



***Journée technique CFMS-CFG  
« Les Géosynthétiques et leurs applications »***

***Retours d'expérience d'utilisation  
des géosynthétiques en ISD***

Jean-Frédéric OUVRY (Antea Group)

Baptiste PAGE – Marie FORESTIER-COSTE (Antea Group)

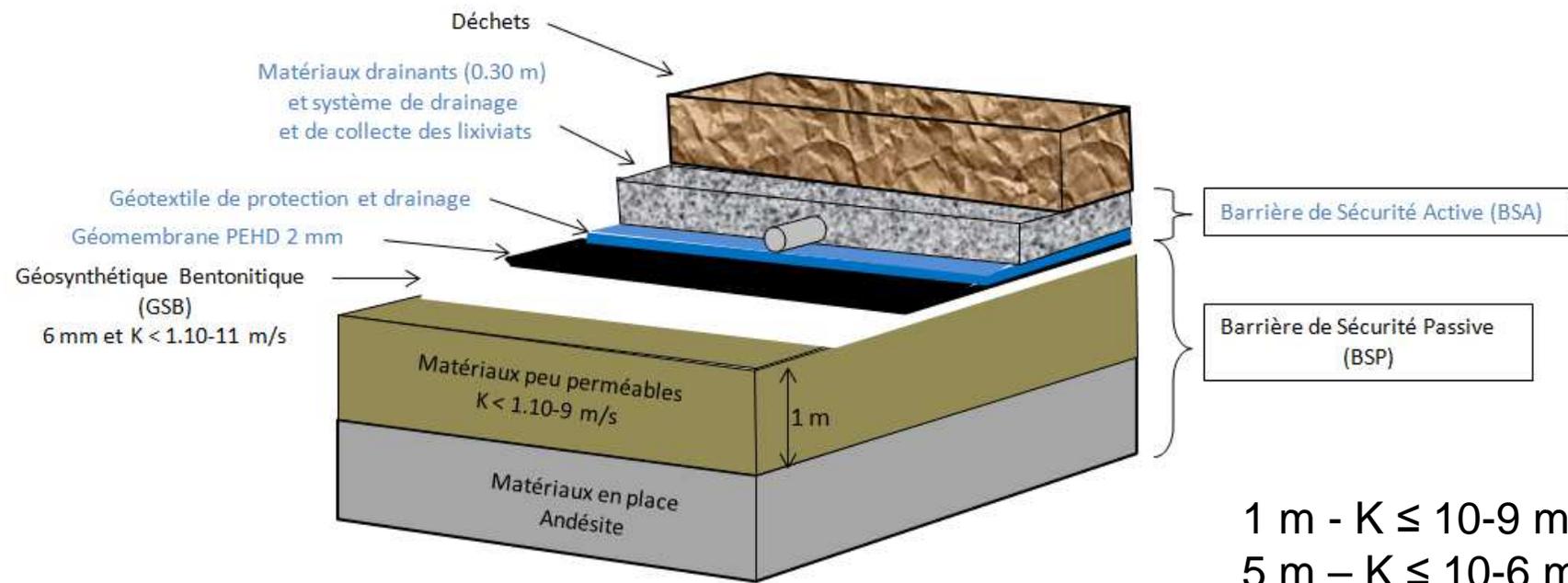


# *Sommaire*

- *Généralités*
  - *Renforcement de fond d'alvéoles d'ISDnd sur aléa géologique*
  - *Renforcement sous digue périphérique d'ISDnd*
  - *Problème de pose d'étanchéité sur parois d'ancienne carrière*
  - *Conclusions*
- 

# Généralités

50 cm de matériaux drainants  
Géotextile anti-poinçonnement  
Géomembrane PEHD 2 mm



# *Renforcement de fond d'alvéoles d'ISDnd sur aléa géologique*

*Rencontres CFG La Rochelle 2015*

## *Contexte du site*

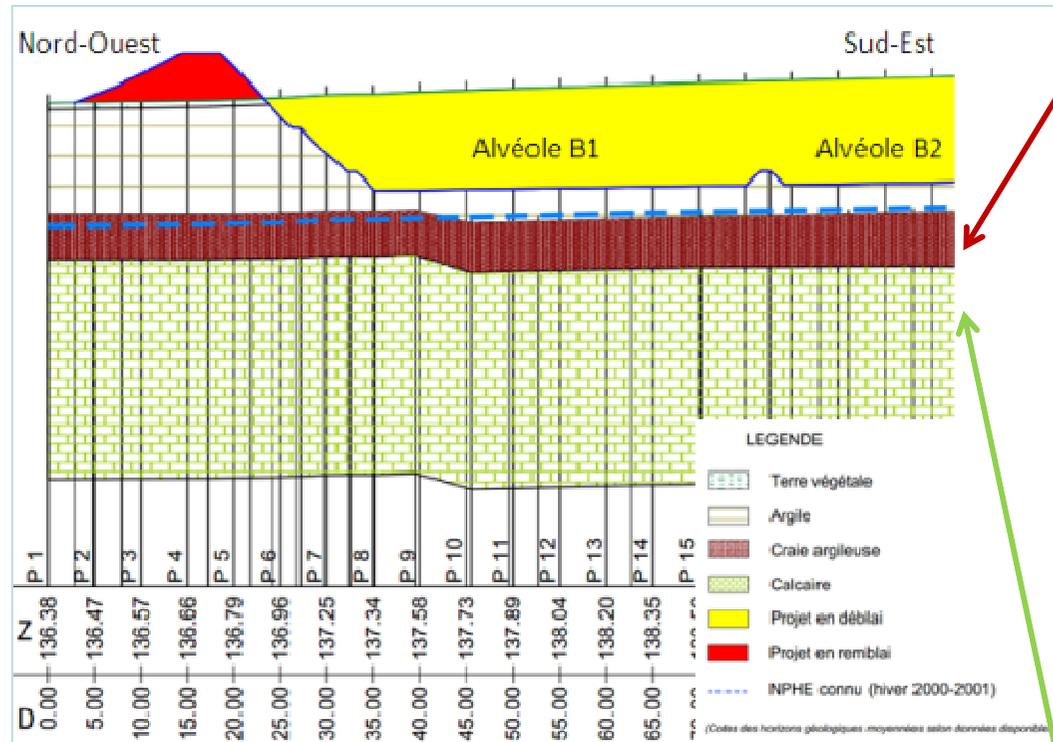
Une installation de stockage de déchets non dangereux (ISDnd) exploitée par un grand groupe a confié en 2010 à Antea Group une mission de maîtrise d'œuvre pour la conception et le suivi des travaux d'extension du site.

Les travaux de la première alvéole ont démarré à la fin de 2011 et se sont prolongés jusqu'au mois de février 2012.

Lors de cette phase de travaux, l'entreprise de terrassement a mis en évidence un aléa géologique.



## Contexte géologique et caractérisation de l'aléa géologique



**Barrière passive à  $10^{-9}$  m/s :**  
présence ponctuelle de terrains de très faible perméabilité dans les **argiles et craies argileuses du Sénonien**, mais de manière discontinue verticalement et spatialement

**Barrière passive à  $10^{-6}$  m/s :**  
présence de la barrière passive à  $10^{-6}$  m/s dans les **argiles et craies argileuses du Sénonien**, sur toutes les zones investiguées du site

**Calcaires du Turonien** sous-jacents, avec toutefois des perméabilités de l'ordre de  $10^{-5}$  m/s

## *Contexte géologique et caractérisation de l'aléa géologique*

Les terrassements ont mis en évidence un aléa géologique correspondant en la présence de matériaux marno-calcaires fissurés à partir d'une profondeur de  $-7$  m/TN.

Une première zone de fissuration a été observée au niveau du point bas de l'alvéole.

Deux autres zones de fissures ouvertes ont été constatées lors du terrassement de  $-5$  à  $-10$  m par rapport au TN.

Les terrassements ont été amenés jusqu'à la cote d'arase telle que prévue au projet afin de caractériser l'aléa par la réalisation d'investigations complémentaires.



## *Contexte géologique et caractérisation de l'aléa géologique*

Les calcaires fissurés ne permettent pas de garantir une perméabilité inférieure à  $1.10^{-6}$  m/s sur une épaisseur d'au moins 5 mètres comme exigé par l'Arrêté Préfectoral.

Néanmoins, le non respect de cette exigence n'est pas de nature à remettre en cause le Dossier de Demande d'Autorisation puisque connu dès ce stade.

Nécessite néanmoins un porté à connaissance.



## *Caractérisation de l'aléa géologique*

Des investigations complémentaires ont été réalisées avec des reconnaissances géophysiques et des sondages.

Les reconnaissances géophysiques ont pour objectif de localiser l'extension potentielle des zones de calcaires fissurés.

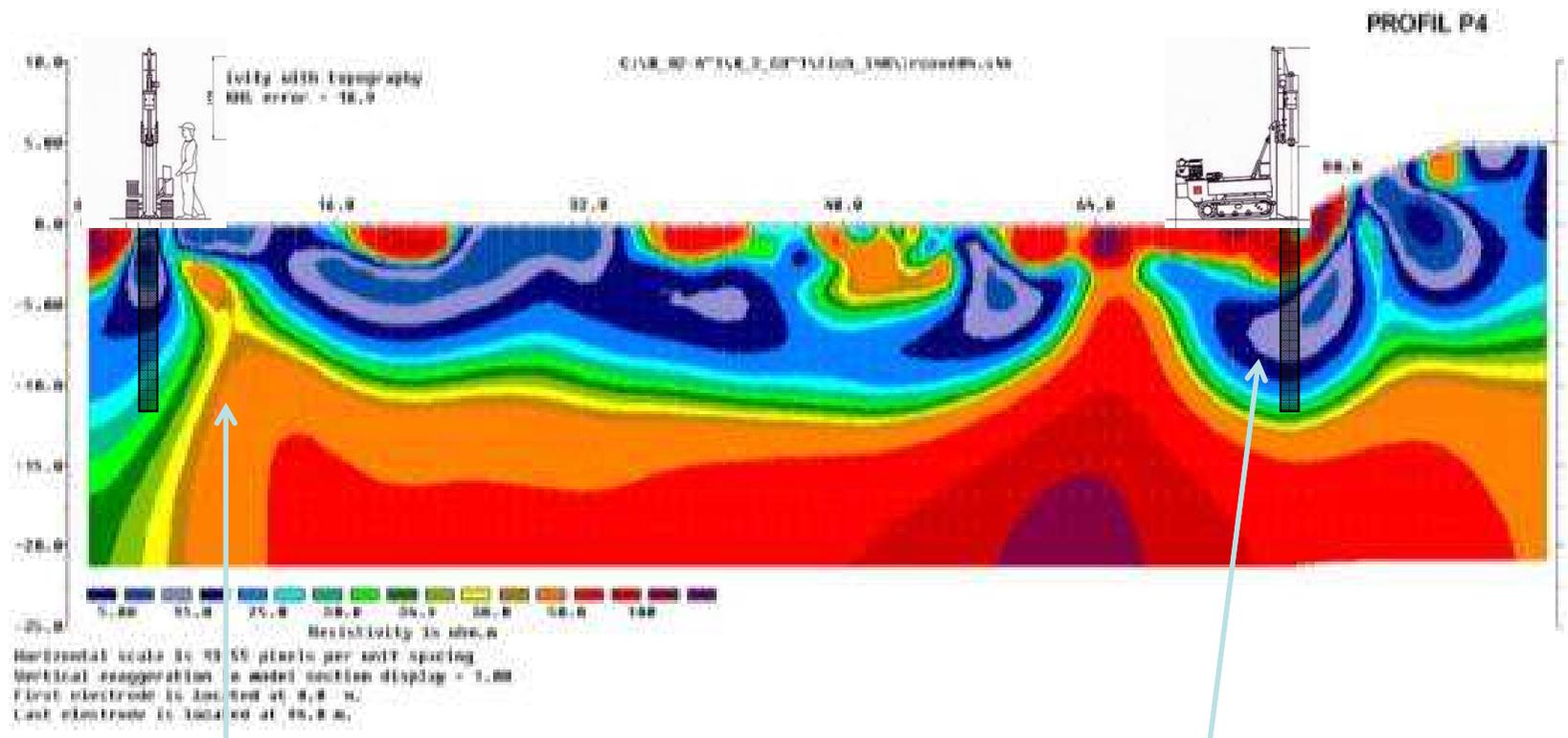
Les sondages destructifs avec enregistrement des paramètres de foration ont pour objectif de confirmer ou non la présence de vide au droit des anomalies géophysiques.



Contraste « fort »

## Caractérisation de l'aléa géologique

Reconnaitances électromagnétique et électrique : résistivité



Contraste « faible »  
caractérise une couche peu  
indurée

Contraste « fort » de résistivité  
caractérise un vide potentiellement  
franc

## *Caractérisation de l'aléa géologique*

Les sondages destructifs avec enregistrement des paramètres de foration réalisés ont montré un vide de dimension de 0.40 m de diamètre, partiellement remblayé par des matériaux fins. Cette cavité a été rencontrée à une profondeur approximative de 2.00 m par rapport à la cote réglée du terrassement. Elle correspond à la fissuration observée lors des terrassements depuis la cote – 7 m/TN.



## *Dimensionnement d'un renforcement de la barrière passive*

Objectif :

La présence du calcaire fissuré plus haut que prévu initialement dans le DDAE induit la nécessité de mettre en place

**un renforcement sous la couche peu perméable de la barrière de sécurité passive**

afin de reprendre les efforts induits par les déchets sus-jacents suite à un éventuel affaissement d'une des fissures, afin d'éviter la mise en traction de la couche peu perméable et de la géomembrane.

## *Dimensionnement d'un renforcement de la barrière passive*

Calcul avec la Norme Britannique BS8006 « Code of practice for "Strengthened/reinforcement soils and other fills" » établi en 1995

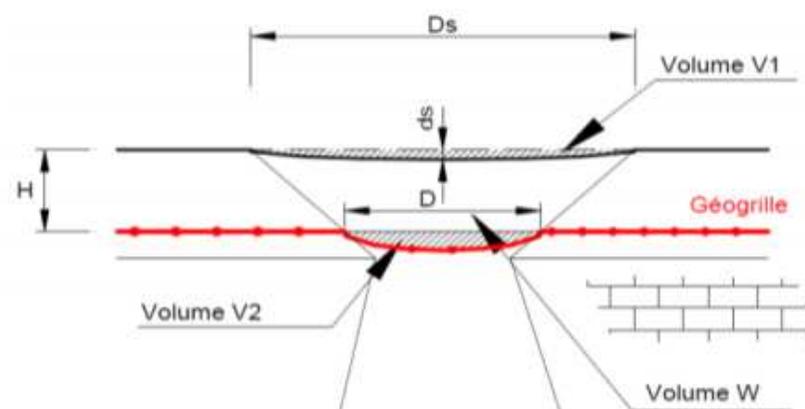
et avec les hypothèses sécuritaires suivantes :

- la cavité est considérée juste sous la couche peu perméable ;
- le diamètre de la cavité est considéré de 50 cm, valeur correspondante à la plus grande dimension observée suite aux reconnaissances réalisées ;
- la hauteur de la couche de déchets sous-jacente est considérée égale à 5 fois le diamètre de la cavité, soit  $H=2.5$  m. Au-delà, l'effet voûte annule les efforts induits sur la couche peu perméable ;
- l'allongement sera limité entre 1,50 et 2 %.

## Dimensionnement d'un renforcement de la barrière passive

Les résultats du calcul mettent en avant la nécessité de mettre en place une géogrille présentant une résistance de 60 kN/m pour un allongement de 1,5 %. Un tel allongement permet de limiter les efforts de traction dans la couche peu perméable et dans la géomembrane de la barrière de sécurité active.

Afin de prendre en compte les facteurs de sécurité habituellement pris en compte pour les géosynthétiques, la géogrille mise en place devra respecter une résistance à la traction maximale de 300 kN/m à 6 % d'allongement maximum.



## *Mise en place du renforcement de la barrière passive*

Avis d'un tiers expert BRGM et de la DREAL en juillet 2012.

L'exploitant devant gérer un surcoût lié à la pose de la géogrille de renforcement de la BSP a cherché avec son étancheur un produit disponible dans le délai le plus rapide.

Il a été proposé par HUESKER une géogrille bidirectionnelle de type Fortrac 300/300 en PVA avec induction polymère.

Paramètre	Norme	Caractéristiques minimales
Résistance à la traction	NF EN ISO 10319	≥ 300 kN/m SP ≥ 300 kN/m ST
Allongement à la rupture	NF EN ISO 10319	< 6 %
Maille	-	≤ 30 x ≤ 30 mm

## *Mise en place du renforcement de la barrière passive*

Les aléas géologiques observés sur le site ne présentent pas d'orientation privilégiée, et il ne peut être exclu qu'un désordre survienne au droit d'un recouvrement de lés, il a donc été recommandé et mis en œuvre :

- Un recouvrement de 0.30 m des lés
- Une liaison des lés entre eux par **cordelette** de manière à pouvoir mobiliser environ 40 % de la résistance du produit.



## *Mise en place du renforcement de la barrière passive*

- Mise en place de la couche de barrière passive compactée de 1 m à  $K < 1 \cdot 10^{-9}$  m/s



# Renforcement sous digue périphérique d'ISDnd

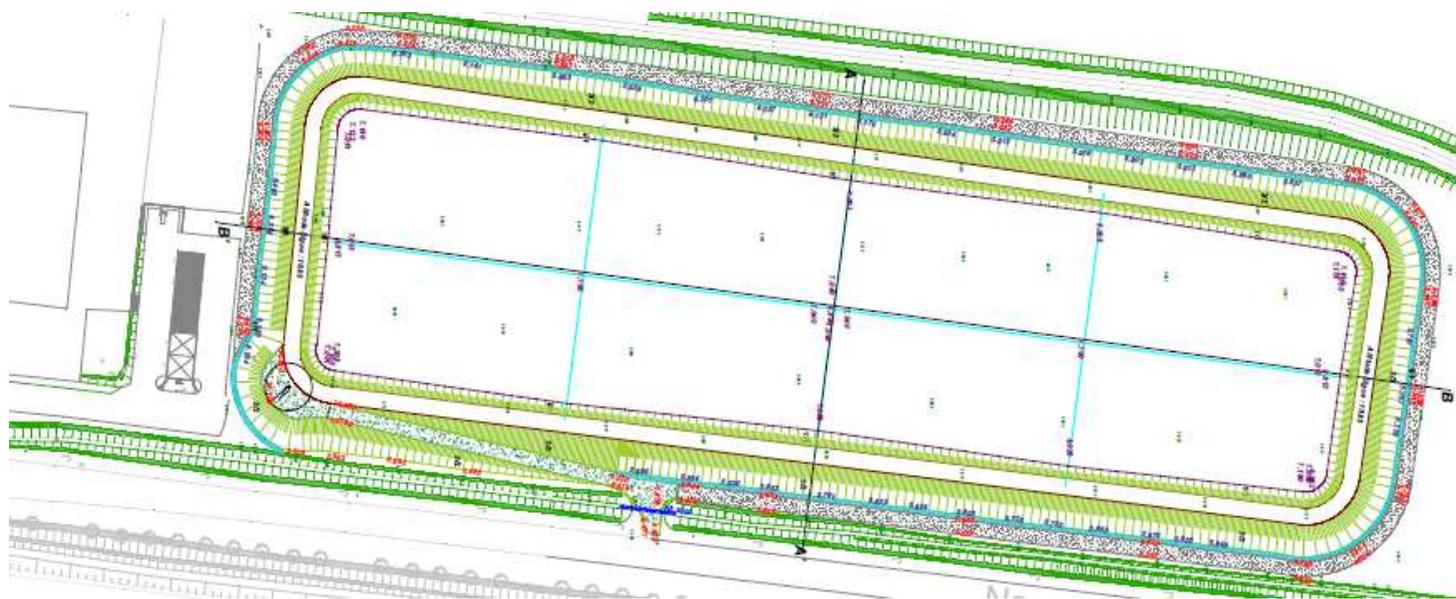
## Contexte du site

Problème de stabilité de digue périphérique d'ISD sur sol à faible portance :

- dépôts alluvionnaires modernes sur une forte épaisseur, les formations rencontrées sont principalement des argiles vasardes ou silts organiques sur 5 à 8 m de profondeur

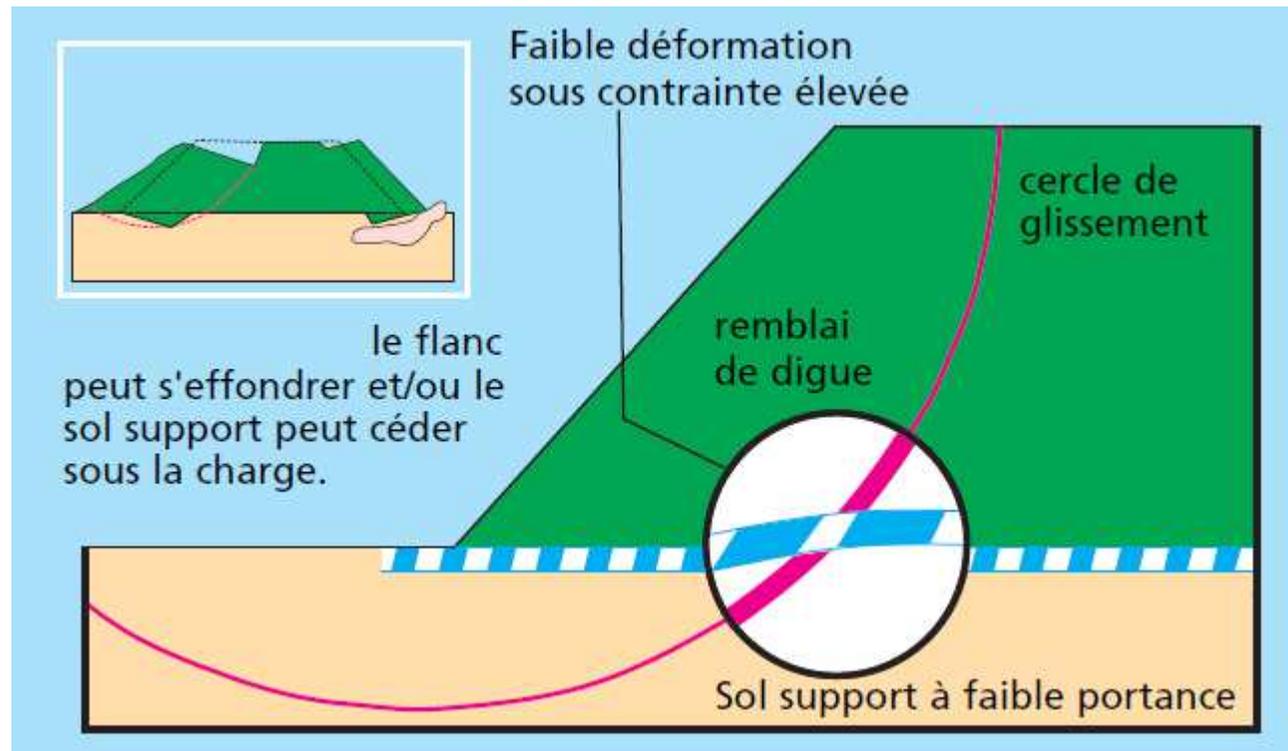
Description du sol	Cote de la base de la formation (m NGF)	Module pressiométrique (MPa)	Pression limite nette (MPa)	Pression de fluage (MPa)	Module élastique (MPa)
Argile vasarde	-1.90	2	0.3	0.2	3
Sables argileux gris vert	-5.00	5	0.7	0.3	7.5
Sables gris vert	-	15	2	1.1	22.5

## Contexte du site



Vue paysagère et en plan du casier

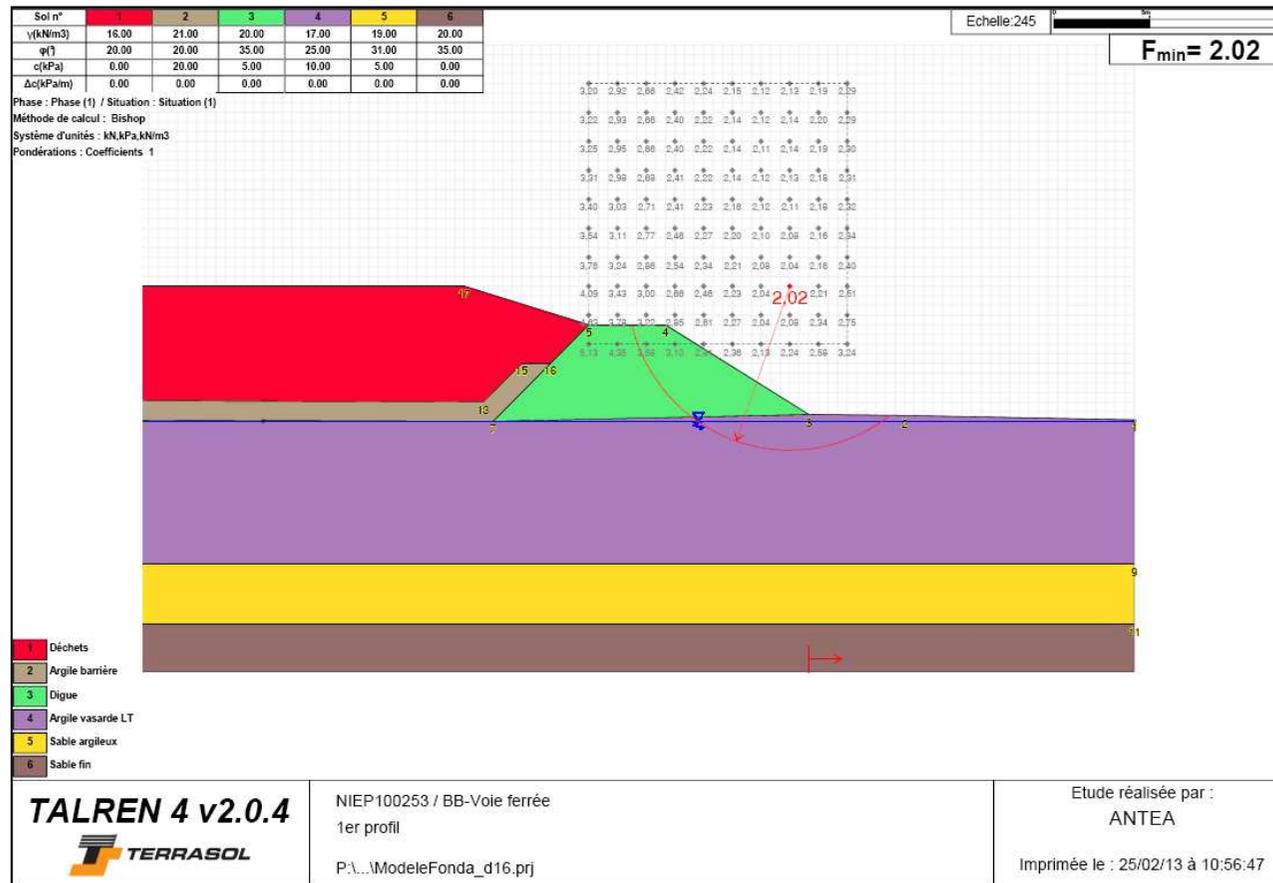
## Etudes



Etude de la stabilité externe du stockage au grand glissement  
Etude de l'impact des tassements sur l'étanchéité

# Etude de la stabilité externe du stockage au grand glissement

## Calcul TALREN



## *Etude de la stabilité externe du stockage au grand glissement*

Afin de se prémunir d'un glissement du parement de la digue suite à une déformation des formations compressibles sous-jacentes ou par phénomènes de fluage, ce qui n'est pas pris en compte avec les modélisations réalisées, il a été proposé la mise en place **d'un géotextile de renforcement** pour permettre de reprendre les efforts de déformation.

Le géotextile est posé entre le sol support compressible, préalablement nivelé et compacté en surface et le remblai de digue.

Le dimensionnement a été fait suivant les recommandations pour le dimensionnement et l'analyse des constructions utilisant des géosynthétiques de renforcement (EBGEO « recommandations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements »).

## *Etude de la stabilité externe du stockage au grand glissement*

La résistance à la traction du produit nécessaire a été évaluée à 795 kN/ml pour une digue de 5 m de haut, reposant sur 5 m de formations compressibles cohérentes ( $C_u=5\text{kPa}$ ) et non frottantes, tenant compte des coefficients réducteurs.

La résistance en traction mobilisée à long terme est d'environ 26 kN/ml.

Les coefficients réducteurs ont été déterminés sur la base de résultats d'essais réalisés sur le produit fini par le fabricant, en accord avec les guides ISO/TS 13434 et ISO/TR 20432 « *Ligne directrice pour la détermination de la résistance à long terme des géosynthétiques pour le renforcement du sol* » (AFNOR, 2008). Le coefficient de sécurité global sur la résistance en traction du géotextile de renforcement pris en compte est d'environ 2,8.

## *Etude de la stabilité externe du stockage au grand glissement*

Le géotextile de renforcement mis en place est un géosynthétique tissé en polyester (en sens production) et en polyamide et polyester (en sens travers) de type Huesker Stabilenka<sup>®</sup> 800. La raideur du produit est élevée avec une résistance à la traction de 460 kN/ml sous un allongement de 6 % afin de mobiliser en traction le géosynthétique dès le début des déformations de l'ouvrage.

Résultat :		
Court terme	287	kN/ml
Long terme	26	kN/ml
Glissement	150	kN/ml

Coeff sécurité		
Fluage	1.72	
Mise en œuv	1.25	
Chimique	1.03	
Climatique	1	sans UV
Dynamique	1	
Matériau	1.25	
Total	2.77	

## *Etude de l'impact des tassements sur l'étanchéité*

Tassement prévisionnel estimé par la méthode oedométrique.

Tassement	A 5 m du pied extérieur de la digue	A 1 m du pied extérieur de la digue	Sous la digue	Au centre de la cellule
Estimé (mm)	10	30	225	400 à 500

## *Travaux : planche d'essais*



Vue sur la planche d'essai achevée.

Mise en œuvre du remblai après mise en œuvre du géosynthétique de renforcement à la base  
Stabilenka® 800/100.

## Travaux



Préparation d'une arase terrassement propre, plane et peu agressive pour le géosynthétique de renforcement.



Mise en œuvre à plat et sans plis du géosynthétique de renforcement. Respect des 40 cm minimum de recouvrement latéral.

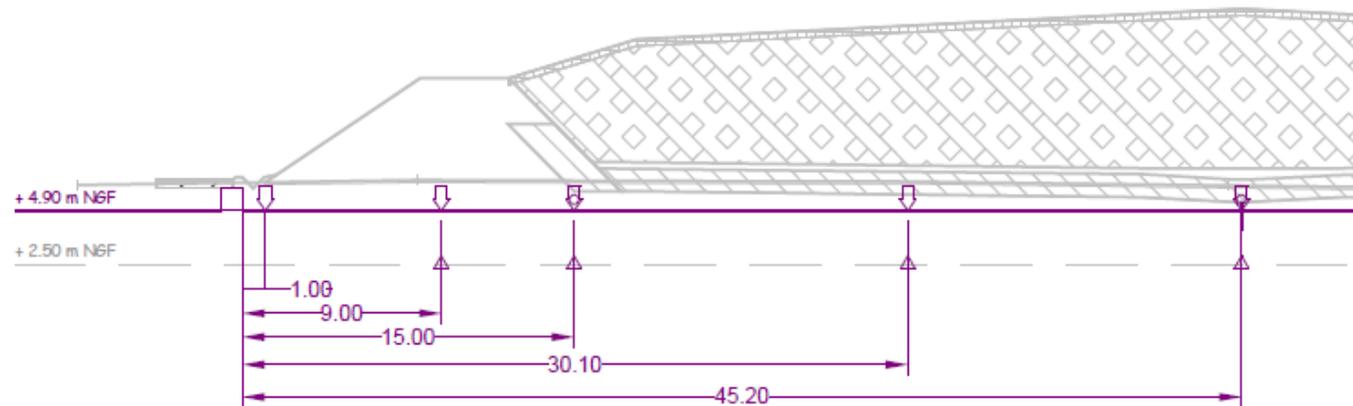
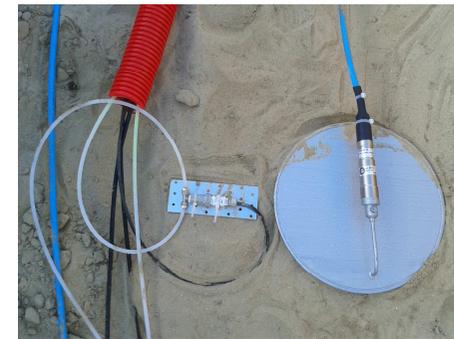
Les lès, d'une longueur de 20 ml, ont été mis en place avec un retour de 8 m en parement externe. Les matériaux de la digue ont été mis en place par couches de 30 cm, compactées et contrôlées.

La réalisation des travaux a été réalisée suivant une procédure d'exécution établie par l'entreprise de travaux dans le cadre d'un Plan d'Assurance Qualité (PAQ).

## Dispositif d'Observation-Surveillance

Afin de mettre en œuvre la méthode observationnelle pour le dimensionnement interactif du casier, un dispositif d'instrumentation a été mis en œuvre selon 3 profils avec :

- des capteurs de tassement,
- des capteurs de pression totale et
- des capteurs de pression interstitielle.



## *Dispositif d'Observation-Surveillance*

Afin d'analyser le suivi des tassements, il convient de rappeler en préalable le phasage de réalisation du casier comprenant cinq étapes successives :

1. Création de la digue périphérique ;
2. Mise en place de la couche peu perméable de la BSP de 1 m d'épaisseur ;
3. Mise en place du dispositif d'étanchéité par géomembrane ;
4. Mise en place de la couche drainante de 30 cm d'épaisseur et des drains collectant les lixiviats ;
5. Remplissage des déchets dans la cellule de confinement par couches compactées . Deux hypothèses ont été prises en compte, correspondant à un poids volumique des déchets de 16 et 10 kN/m<sup>3</sup>.

## Dispositif d'Observation-Surveillance

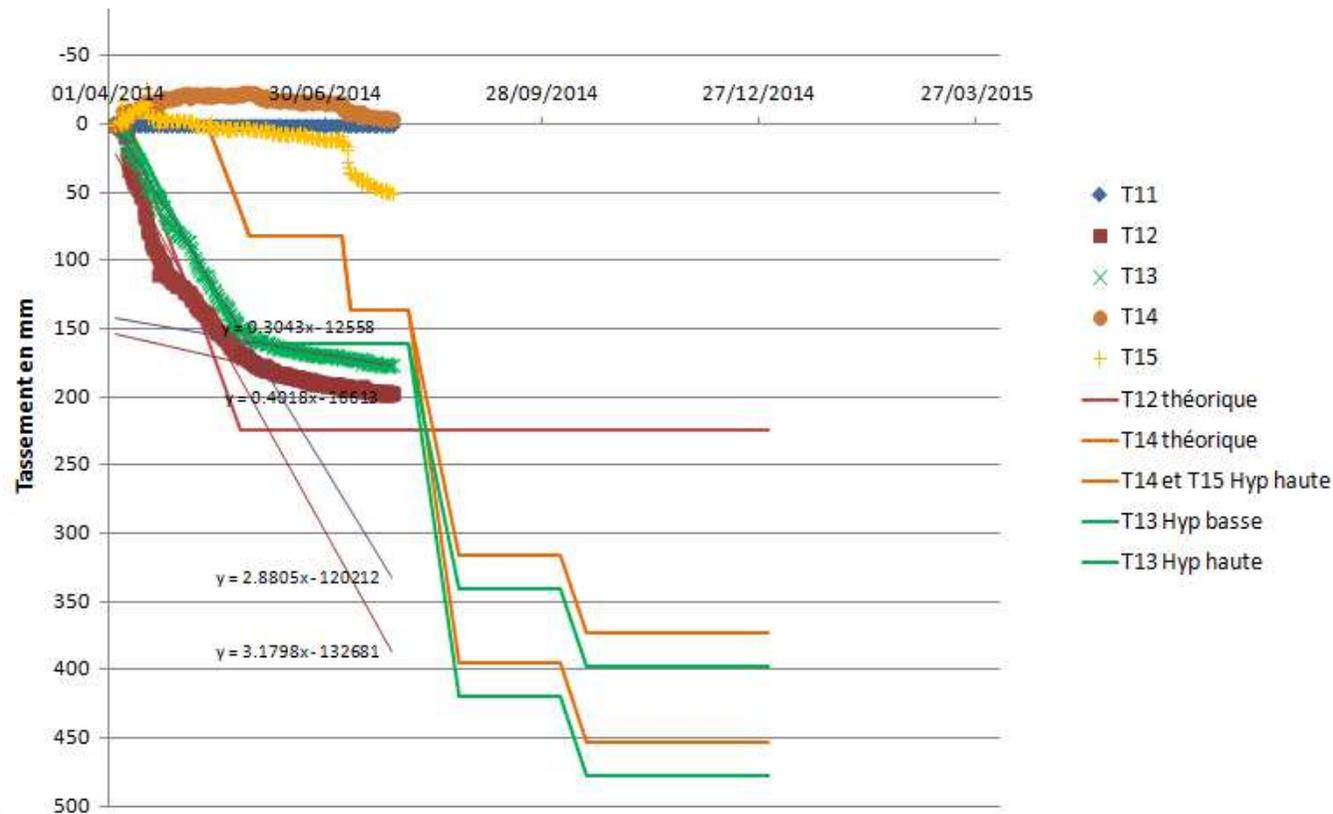
L'analyse des résultats du suivi met en avant les points suivants :

- Le tassement mesuré au centre de la digue (T<sub>12</sub>) atteint environ 200 mm pour une estimation de l'ordre de 225 mm.



## Dispositif d'Observation-Surveillance

- lors de la réalisation de la digue et de la couche peu perméable encastrée (phases 1 et 2), il est constaté un soulèvement du fond de forme d'environ 30 mm ( $T_{14}$ ).



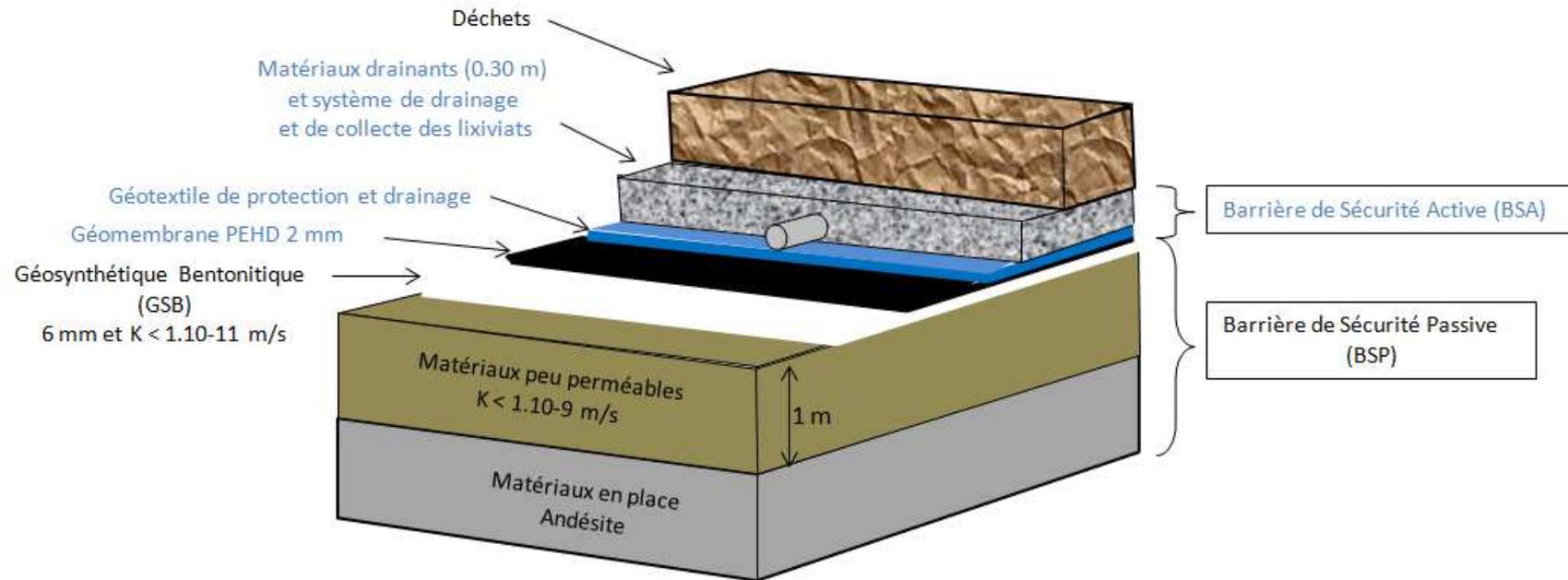
# *Problème de pose d'étanchéité sur parois d'ancienne carrière*

## *Contexte du site*

Ancienne carrière d'andésite située dans les DOM-TOM



## Éléments constitutifs des BSP + BSA en fond et flanc



En flanc :

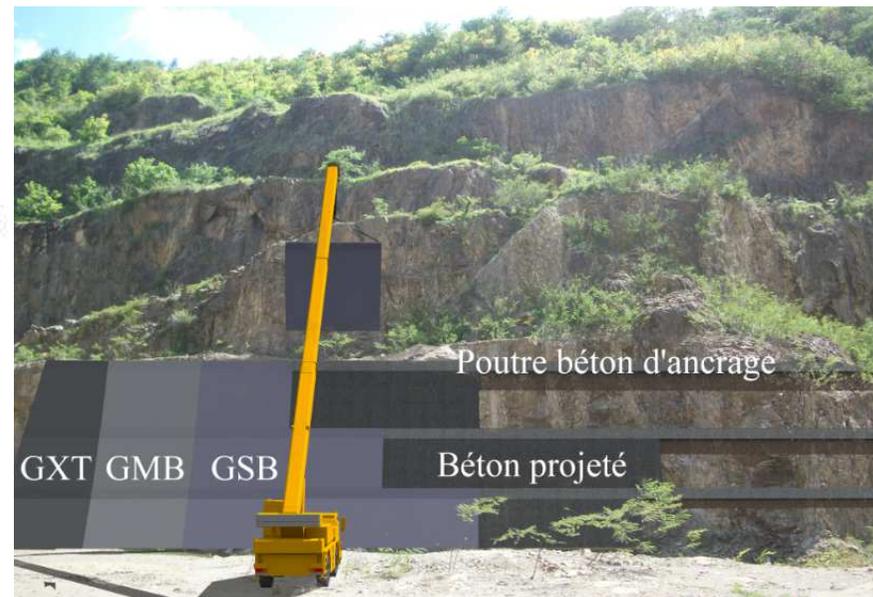
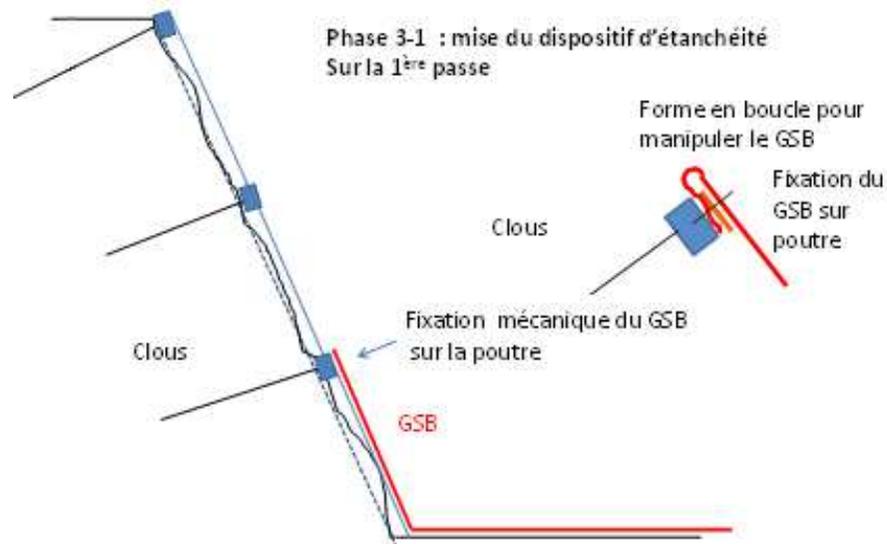
GSB 5 kg/m<sup>2</sup>

Géomembrane PEHD 2 mm

Géocomposite de drainage

## Problème de mise en œuvre BSP + BSA en flanc

- La verticalité et les aspérités du parement de la carrière.
- Le poids propre du GSB estimé à  $6,5 \text{ kg/m}^2$ . En considérant une absorption d'eau supérieure liée à l'humidité habituelle de la Martinique, on pourra supposer un doublement du poids au  $\text{m}^2$  soit  $13 \text{ kg/m}^2$  à  $15 \text{ kg/m}^2$ .

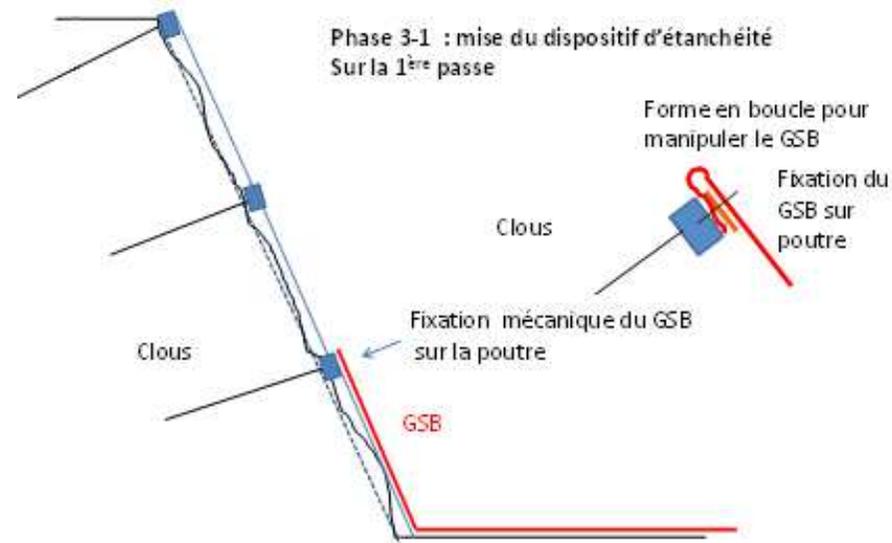


## *Méthodologie proposée aux études de projets*

**Phase 0** - Déroctage et premier lissage du talus

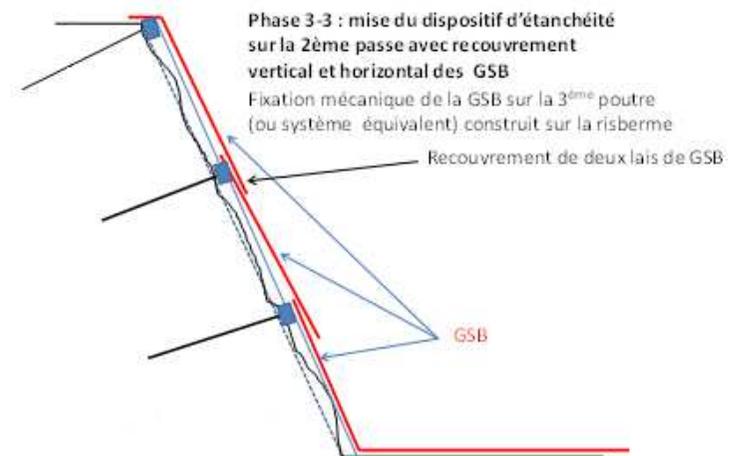
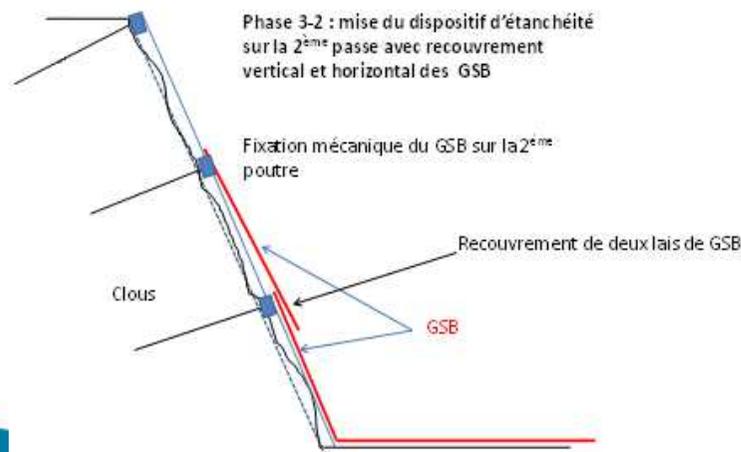
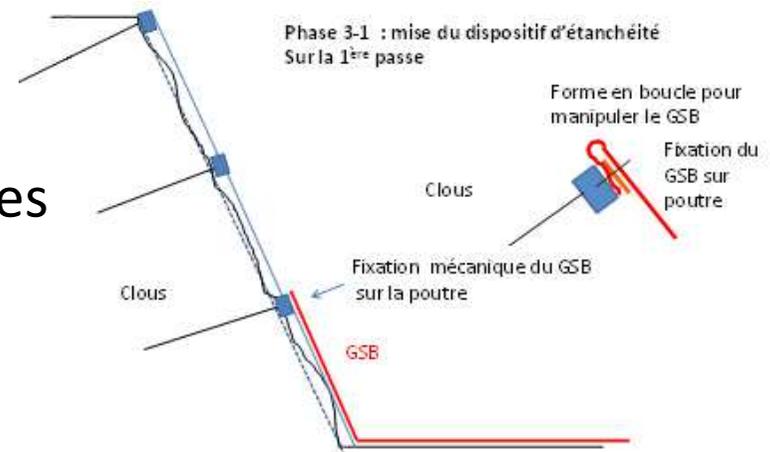
**Phase 1** - Mise en place des poutres support du GSB

**Phase 2** - Mise en place de béton projeté fibré de lissage du parement entre les poutres



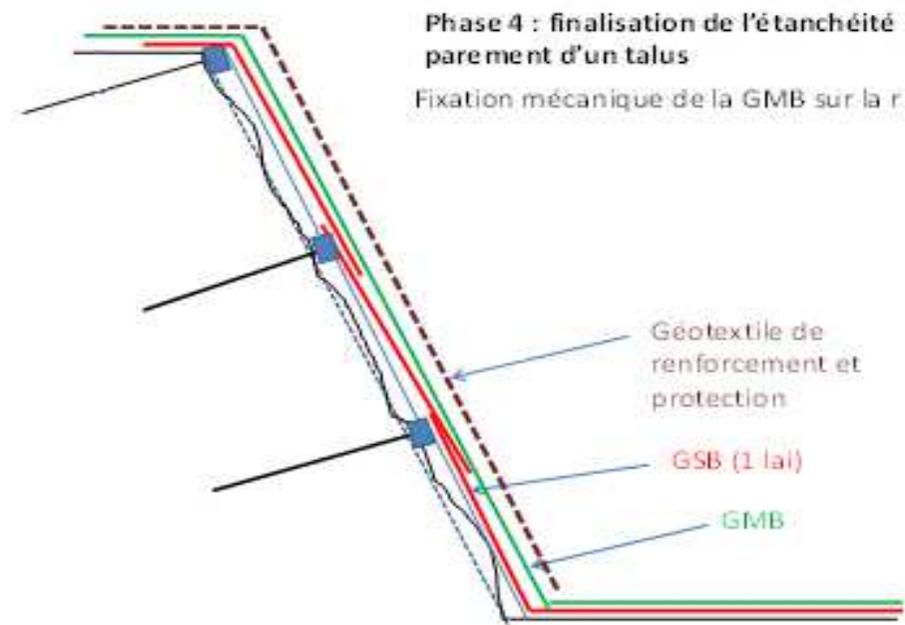
## Méthodologie proposée aux études de projets

**Phases 3-1 à 3-3** - Ces 3 phases successives consisteront à mettre en place les 3 panneaux de géosynthétiques bentonitiques jusqu'au sommet de la risberme. La partie sommitale des GSB comportera une boucle permettant la manipulation par une grue ou un manitou. Elle comportera une plaque préfabriquée permettant de fixer le GSB sur la poutre.



## *Méthodologie proposée aux études de projets*

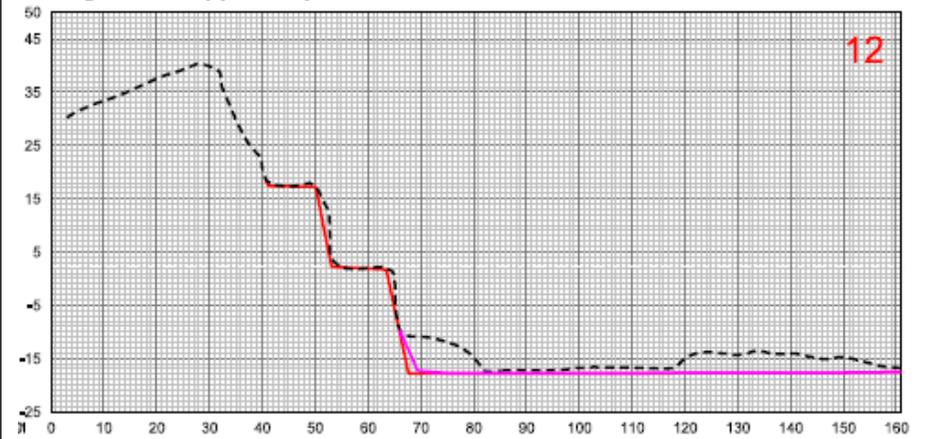
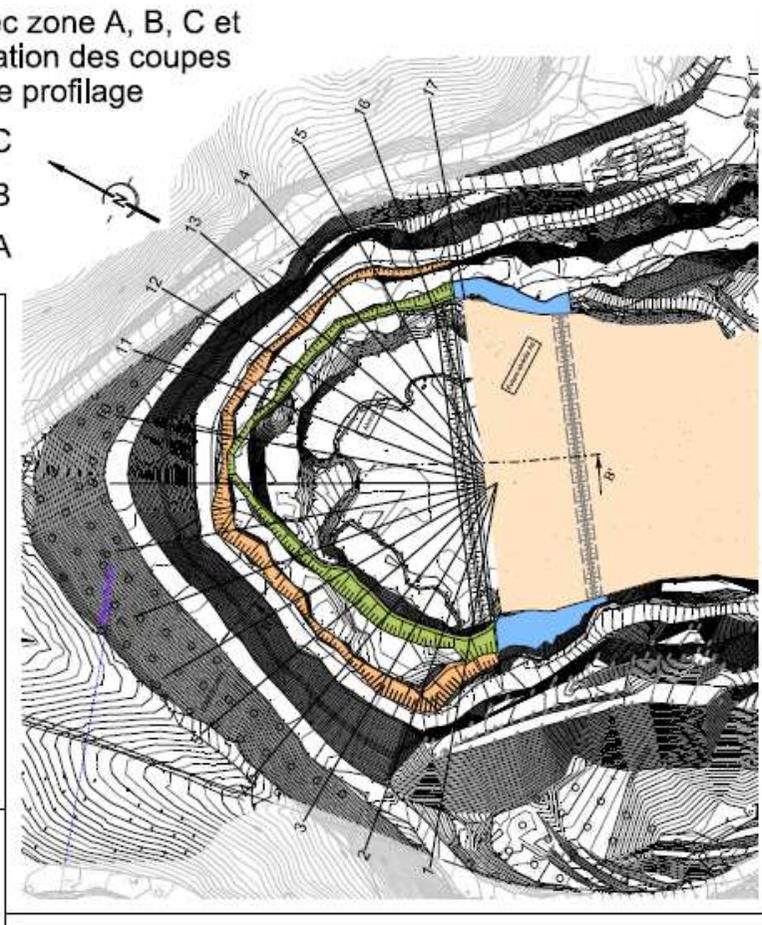
**Phase 4** - Cette phase consistera à mettre en place la géomembrane et son ancrage depuis la risberme supérieure ainsi que le géotextile de protection mécanique traité UV.



# Etudes de projets

Plan avec zone A, B, C et implantation des coupes de profilage

- C
- B
- A



# Conclusions



Face à un aléa géologique, et la reconnaissance de la présence de fissures ouvertes , une proposition de mesure compensatoire avec mise en place d'une géogrille de renforcement a été :

1. dimensionnée
  2. soumise à tierce expertise pour validation auprès de la DREAL
  3. mise en œuvre avec liaison de lés par coutures
- et a permis l'ouverture de l'alvéole dans un délai raisonnable.

# Conclusions



Dans le cas d'un casier implanté sur matériaux compressibles :

- Une proposition constructive avec mise en place d'une géogrille de renforcement
- La mise en œuvre d'une observation-surveillance qui permet de :
  - fixer la hauteur des déchets à une valeur acceptable pour garantir la pérennité de la barrière de sécurité passive,
  - modifier la géométrie du dôme, en particulier en augmentant ou diminuant les pentes de la couverture finale de manière à assurer une bonne gestion des eaux pluviales, tout en intégrant l'objectif de disposer d'un volume de 80 000 m<sup>3</sup> et les contraintes paysagères.

## *Conclusions*

Dans le cas d'une ISDnd implantée dans une ancienne carrière de roche dure à flancs sub-verticaux :

- Une proposition constructive avec une méthodologie de mise en œuvre permettant de mettre en place les barrière imposées par la réglementation en vigueur



Merci pour votre attention

