

ÉTUDE DE STABILISATION PAR GÉOGRILLE D'UNE DIGUE DE DÉFENSE CONTRE LA SUBMERSION MARINE – LA COUARDE SUR MER (17)

STUDY OF THE STABILITY OF A SEA DYKE IN LA COUARDE SUR MER USING GEOGRID

Cédric SARBACH¹, Erwann BINIASZ², Tom AGENAU³, Patrick SINDIN¹, Anthony LERAY², Mickael HAY³

1 AFITEXINOV, Champol, France

2 CHARIER GC, Couëron, France

3 CHARIER TDD Atlantique Vendée, Champagné les Marais, France

RÉSUMÉ – À la suite de la tempête Xynthia de 2010, qui a frappé plusieurs pays européens et a induit une montée des eaux exceptionnelle de près d'un mètre cinquante sur le littoral, une série de diagnostics des digues existantes ainsi que des villes et villages côtiers les plus touchés a été lancée dans les départements concernés. La digue de La-Couarde-Sur-Mer (17) ayant été fortement impactée, un diagnostic des désordres fut réalisé en 2015 et un projet de réhausse/confortement lancé quelques années plus tard. La stabilité des talus côté continent ayant été assurée à l'origine du marché par l'implantation de pieux en bois, les conditions de mise en œuvre ont nécessité une réévaluation de la solution et l'implantation de géogrilles de renforcement.

Mots clés : Digue, Géogrille, Stabilité, Renforcement, Diagnostic

ABSTRACT – Following storm Xynthia in 2010, which hit several European countries and caused an exceptional rise in water levels of nearly one and a half meter on the coast, a series of diagnoses of the existing dykes as well as of the most affected coastal towns and villages was launched in the relevant departments. The La-Couarde-Sur-Mer dyke (17) having been strongly impacted, a diagnosis of the disorders was conducted in 2015 and an extension / reinforcement project launched a few years later. Since the stability of the slopes on the mainland side was initially ensured by the installation of wooden piles, the conditions of implementation required a reassessment of the solution and the installation of reinforcement geogrids.

Keywords: Dike, Geogrid, Stability, Reinforcement, Diagnostic

1.Introduction

Démarré fin septembre 2019, le chantier de réaménagement du dispositif de défense contre la mer de La Couarde-sur-Mer a pour but de répondre à un besoin local, suites aux dégâts causés par la tempête Xynthia sur le littoral de la Charente Maritime en février 2010.

Ce projet est réalisé par le Conseil Départemental 17 qui en assure la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre. Il s'appuie sur une étude technique réalisée par le cabinet Egis en 2016 et relevant les différents désordres apparus sur la digue existante.

Les contraintes locales sont multiples :

- harmonie architecturale de l'île de Ré, la citadelle de St Martin étant inscrite au patrimoine mondial de l'Unesco ;
- fragilité des écosystèmes avec un chantier situé intégralement dans le parc Naturel Marin de l'estuaire de la Gironde de la Mer et des Pertuis ainsi qu'en zone Natura 2000 et à proximité immédiate de Réserves Naturelles Nationales ;
- très forts enjeux économiques avec la présence de nombreuses entreprises ostréicoles immédiatement derrière la digue ;
- enfin le tourisme représente un des moteurs économiques de l'île. La présence d'une piste cyclable existante en crête de digue va fortement impacter la réalisation des travaux.

L'entreprise a su s'adapter et apporter les solutions techniques et méthodologiques innovantes afin de mener à bien ce chantier durant plus de deux ans.

L'objectif de ce projet est de recréer 4,4 km de digue, entre St Martin de Ré et Loix, permettant d'assurer la protection des habitants et exploitants de la commune de la Couarde sur mer. Afin de s'implanter au mieux dans cet environnement, des mesures de respect de l'environnement furent mises

en place : arrêt des travaux lors des périodes de nidification, mise en œuvre de matériaux locaux, utilisation de matériel hybride, etc.

Pour mener à bien ce chantier, les entreprises Charier TDD Atlantique Vendée et Lépine TP furent mandatées. En qualité de co-traitants, elles ont réalisé durant plus de 2 ans les travaux de rehausse de la digue, d'enrochements, palplanches, réalisation de pistes cyclables, remise à neuf d'ouvrages hydrauliques, etc...

Le détail des différents tronçons traités est présenté sur la figure 1 :

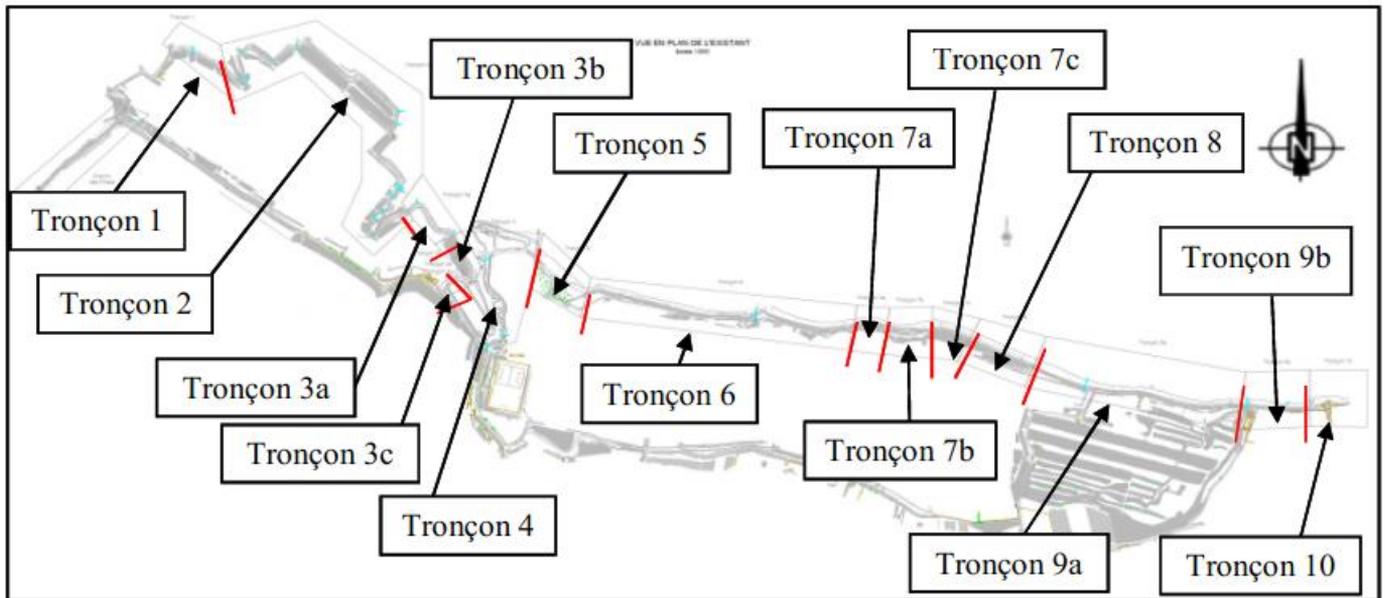


Figure 1. Extrait G2 Pro - Détail des tronçons de la digue

2. Diagnostic des désordres et réflexion sur la solution à apporter

2.1. Mission G3

Suite à la mission G2PRO (Groupe GEOTEC, 2015 & 2016) réalisée dans le cadre du marché, l'entreprise a pris en compte les entrants avec les mises à jour pouvant concerner :

- les données géotechniques ;
- les profils types de chaque section des travaux à réaliser ;
- les relevés topographiques de la digue existante et du terrain naturel environnant.

Dans le cadre de la mission G3 réalisée par l'entreprise en charge des travaux, la stabilité rotationnelle au glissement pour chaque tronçon de la digue a été vérifiée selon l'approche 3 de l'eurocode 7 :

- tronçons 6, 7 et 8 ;
- tronçons 1, 2, 3a, 3b et 3c.

Le calcul de stabilité est réalisé en rupture circulaire suivant la méthode des tranches de Bishop, en approche de calcul 3 selon l'Eurocode 7 : A2 « + » M2 « + » R3

Nous devons vérifier pour toutes les surfaces de glissement potentielles :

$$T_{dst;d} \leq \frac{R_{st;d}}{\gamma_{R;d}} \quad (1)$$

où :

- $T_{dst;d}$ est la valeur de calcul de l'effet déstabilisant des actions qui agissent sur le massif limité par la surface de glissement étudiée ;
- $R_{st;d}$ est la valeur de calcul de la résistance stabilisatrice ultime mobilisée le long de la surface de glissement correspondante ;
- $\gamma_{R;d}$ est un facteur partiel de modèle dit de mobilisation de la résistance au cisaillement du sol.

Le facteur partiel de modèle $\gamma_{R,d} = 1,1$ est retenu pour les ouvrages peu sensibles aux déformations (NF P 94-270, 2020).

Les situations de calcul étudiées sont citées ci-dessous :

- situation 1 : Xynthia+ à 4,60 m NGF ; Stabilité (long terme) après remblaiement de la digue, en matériaux d'apport, jusqu'à la cote +4,80 m NGF, avec une pente de 2H/1V côté mer, un niveau d'eau Xynthia à +4,60 m NGF. ;
- situation 2 : Marée basse ; Stabilité (long terme) après remblaiement de la digue, en matériaux d'apport, jusqu'à la cote +4,80 m NGF, avec une pente de 2H/1V côté mer, marée basse et une charge d'exploitation en crête de digue de 1 t/m² ;
- situation 3 : suite à un événement Xynthia+ (cote maximale de + 2,50 m NGF en arrière) et marée basse ; après remblaiement de la digue, en matériaux d'apport, jusqu'à la cote +4,80 m NGF, avec une pente 2H/1V et marée basse du côté mer et avec une nappe extérieure à +2,50 m NGF du côté terre.

Le facteur de sécurité recherché est $F_{\min} \geq 1$.

L'étude de la stabilité au grand glissement a été effectuée en faisant varier la position des cercles de glissement dans la zone d'influence.

Pour les tronçons 6, 7 et 8, le remblai arrière est réalisé sans disposition constructive particulière.

En cours d'exécution, au niveau du remblai arrière pour certains tronçons, le niveau du pied de talus a été détecté inférieur à celui indiqué dans la mission G2PRO. Des relevés topographiques complémentaires ont permis de constater ce niveau hors emprise de chantier au niveau des claires des ostréiculteurs, modifiant ainsi les paramètres de stabilité pris en compte lors des études géotechniques.

Ces variations se positionnant dans la zone d'influence géotechnique, la vérification de la stabilité au grand glissement a été mise à jour avec les données actualisées. Le facteur de sécurité résultant est inférieur à celui recherché ($F < F_{\min}$), impliquant ainsi un besoin de confortement des ouvrages. Dans le cadre du marché, un clouage des sols est prévu sur les tronçons 1 à 3, ces dispositions constructives étant mises en place en pied de digue côté océan et côté terre en fonction du dimensionnement géotechnique réalisé. Le clouage est effectué avec la mise en place de pieux en bois de chataigner de diamètre 200 mm et de classe D30, avec une longueur variable entre 3 m et 5 m.

Le nombre de ligne de pieux, espacement et longueur sont déterminés en fonction de la vérification de la stabilité au grand glissement.

Suite à la concertation entre l'équipe travaux, le bureau d'études techniques et la maîtrise d'œuvre, une adaptation au problème d'instabilité a été proposée et validée avec un confortement par mise en place de lignes de pieux pour les remblais arrières au niveau des zones d'application concernées par la problématique d'altimétrie plus basse du pied au niveau des claires des ostréiculteurs. Certaines lignes de pieux sont positionnées au niveau de la digue existante constituées de remblais argileux hétérogènes (figure 2).

On constate que l'étude de confortement des tronçons coupe par coupe permet de dimensionner une solution de stabilisation adaptée au problème d'altimétrie rencontré en cours d'exécution. Néanmoins, cette solution théorique a rencontré des difficultés de mise en œuvre lors du passage en phase travaux.

2.2. Difficultés rencontrées lors de la mise en œuvre

Au cours de la mise en œuvre, l'hétérogénéité des matériaux constituant la digue a posé des difficultés liées à la présence de blocs calcaires plus ou moins importants empêchant le battage des pieux, qui ont rencontré des refus et donc une impossibilité de poursuivre dans cette solution.

Pour certains tronçons, l'impossibilité de clouage par pieux bois a été constatée sur l'ensemble des lignes de pieux ou partiellement, avec un refus obtenu bien en-dessous de ce qui était prévu lors de l'étude du confortement. Après l'identification de ces zones, un renforcement par géogrille a été envisagé en privilégiant une solution avec la mise en œuvre de celle-ci au niveau supérieur de la digue existante.

La coupe type de la digue renforcée par géogrille est présentée sur la figure 3.

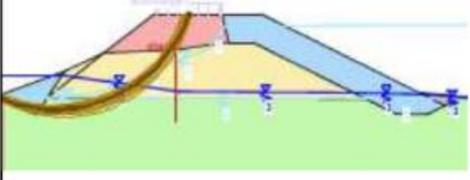
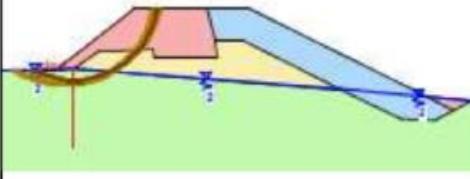
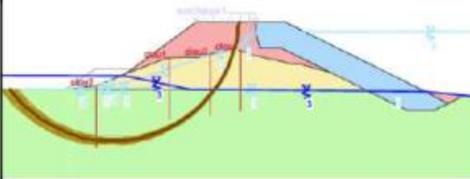
7a	P3 (P2-P4)	P0 – P5 (50m)	<p>- niveau supérieur digue existante : 1 ligne de pieux (espacement 1.00m) à 1.00m depuis la ligne de crête côté terre de la digue rehaussée.</p> 	Remblaiement en pied de digue existante avec matériaux charpentés type 0/300
7c	P3 (hors P2-P4)	P5 – P7 (60m)	<p>- niveau pied de digue existante : 1 ligne de pieux (espacement 2.00m)</p> 	-
8	P5	P5 – P9 (80m)	<p>- niveau pied de de digue existante : 1 ligne de pieux (espacement 0.50m) ;</p> <p>- niveau supérieur digue existante : 3 lignes de pieux (espacement 0.50m), à -1.30m, +0.70m et +2.20m depuis la ligne de crête côté terre de la digue rehaussée.</p> 	-

Figure 2. Extrait de la note de calcul 1201 indice C

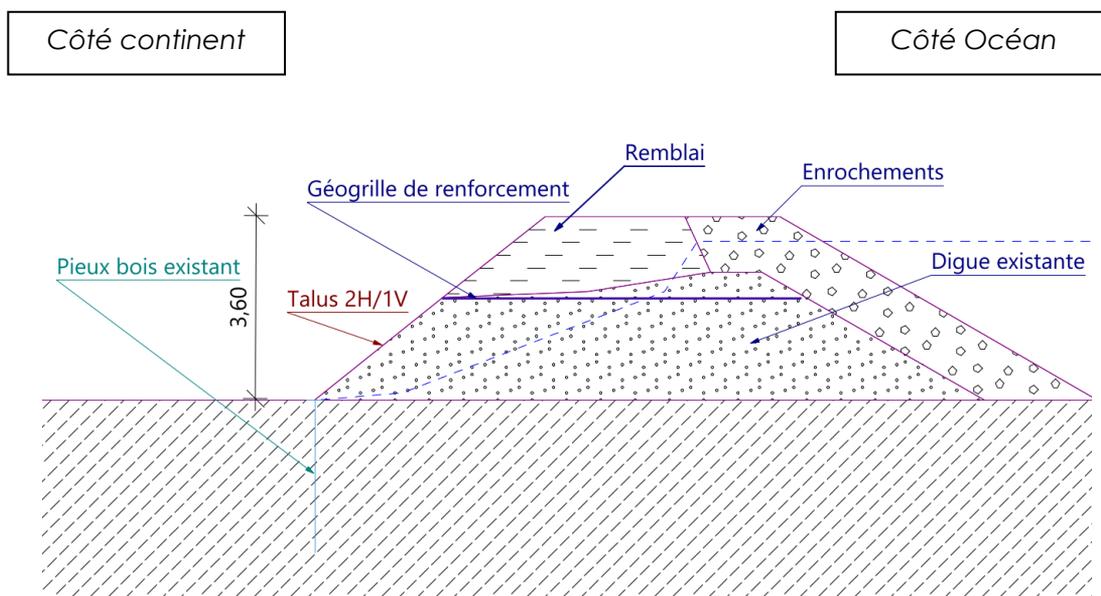


Figure 3. Coupe type de la digue renforcée par géogridde

Un dimensionnement a été proposé avec le maintien d'une ligne de pieux en pied de remblai arrière ou de digue existante et les indications sur la classe de résistance de la géogrille à retenir. Les caractéristiques de la géogrille ont été mises à jour après étude du fournisseur sur la prise en compte des coefficients de durabilité, afin de respecter la durée de service de l'ouvrage prévue.

La géogrille a été également préconisée au niveau du tronçon 3c, sans ligne de pieux additionnelle. La figure 4 montre un extrait de la première note de calcul concernant ce tronçon particulier.

Tronçon	Profil de référence	Zone d'application	Dispositions constructives (pieux, géogrille)
3c		Tronçon 3c	- niveau digue existante : géogrille 25kN (hors coefficients de réduction) longueur 7.00m

Figure 4. Extrait de la note de calcul 1203 indice 0

On constate qu'un prédimensionnement a permis d'estimer la résistance et la longueur de la géogrille à mettre en œuvre, avant envoi des conclusions pour l'étude de la qualité des fournitures selon la classe de durée de service de l'ouvrage.

3. Dimensionnement géotechnique

3.1 Principe de la solution proposée

Les travaux de confortement de la digue de La-Couarde-Sur-Mer ayant fait l'objet d'une mission géotechnique de type G2 PRO réalisée par un bureau d'étude spécialisé, les caractéristiques géotechniques des sols en présence avaient été déterminées très en amont des travaux. Le remblai utilisé pour la réhausse provenait d'un site d'extraction de sol fin utilisé couramment pour les remblais de digue dans le secteur.

La géogrille est supposée directement posée sur la digue existante ayant fait au préalable l'objet des travaux de terrassement nécessaires à l'accueil du géosynthétique, soit le réglage fin de la plateforme à la cote NGF définie, de façon à obtenir une surface lisse, exempte d'aspérités et/ou de trous, à l'aide d'un bull équipé d'un système de guidage GPS. La géogrille s'arrête, en termes de longueur, à la couche d'enrochement côté océan disposée en tant que carapace pour limiter l'érosion due au batillage. Il est à noter un dispositif existant de pieux bois de hauteur 3 m et d'espacement 50 cm en pied de talus côté continent, à prendre en compte dans le dimensionnement géotechnique de la solution géosynthétique (car représentatif de la stabilité globale du projet).

3.2. Principe du dimensionnement

L'étude de stabilité du talus de la digue a été menée en accord avec les préconisations de la norme NF G 38-064 (2016), norme de référence englobant la stabilité des talus renforcés par géosynthétiques d'inclinaison inférieure ou égale à 1H/4V au sens de la norme NF EN 14475. La cause d'instabilité principale de ce talus étant la compressibilité différentielle des sols sous-jacents, des zones de rupture de type « circulaire » peuvent apparaître en crête de remblai du fait de la reprise des efforts de traction en base du remblai d'apport (de nature fine/argileuse, et donc peu adaptée à cette sollicitation).

Le calcul de ces surfaces de glissement potentielles est donc réalisé par l'étude des cercles de glissement selon la méthode des tranches de Bishop historiquement utilisée pour évaluer la stabilité de talus avec des logiciels de dimensionnement géotechnique spécialisés. Le facteur de sécurité sur la

stabilité du talus étant déterminé par le rapport entre les sollicitations déstabilisatrices et les résistances stabilisatrices, celui-ci doit valider une valeur supérieure ou égale à 1,0 pour valider la stabilité à long terme. L'approche de calcul géotechnique s'est réalisée selon l'approche numéro 3 des Eurocodes 7 et 8, autorisée par la norme NF G 38-064 (2016) avec les coefficients de pondération des surcharges et caractéristiques géotechniques associées.

La figure 5 présente un exemple de faisceaux de cercles de glissements étudiés sur un des tronçons avec les facteurs de sécurité associés, ainsi que le cercle de glissement critique retenu :

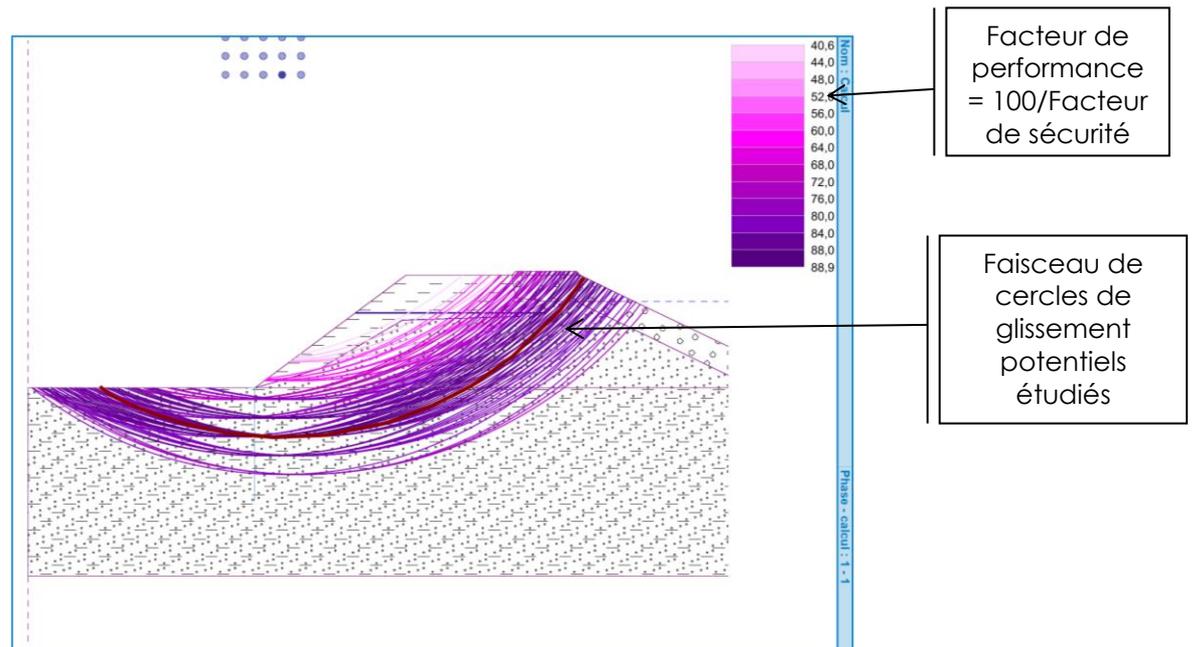


Figure 5. Faisceaux de cercles de glissements potentiels étudiés et cercle critique

3.3. Durabilité du géosynthétique et interaction

Après la détermination de la longueur de nappe et de la résistance du géosynthétique minimale à vérifier à long terme pour assurer la stabilité de l'ouvrage, une étude sur la structure du géosynthétique et sur sa durabilité a été menée. Au vu de la finesse de la granulométrie du remblai d'apport, une géogrille à fines mailles a été privilégiée pour une interaction sol/géosynthétique optimale. Cette interaction a été validée en laboratoire spécialisé, par la réalisation de boîtes de cisaillement selon la norme NF EN ISO 12957-1 (2018), entre le remblai d'apport et la géogrille proposée. Le coefficient d'interaction sol/géosynthétique (utilisé dans le dimensionnement géotechnique pour déterminer la mobilisation des efforts) est déterminé suivant la formule (2).

$$C_{i\phi} \text{ par cisaillement} = \frac{\tan \varphi_{\text{sol / géosynthétique}}}{\tan \varphi'_{\text{sol}}} \quad (2)$$

Les résultats de ces tests (qui ont été réalisés à des contraintes de cisaillement inférieures à celles réalisées sur le remblai seul, pour se placer du côté de la sécurité) ont donné des angles de frottement sol/géosynthétique supérieurs aux angles de frottement internes au remblai d'apport. Cela entraîne, d'un point de vue opérationnel, un coefficient d'interaction limité en borne supérieure à 1, mais surtout démontre la bonne adéquation de la géogrille avec le remblai. D'un point de vue global, cela démontre que le remblai fin du site frotte mieux sur la géogrille que sur lui-même sous des contraintes de cisaillement plus défavorables.

Les graphiques (Figure 6) sont repris des rapports de tests réalisés dans des laboratoires indépendants spécialisés dans ce type d'essai normés (NF EN ISO 12957-1, 2018) :

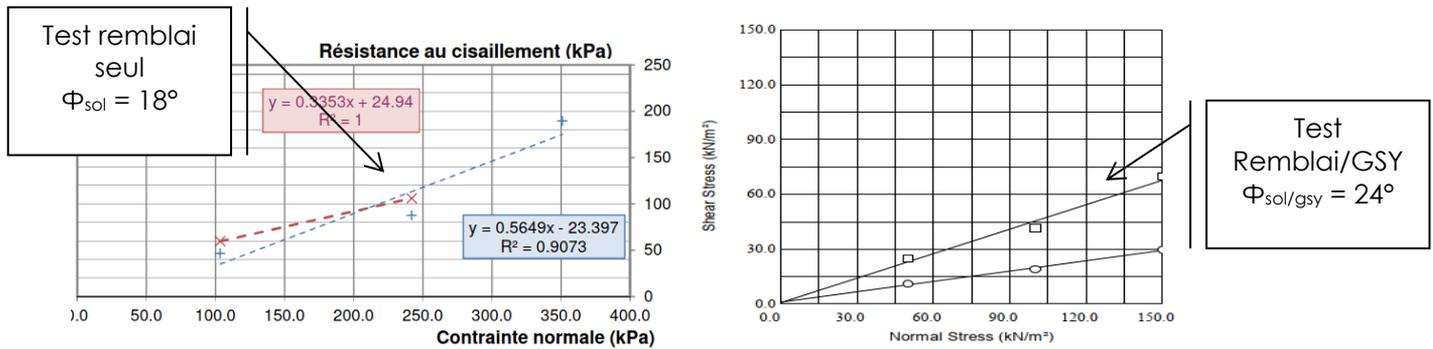


Figure 6. Comparaison des graphiques de cisaillement (remblai seul, remblai équipé de géogridde)

Ces tests ont permis d'affiner les dimensionnements pour se rapprocher au maximum des conditions réelles sur site et des matériaux mis en œuvre. La détermination de la gamme de géosynthétiques (« structure finie de la géogridde » étant réalisée grâce à ces tests d'interaction, la dernière étape était de déterminer la résistance de sortie d'usine. Pour cela, et en utilisant la résistance de calcul déterminée par le dimensionnement géotechnique dont le principe est présenté en 3.1.2, il suffit de pondérer cette résistance par les facteurs de sécurité partiels détaillés par les Eurocodes 7 et 8 et la norme NF G 38-064 (2016). Comme pour toute armature de renforcement, le géosynthétique est sensible au fluage des câbles de renforcement, à la dégradation chimique (et notamment à l'hydrolyse du polyester) et à la dégradation à la mise en œuvre. Ces facteurs de pondération sont indiqués par défaut dans la norme en cas d'absence d'information, ou à prendre en fonction de la base de données du fournisseur si des tests ont été réalisés en accord avec les recommandations des normes en vigueur (et notamment du guide ISO/TR 20432 (2007)).

La durée de service de l'ouvrage ayant été déterminée à 100 ans, les facteurs de réduction associés à la pondération de la résistance de calcul ont donc été appliqués en accord avec cette durée de service selon l'équation (3).

$$T_{\text{« sortie d'usine »}} = T_{\text{« nécessaire »}} \times F_{\text{fluage, 100 ans}} \times F_{\text{dégradation chimique, 100 ans}} \times F_{\text{installation, sol fin}} \times 1,25_{\text{coefficient de pondération de méthode}} \quad (3)$$

Une géogridde à fine maille (1,4mm x 1,4mm) de résistance de 100 kN/m selon la norme NF EN ISO 10319 (2015), en polyester a été retenue et déployée sur site, selon la méthode de mise en œuvre détaillée dans la partie 4.

Le contrôle qualité de la géogridde est réalisé par le fournisseur, en accord avec les recommandations des certifications NF EN ISO 9001 (2015) en vigueur encadrant la vente de géosynthétiques en France. De plus, la géogridde proposée fait l'objet d'une certification ASQUAL démontrant le sérieux et la fiabilité des contrôles qualités réalisés sur le produit fini, ce qui était une assurance complémentaire ayant permis la validation de la solution.

4. Mise en œuvre du géosynthétique sur site

4.1. Préparation du sol support

Le sol support a préalablement fait l'objet d'un réglage fin de la plateforme à la cote NGF définie, de façon à obtenir une surface lisse, exempte d'aspérités et/ou de trous, à l'aide d'un bull équipé d'un système de guidage GPS et d'une pelle hydraulique de 25 tonnes.

Le remblai d'apport a été préparé pour éliminer tout corps étranger de type blocs ou déchets pouvant endommager plus que de raison le géosynthétique à la mise en œuvre. Les déblais ainsi créés ont été évacués par tombereaux sur une zone de stockage externe. La figure 7 montre un détail des opérations de réglage et d'évacuation des déblais, ainsi que le sol support finalisé :



Figure 7. Préparation du sol support et évacuation des déblais

Le stockage des rouleaux de géogridde s'est réalisé sur une plateforme annexe, bien conservés dans leur emballage pour éviter toute dégradation liée aux UV. La manutention a été réalisée précautionneusement à l'aide d'engins adaptés, avec une attention toute particulière à la conservation de l'intégrité de la géogridde. Le conditionnement des géogrilles se fait sous la forme de rouleaux de 5,30 m de largeur pour 100 m de longueur, soit un minimum de 530 m² de surface par rouleaux.

Le stockage des rouleaux de ce type de géosynthétique dans des conditions optimales est indispensable pour la conservation des résistances de la géogridde, et donc pour la pérennité de l'ouvrage devant être équipé.

La manutention des rouleaux doit se réaliser à l'aide d'équipements adaptés, typiquement à l'aide d'engins de levage et de sangles permettant la conservation de l'intégrité de la géogridde lors de son transport sur le site de pose.

4.2. Déploiement, découpe et installation

La géogridde a tout d'abord été déroulée avec précaution dans le sens de la longueur dans le but d'avoir la quantité de géosynthétique nécessaire pour la découpe de plusieurs lès. Un minimum de deux opérateurs a toujours été respecté pour la manutention de la géogridde et son installation sur site. La figure 8 montre le détail du déroulage de la géogridde.



Figures 8. Déploiement de la géogridde

La géogridde a ensuite été découpée aux longueurs spécifiées par la note de calcul transmise et validée par le bureau de contrôle. Le sens de pose s'est réalisé dans le sens de la résistance principale de la géogridde, en accord avec le dimensionnement réalisé. Les recouvrements côte-à-côte, déterminés à 30 cm minimum par le fournisseur, ont été respectés et réalisés dans le sens du recouvrement du remblai

pour éviter tout retournement à la « poussée » du matériau. Une pré-tension manuelle de la géogrille a été effectuée pour éviter tout pli et assurer une mise en tension immédiate sous les efforts. Cette pré-tension manuelle a été également soutenue par l'agrafage de la grille au support avec des ancres de type fer à béton en forme de U, selon les recommandations du fournisseur. Les recouvrements bout-à-bout ont été proscrits, pour garder une tension uniforme sur toute la longueur du lès (Figure 9).



Figure 9. Découpe, pose des lès, recouvrements et agrafage

Une inspection visuelle de la qualité de la pose, du respect des recouvrements et de l'intégrité de la géogrille a été réalisée avant tout remblaiement sur le géosynthétique. Si la fin du rouleau ne permettait pas l'obtention d'un lès de la longueur nécessaire, elle était alors traitée en tant que rebus et évacuée avec le reste des déchets du chantier en accord avec le plan de gestion des déchets du projet. À la suite de cette inspection, la géogrille a été recouverte par le remblai dans les règles de l'art du terrassement édictées par les guides SETRA en vigueur.

La Figure 10, pour finir, montre quelques images de la digue finalisée.



Figure 10. Digue finalisée (2022)

5. Conclusion

Comme nous venons de le voir, la solution mise en œuvre n'était pas celle prévue à l'origine lors du lancement du marché. La solution technique initialement retenue apportait les meilleures garanties de réalisation, avec une expérience conséquente de l'entreprise dans la mise en œuvre de pieux de stabilisation. Cependant, au cours de la réalisation des travaux, l'hétérogénéité des matériaux présents

dans la digue, ainsi que les incertitudes liées à la structure existante ont amené à retravailler les notes de calcul et les solutions proposées. Cet ajustement met en évidence les contraintes rencontrées à la fois en phase étude/conception, mais également en phase de réalisation et le besoin de souplesse et de réactivité dans les chantiers d'aujourd'hui. Au final, la solution géogrille mise en place a su répondre aux aléas de chantier rencontrés, tout en assurant la stabilité de l'ouvrage de manière durable dans le respect des normes en vigueur.

Le choix d'une nouvelle technique entraîne des modifications des coûts du chantier. La différence des coûts entre la méthode prévue au marché et la solution géosynthétique alternative va essentiellement dépendre des contraintes de chantier (facilité de mise en œuvre des terrassements, éloignement des zones de stockage des matériaux, mise à disposition de personnels...). Il faut surtout retenir la facilité de mise en œuvre de la solution géosynthétique et cela quelle que soit la nature des sous-sols rencontrés.

6. Références bibliographiques

- NF P 94-270 (2020), Calcul géotechnique - Ouvrages de soutènement - Remblais renforcés et massifs en sol cloué, *Afnor*, 191 pages.
- Groupe GEOTEC (2016), Fascicule 3 – rapport : étude géotechnique de conception phase projet (G2PRO), secteur 1 à 5 – *Fosse de Loix (17)*
- Groupe GEOTEC (2015), Fascicule 4 – rapport : étude géotechnique de conception phase projet (G2PRO), secteur 6 à 10 – *Fosse de Loix (17)*
- NF G 38-064 (2016), Utilisation des géotextiles et produits apparentés - Murs inclinés et talus raidis en sols renforcés par nappes géosynthétiques - Justification du dimensionnement et éléments de conception, *Afnor*, 82 pages
- NF EN ISO 12957-1 (2018), Géosynthétiques - Détermination des caractéristiques de frottement - Partie 1 : essai de cisaillement direct, *Afnor*, 12 pages.
- ISO/TR 20432 Guidelines (2007), Lignes directrices pour la détermination de la résistance à long terme des géosynthétiques pour le renforcement du sol, *Afnor*, 36 pages.
- NF EN ISO 10319 (2015), Géosynthétiques - Essai de traction des bandes larges, *Afnor*, 24 pages.
- NF EN ISO 9001 (2015), Systèmes de management de la qualité – Exigences, *Afnor*, 47 pages.