifiés pour le chantier.

5.3.3. Contrôle des moyens de l'entreprise

Le contrôle et la validation du PAQ (Plan d'Assurance Qualité) sont une étape importante avant démarrage des travaux afin d'éviter des discussions en cours de chantier sur les méthodes, les moyens et les résultats. L'objectif est de respecter le cahier des charges et d'éviter tout retard en phase chantier.

Dans la plupart des cas rencontrés, il n'y a pas de lots séparés (terrassement et étanchéité). Les maîtres d'ouvrage préfèrent souvent avoir un seul interlocuteur travaux qui assure l'entière responsabilité de l'exécution du chantier (technique, coût et planning). Le contrôleur extérieur est toutefois là pour rappeler les règles de l'art et les exigences du cahier des charges ainsi que les obligations de chacun, notamment sur la qualité du support.

Le contrôle des moyens de l'entreprise concerne tous les aspects de réalisation des supports, de l'installation et de l'assemblage des géosynthétiques (certifications ASQUAL comprises) et de contrôle interne. Tous les assemblages soudés des ouvrages concernés ont été réalisés par du personnel certifié ASQUAL et dont les cartes ont permis un contrôle journalier par les personnels des usines en charge du suivi interne.

5.3.4. Contrôle de l'installation du dispositif d'étanchéité

Compte tenu des supports agressifs qui peuvent être rencontrés, une grande vigilance est apportée à l'installation des géotextiles anti-poinçonnants. Il est parfois nécessaire de les doubler dans des zones plus difficiles à préparer, indispensable de vérifier la continuité des lés sur des talus de plusieurs dizaines de mètres de long et de contrôler les ancrages (caractère non agressif et longueur d'ancrage).

Les géomembranes PEHD installées en période estivale par de fortes températures extérieures peuvent être ensuite le siège de tensions importantes quand la température baisse (Figure 15). Il est donc important de veiller aux conditions de pose des géomembranes et de réalisation des soudures de raccordement entre lés des talus et lés du fond pour éviter ce phénomène.

5.3.5. Contrôle des points singuliers (arrivées d'effluents, rampes, etc.)

Ils constituent les zones critiques, de réalisation et de contrôle délicats, concentrant souvent les risques de déchirures de la géomembrane et donc de fuites.

Une attention particulière est à porter au support environnant ces points singuliers (risques de tassement) et aux bordures des massifs en béton (arêtes coupantes par exemple). Dans la mesure du possible, on privilégie les manchettes recouvrant la totalité de la canalisation et le massif béton qui la soutient mais parfois il est nécessaire de passer par des fixations mécaniques dans le béton avec contrôle des accessoires (réglets, chevilles, joint compressible, etc.) et leur installation (positionnement des joints, chanfreinage des extrémités des réglets, etc.).

Dans le cas des rampes d'accès, les mêmes contrôles qu'en partie courante s'appliquent, qu'il s'agisse de géomembranes bitumineuses ou de géomembranes PEHD texturées.

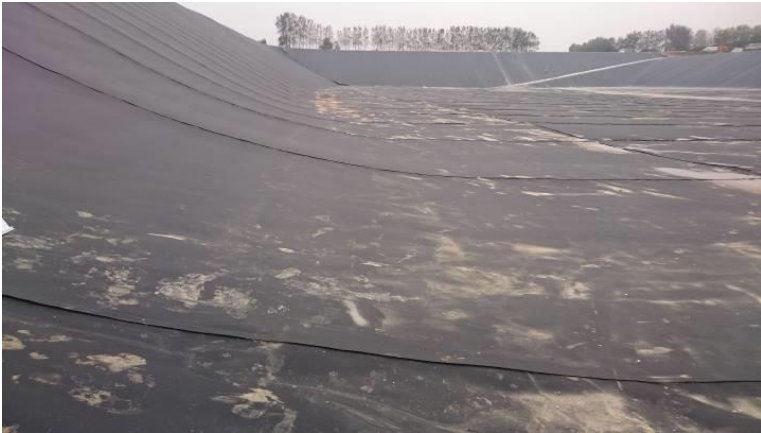


Figure 15. Géomembrane tendue en pied de talus et dans un angle (Photographies : YGD Conseil)

5.3.6. Contrôle des soudures

Un contrôle de 100% de l'étanchéité des soudures est effectué, quels que soient les matériaux installés. La figure 16 illustre une opération de vérification de la qualité des doubles soudures d'une géomembrane en PEHD par mise en pression du canal central. Ces contrôles sont réalisés dans un premier temps par l'entreprise et son contrôle externe puis dans le cadre du contrôle extérieur.

Dans ce dernier cas, le matériel de contrôle utilisé appartient au bureau de contrôle. La fréquence usuelle de vérification de la résistance mécanique des soudures est basée sur 1 prélèvement tous les 5000 m² de produit posé.



Figure 16. Opération de contrôle de soudure sur géomembrane en PEHD par mise en pression du canal central (Photographie : YGD Conseil)

5.3.7. Détection de fuites

Ces méthodes ont été peu utilisées en raison du niveau de contrôle élevé pendant toute la période de travaux (interne, externe et extérieur). Ces procédés inspirés de méthodes géophysiques permettent de localiser des passages de courants électriques et donc, en principe, des fuites. Trois méthodes différentes ont été utilisées sur 3 des 15 bassins suivis.

- La première méthode (dipôle) a été demandée en raison d'une mise en évidence d'eau sous la géomembrane lors du début du remplissage. La craie du support mélangée à l'eau rendant celle-ci totalement opaque et la localisation du défaut impossible, il a été décidé dans l'urgence (début

de campagne imminente) de faire un test électrique qui a permis la découverte d'un croisement soudure non terminé vers le point le plus bas de l'ouvrage.

- Une seconde utilisation par la méthode de l'arc électrique à haute tension a été conduite dans le cadre du contrôle externe de l'entreprise d'étanchéité, permettant la détection de trois perforations millimétriques de la géomembrane PEHD (Figure 17).



Figure 18. Perforation millimétrique détectée par méthode de l'arc électrique (Photographie : YGD Conseil)

- Une troisième intervention de ce type (méthode du jet d'eau), également effectuée dans le cadre du contrôle externe, a été faite sur un ouvrage en PEHD de 30 000 m² environ sans découverte de défaut. Cette méthode est contraignante car le signal électrique ne se produit que si la pression exercée par l'opérateur est suffisamment forte, ce qui semblait être incompatible avec le respect du planning de l'opérateur.

6. Conclusions

La France est le premier producteur européen de sucre de betterave. L'industrie sucrière s'est engagée à réduire sa consommation en eau. Dans ce contexte, un acteur majeur de la production sucrière française a engagé un plan de réduction de ses consommations en eau qui repose en particulier sur un programme de rénovation de ses capacités de stockage d'eaux industrielles. La rénovation, ou la construction, de bassins de stockage complètement étanches ou à perméabilité contrôlée, repose sur l'utilisation de différents produits géosynthétiques. Ces produits ne peuvent pas être choisis uniquement sur la base de leur prix ou de références sur des ouvrages similaires. En effet, la sélection et le dimensionnement de fonctions et catégories de produits géosynthétiques, à la charge du concepteur de l'ouvrage, obéissent à certaines règles de dimensionnement et nécessitent en particulier de prendre en compte le programme fonctionnel de l'ouvrage défini en concertation avec le futur exploitant, l'environnement du site et le contexte géologique et géotechnique du projet. Cette phase de conception repose sur les résultats d'investigations de terrain préalables, ou en cours d'étude, dont la durée et le coût doivent être intégrés au programme de travaux du maître d'ouvrage.

Ainsi, il ne peut être défini un cahier des charges technique type pour un bassin de stockage d'effluents de sucrerie même si des bonnes pratiques et doctrines propres à chaque maître d'ouvrage peuvent constituer un socle technique à intégrer au projet. A titre d'exemple, le maître d'ouvrage des bassins présentés ici a banni toute traversée d'étanchéité de ses projets de rénovation ou construction.

Le rôle du maître d'œuvre, ou de l'assistant technique, est d'accompagner l'exploitant dans ses différents projets de rénovation et création de bassins afin que chaque réalisation s'intègre bien aux contraintes et projets d'exploitation.

Par ailleurs, de nombreuses règles en matière d'applications de géosynthétiques ont été établies sur la base des retours d'expérience de la profession et de l'évolution des produits et techniques de pose et de contrôle. Celles-ci sont promues par le Comité Français des Géosynthétiques (CFG). En phase de réalisation, le contrôle extérieur à l'entreprise de travaux permet de vérifier la conformité des travaux aux documents de marché et aux règles de l'art de la profession. Le contrôleur extérieur indépendant assure ces missions pour le compte du maître d'ouvrage afin que les ouvrages livrés bénéficient d'une qualité et d'une performance optimale.

Il est rappelé, enfin, que le fascicule n°10 édité par le Comité Français des Géosynthétiques, dont la nouvelle version a été publiée en juillet 2017, fournit des informations générales sur les DEG, et plus particulièrement sur les géomembranes. Ce fascicule a pour objectif de donner aux acteurs de la profession des éléments d'aide à la conception, à la réalisation, au contrôle, à la réception, ainsi qu'au suivi des ouvrages concernés.

7. Références bibliographiques

CEDUS (2019a) <http://www.lesucre.com/mediatheque/chiffres-cles>

CEDUS (2019b) <http://www.lesucre.com/mediatheque/la-betterave-a-sucre-en-france-une-production-agricole-durable>

CEFS (2018) <https://cefs.org/resources/statistics/>

Guinard P., (2017) Présentation du nouveau fascicule 10 du Comité Français des Géosynthétiques. 11^{èmes} Rencontres Géosynthétiques – 7-9 mars 2017, Lille

SNFS (2019) https://www.snfs.fr/site/index.php?option=com_content&view=article&id=30&Itemid=127

