



12^{èmes} Rencontres Géosynthétiques
Du 11 au 13 mars 2019 - Palais des congrès de Nancy

www.rencontresgeosynthetiques.org

Formation Géosynthétiques

Ouvrages hydrauliques et bassins de stockage de déchets liquides

D. Fayoux

12^{èmes} Rencontres Géosynthétiques
Du 11 au 13 mars 2019 - Palais des congrès de Nancy

Plan de l'exposé

1. Les géotextiles (perméables) - Mise en œuvre et fonctions

- Jonction
- Filtration
- Drainage
- Renforcement
- Lutte contre l'érosion
- (Protection des géomembranes)↓

2. Les géomembranes (Etanches) (Principes de conception)

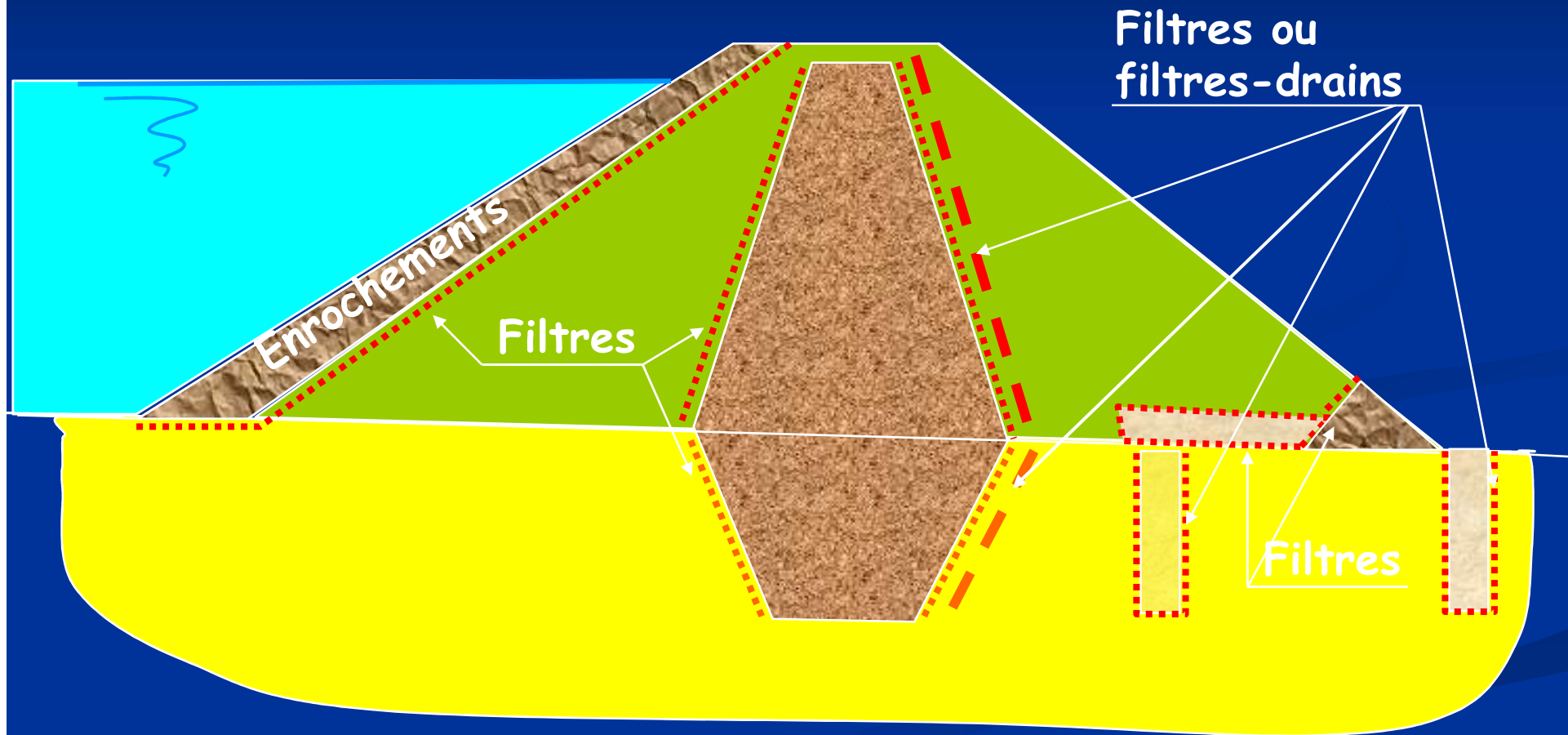
- Intérêt
- Le dispositif d'étanchéité[←] par géomembrane (DEG)
- Exemples d'applications
- Mise en œuvre
- Conception :
 - Support
 - Drainage
 - Raccordement aux ouvrages béton
 - Tenue au vent
 - Protection

Géotextiles et produits apparentés

Fonctions assurées:

<i>(séparation)</i>	
Filtration	<ul style="list-style-type: none">■ Autour dispositifs drainant■ Sous enrochements sur talus
Drainage	<ul style="list-style-type: none">■ Drainage «vertical » dans barrages■ Tranchées drainantes
Renforcement	<ul style="list-style-type: none">■ Digue sur sol mou, fascinage■ Raidissement de talus
Lutte contre l'érosion	<ul style="list-style-type: none">■ Protection de berges■ Protection de talus aval
Protection de géomembranes	<ul style="list-style-type: none">■ Entre géomembrane et support■ Entre géomembrane et protection

Géotextiles en filtration et filtration/drainage Dans les barrages (travaux neufs ou réhabilitations)



Filtre et filtres drains autour du noyau avec matériaux naturels





Filtre drain aval

Filtre amont

Filtres sous enrochement - Barrages

Barrage de la Vouraié (Vendée)



Filtres en tranchées drainantes

Dans l'appui du barrage de la Vourraie

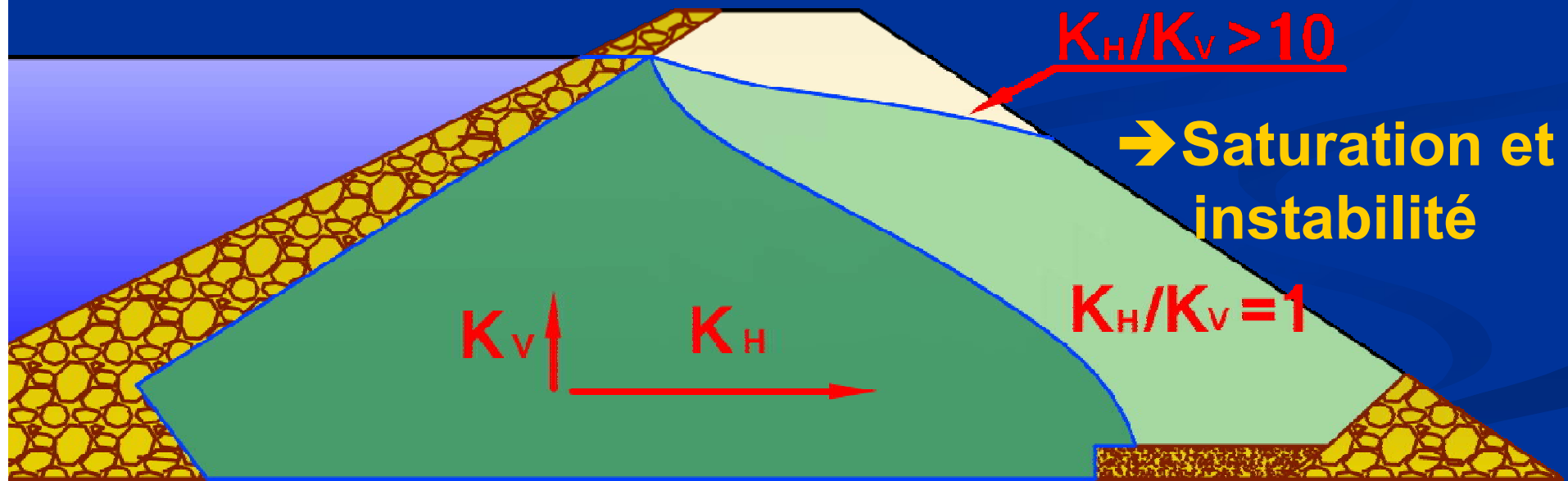


Filtre

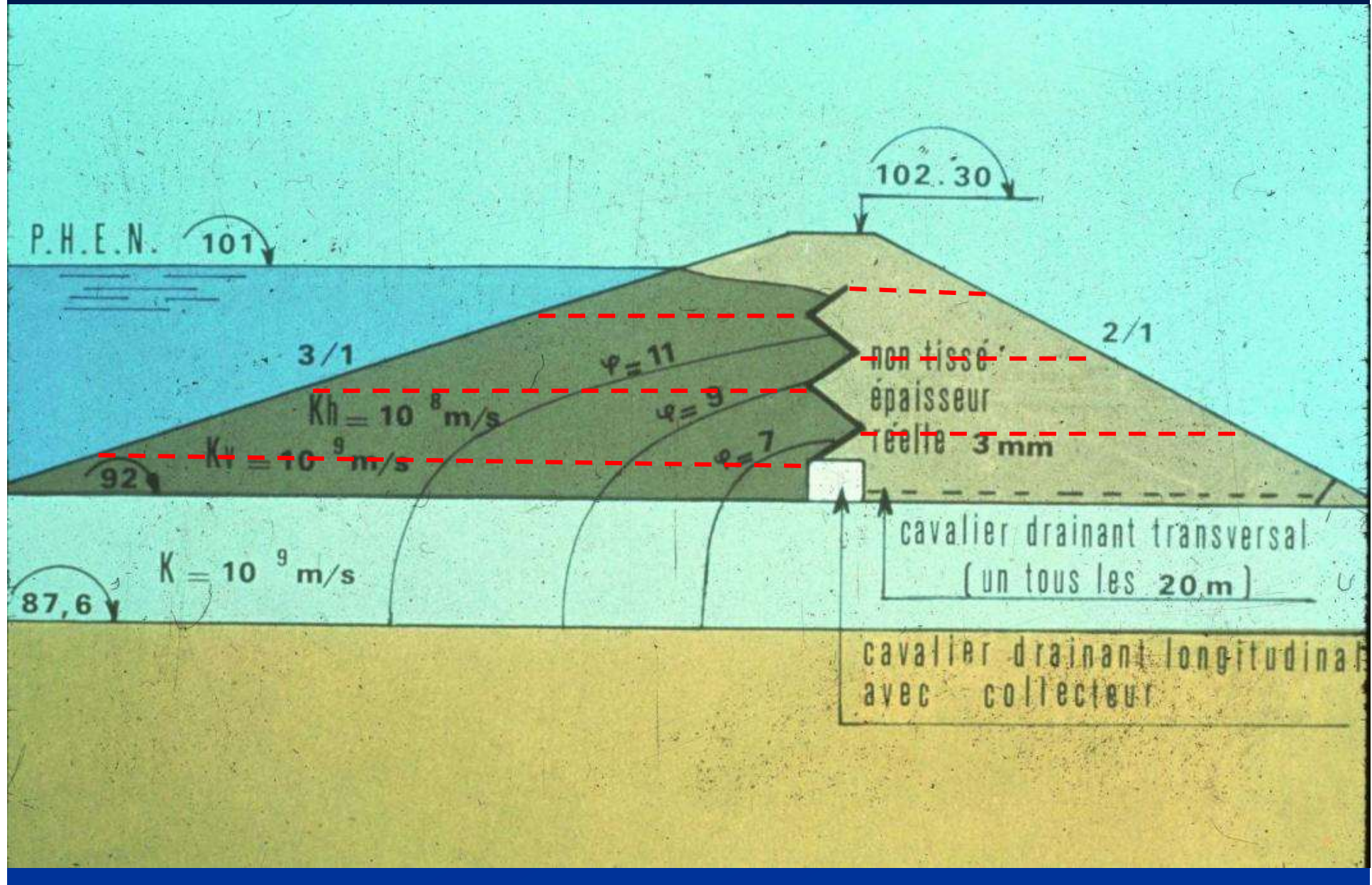
osynthétique
s hydrauliques

Drainage vertical dans les barrages

Effet de l'anisotropie de perméabilité (barrages homogènes)



Géosynthétiques en écran drainant



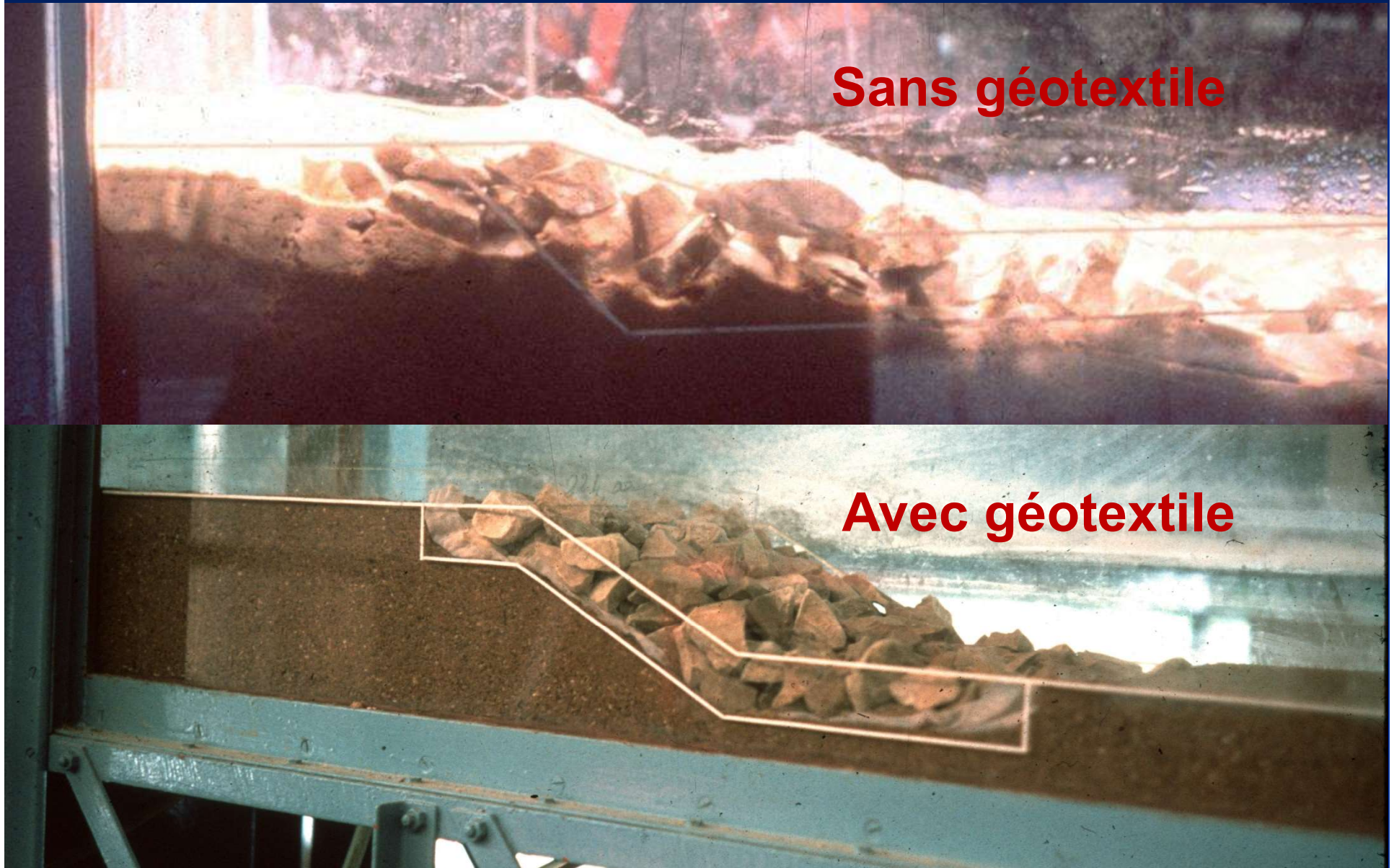
Géosynthétique en écran drainant – Brugnens (Travaux neufs)



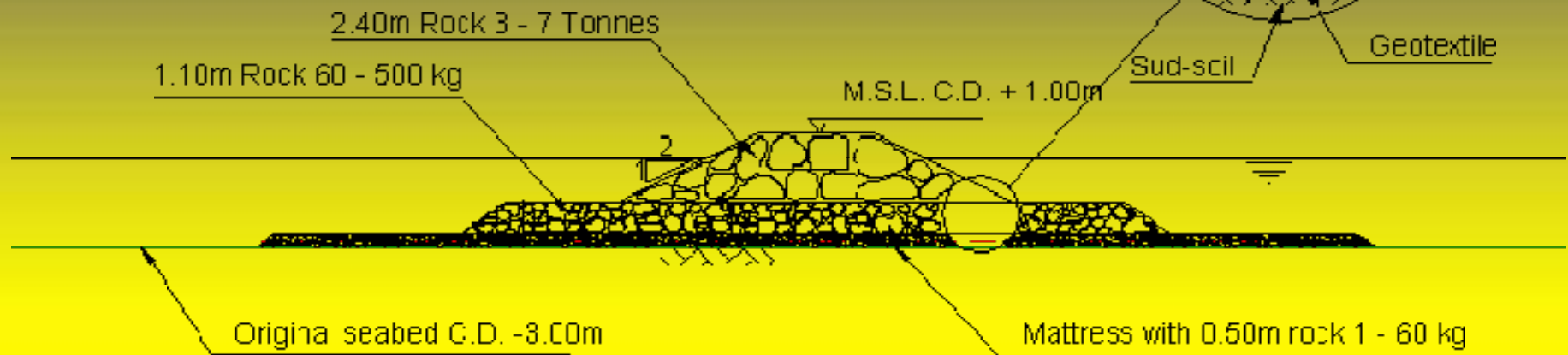
Filtres sous enrochements : canaux, Protection de berges et seuils en rivière

Sans géotextile

Avec géotextile



Fascinage sous brises lames

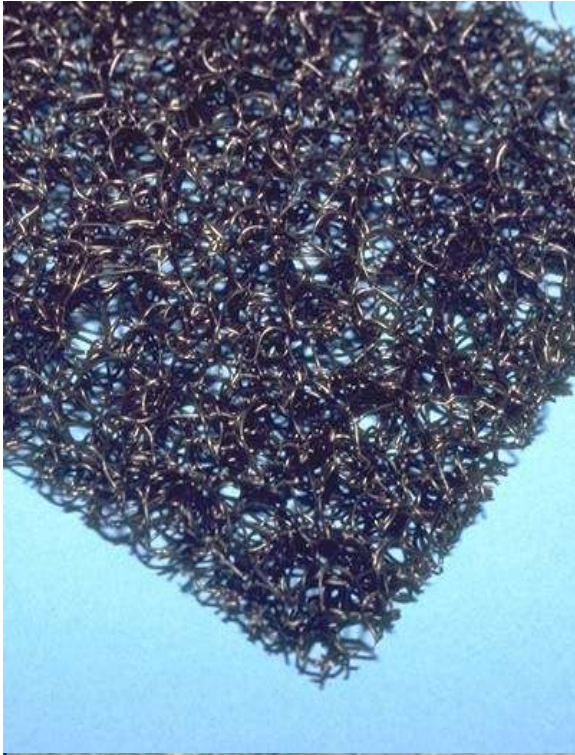


Fascinage sous l'eau

**Evite l'érosion et la perte
d'enrochements dans le sable**



**Géonatte en protection de berge sur
le bassin d'Arcachon (associé à la
végétalisation)**



Géotubes



Intérêt des géotextiles en travaux hydrauliques

- Obtention d'interfaces continus, résistant à la déformation et à la traction.
- Facilité de mise en œuvre.
- Caractéristiques bien définies .
- Disponibles rapidement.
- L'obtention de matériaux naturels avec une granulométrie bien définie et en grande quantité coute cher et nécessite des délais qui retardent souvent les chantiers.

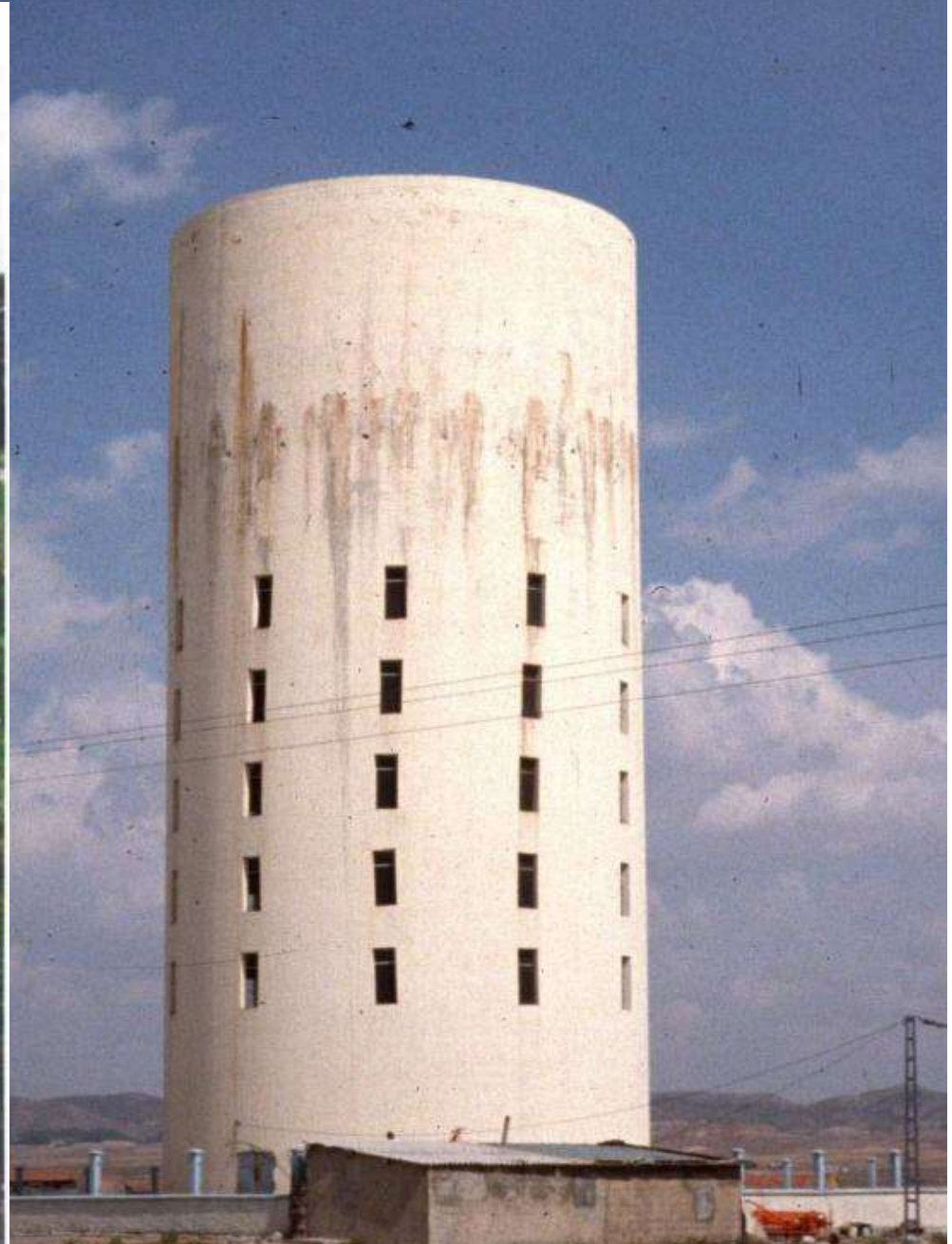
Les géomembranes

- Haut niveau d'étanchéité
- Légèreté, d'où avantage pour mise en œuvre dans sites exigus, difficiles d'accès, etc.
- Adaptation aux déformations du support (fonction des caractéristiques du produits) généralement supérieure aux matériaux traditionnels.
- Mise en œuvre moins sensible aux conditions climatiques que matériaux traditionnels.
- Délais de mise en œuvre rapides (jusqu'à 100.000 m²/mois)
- Coût généralement inférieur aux techniques traditionnelles.

Les argiles ne sont pas toujours imperméables,



Les bétons non plus!



Dispositif D'étanchéité par Géomembrane (DEG)

Constitué par :

- Support drainage*
- géomembrane*
- Protection éventuelle*

Objectif : créer une bonne *adéquation* entre les *sollicitations* sur la membrane et ses *caractéristiques* à toute époque de sa vie, pour assurer la *durabilité* requise.

Exemples d'applications

Bassin de lagunage, PVC



08/03/2019

Rencontres géosynthétiques 2019 -
Ouvrages hydrauliques

23

Bassin routier.



Bassins industriels:

Souppes. Vue générale - PEHD 2mm - 35000m²



Rampe d'accès



Couverture flottante - bassin industriel (Comhurex) 35000 m²



Bassins d'Irrigation

France - PP

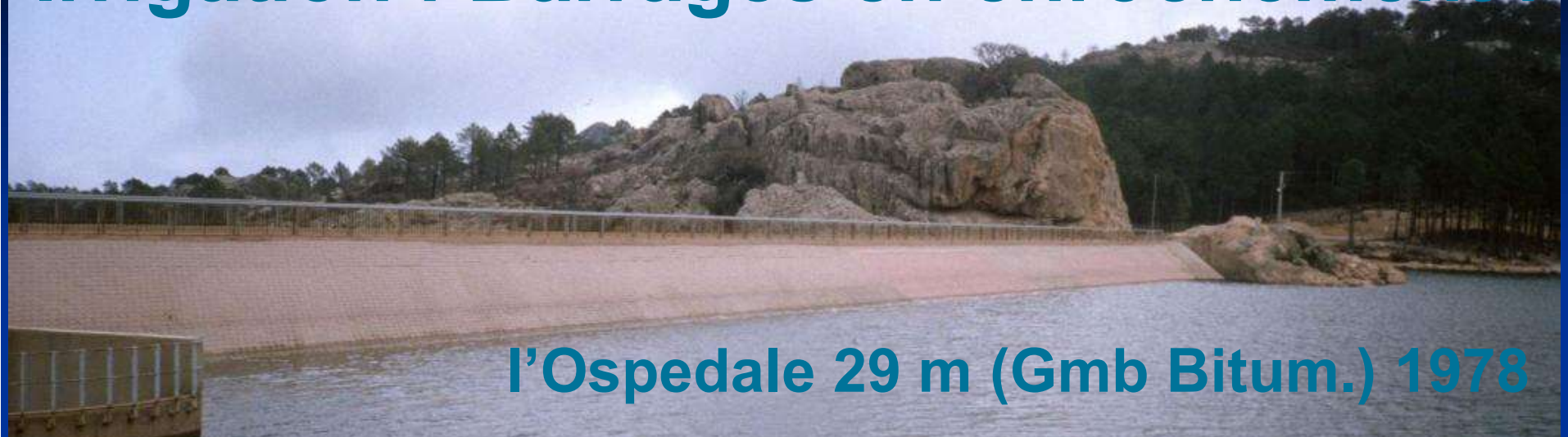


Irrigation : Barlovento – (Canaries) 1991/92, 250.000m²

PVC 1,5 mm non protégé

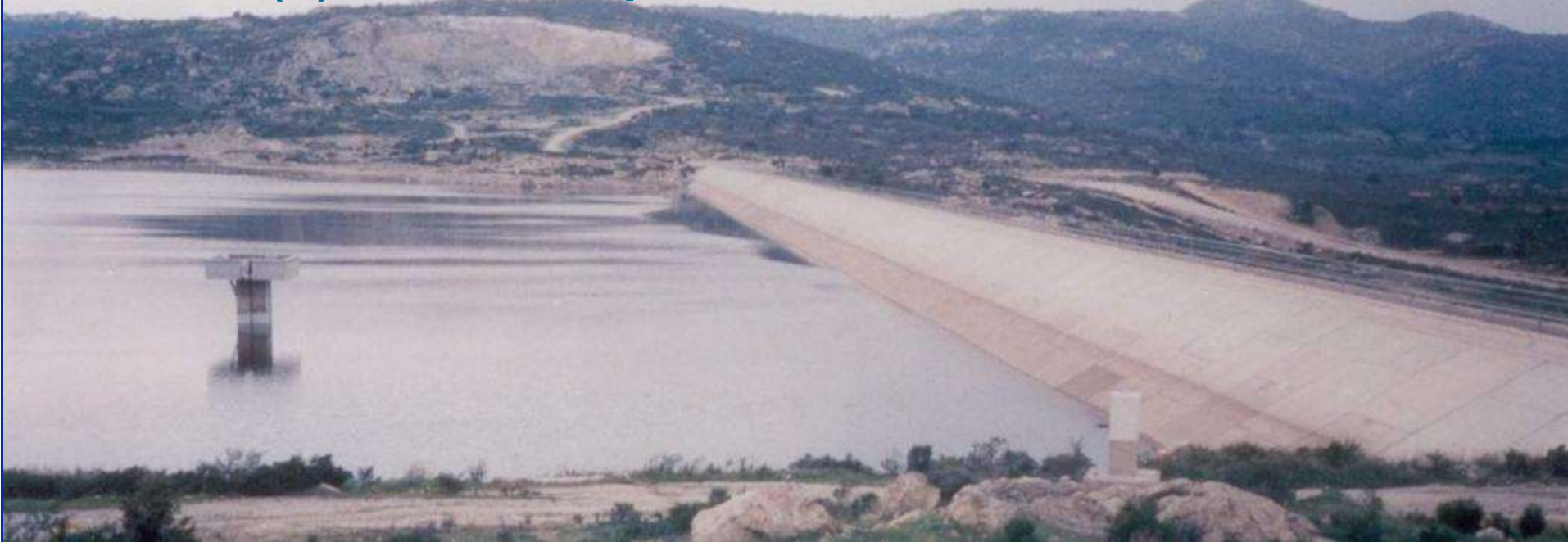


Irrigation : Barrages en enrochement :



l'Ospedale 29 m (Gmb Bitum.) 1978

Codole (F) PVC 2 mm protection 15 cm béton, 29 m. 1984



Eau potable

Stockage d'eau brute pour alimentation en eau potable EPDM 1,5mm



Barrages en terre :



Barrage d'Aubrac (eau potable)
PVC 1,5 mm 1985 – protection enrochements

Stockage eau potable: bassins en terre étanché par géomembrane PVC +couverture flottante PVC armée Cargese - Corse



Le réservoir partiellement rempli

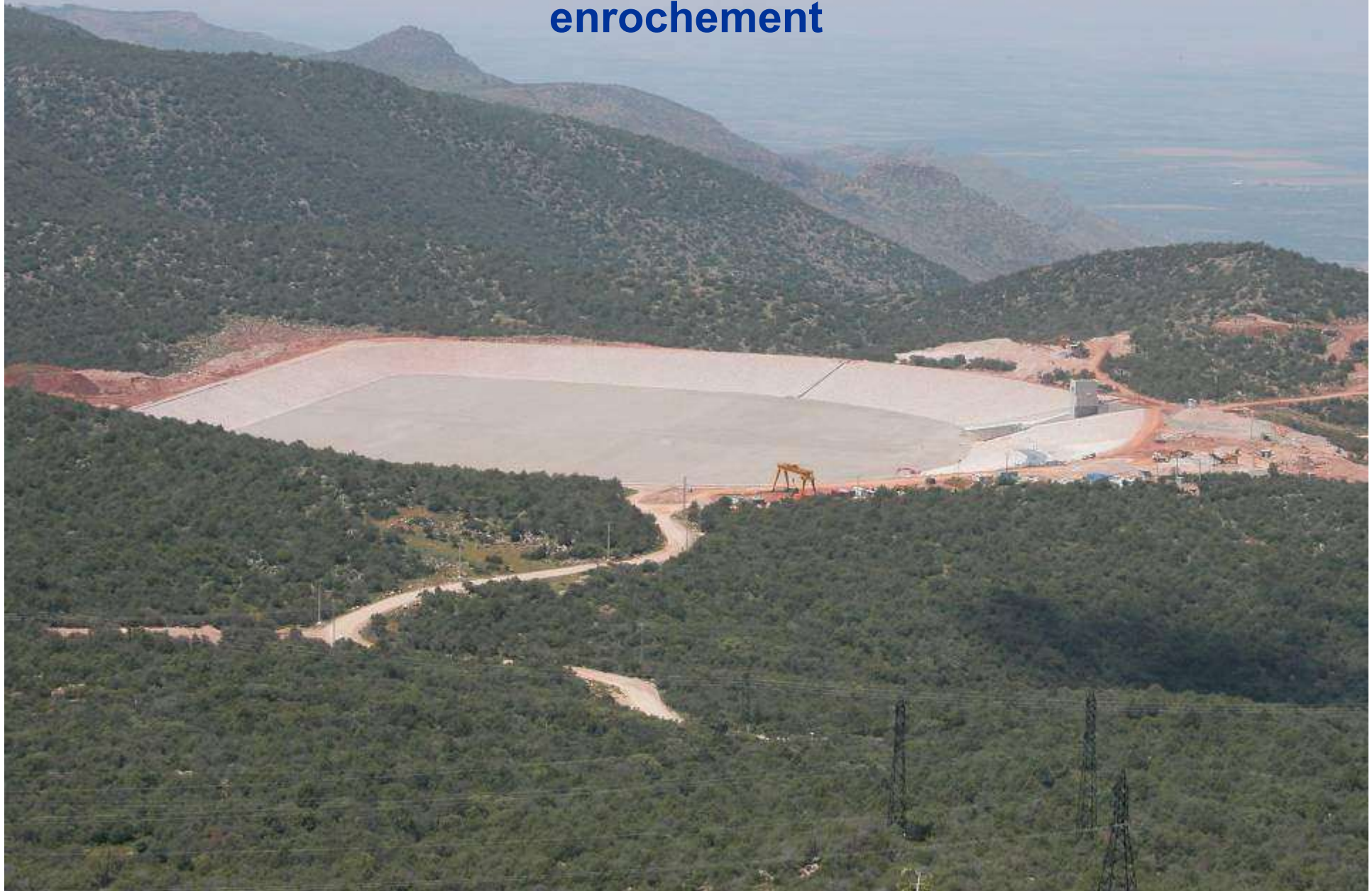


Aménagements hydroélectriques



**Barrages en terre : Tahiti – barrage AB 1983
PVC 1 mm non protégé**

**Station de Transfert d'énergie par pompage (STEP) D'AFOURER
180.000 m² (Maroc) PVC 1,5 m sous couche de transition et
enrochement**



Réparation de Barrages béton :

Lago Nero (1981) - PVC

**Réparation de barrages maçonnerie :
Barrage de l'Echâpre : PVC**

ation –Portugal -PVC

Réfection canaux



Hydroélectrique - Italie



08/03/2019

Canal Albert - mise en place sous l'eau

Rouleaux de PVC préfabriqués en largeur 20 m



Mise en œuvre

Mise en place de la géomembrane

- Rouleaux ou panneaux de grande taille
- soudure ou jonction
- ancrages
- lestage de chantier
- points singuliers :
 - raccordement aux ouvrages béton
 - traversées de canalisation

Préfa panneaux PVC ou EPDM



Préfa rouleaux PVC ou EPDM



Rouleaux préfabriqués PVC ou EPDM



Dériveurs (géotextiles, Géomembranes)



Rouleaux PEHD



Rouleaux bitumineux



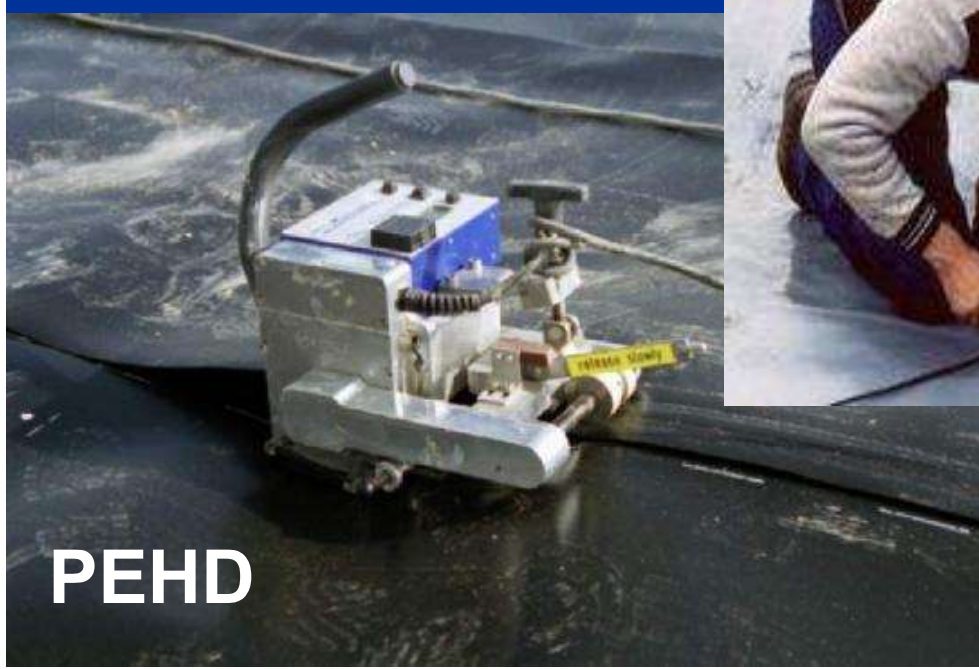
PVC

Soudure

Bitume



PVC,
PP



PEHD

thétique
draulico



Extrusion

Conception

Choix du site et géométrie de l'ouvrage

Choix du site

- ❖ **Caractéristiques géotechniques** : propres à la construction.
Donc pas de zone karstique, marécageuse, ou régulièrement noyée,
- ❖ **Géométrie** : elle doit permettre de réaliser un ouvrage conforme aux règles de l'art.
Site trop restreint → Pentes de talus excessives + crêtes de talus trop étroites + pente de fond nulle + largeur en crête trop faible
 - conception « boiteuse »
 - instabilité de l'ouvrage
 - difficultés de réalisation, d'entretien et de réparation de l'ouvrage, et généralement désordres graves de l'ouvrage,

Les conséquences d'un mauvais choix sont de la Responsabilité des MO et MOE!

Géométrie :

1. Largeur en crête :

≥ 6 m (3 m au-delà de l'emprise de l'ancrage)
pour réalisation ancrage, circulation engins de chantier et entretien

2. Pente des talus

La pente des talus doit assurer :

- ❖ la stabilité des talus
- ❖ Une mise en œuvre facile, ou au moins « non acrobatique »

Fasc. 11 : jamais plus raide que 2H/1V pour les ouvrages de faible hauteur.

3. Pente en fond de bassin

Une pente en fond de bassin permet d'assurer:

- un meilleur drainage des gaz
- Une vidange complète de l'ouvrage
- Facilite le nettoyage et l'entretien



Support

Support

- Non poinçonnant (compactage du sol en place ou matériau d'apport)
- Stable
- Complété par un drainage:
 - ◆ Drainage des fuites éventuelles (avec, si possible, contrôle des fuites)
 - ◆ Drainage des eaux en provenance du terrain environnant
 - ◆ Drainage des gaz

Risques de poinçonnement

Talus $\leq 1,5/1$ - Granulats instables

Ici ,Talus de 1,25 à 1,5/1

→ Granulats très instables.

+géotextile « 300 g/m² » économique
(sans autre spécification) →

+ PEHD 1,5 mm (trop rigide dans cette situation) = 1000 trous / Ha!



Bassins de montagne : Mêmes causes, mêmes effets!



Les membranes souples (PVC, PP-F, EPDM) Supportent mieux des supports irréguliers

Bassin irrigation - Azay -PVC 1mm 7 ans



Adéquation support / géotextile / caractéristiques des géomembranes

- Plus la géomembrane est rigide, moins elle supporte un support agressif.
 - ⇒ Critères plus stricts sur la granulométrie du support pour les géomembranes rigides.
 - ⇒ À agressivité égales, les caractéristiques du géotextiles seront plus élevées pour une géomembrane rigide.

Supports bassin de Cargèse 2008 - PVC



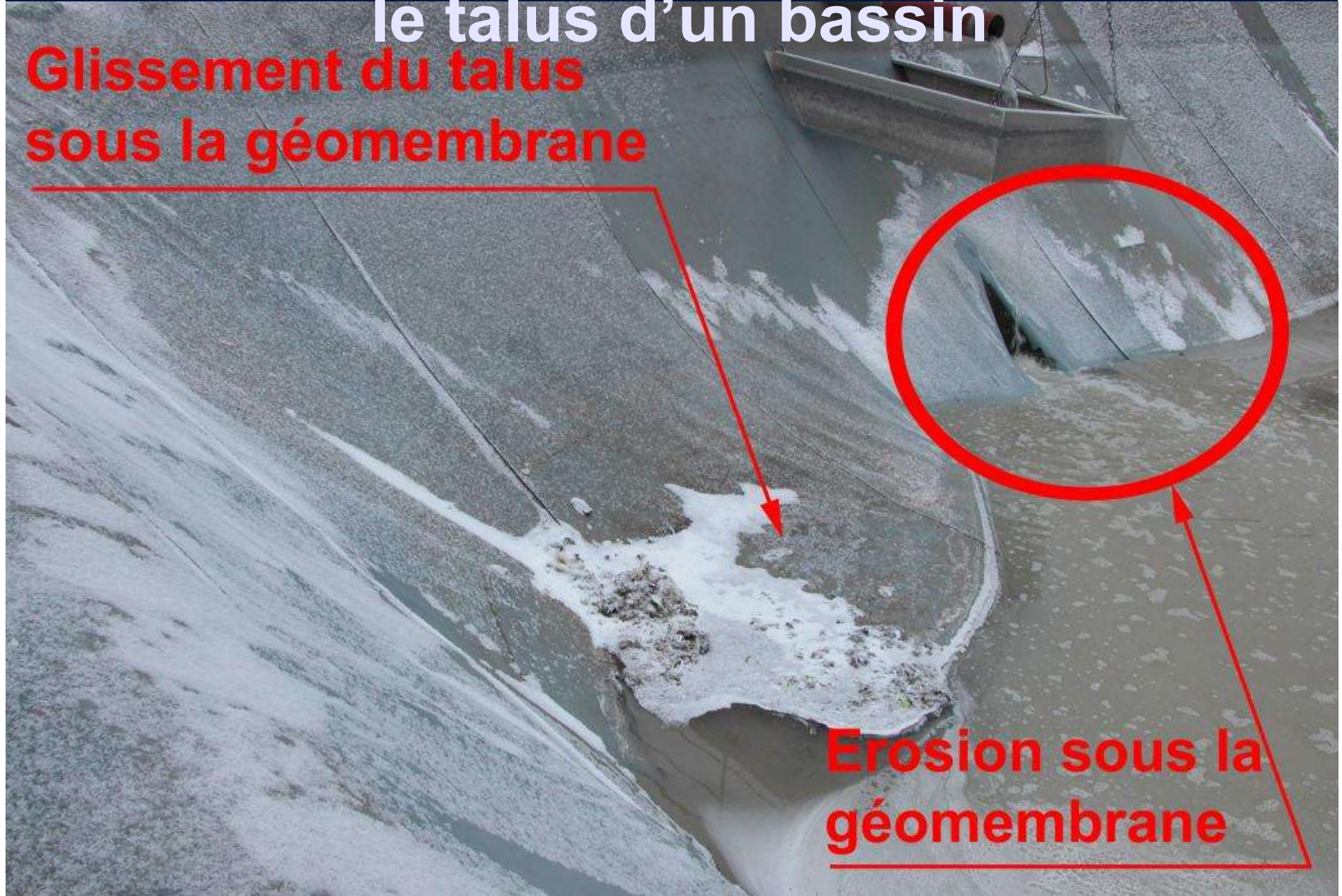
Préparation du support sous PEHD



Drainage Eau, et gaz!

Eau : Effet d'une nappe temporaire dans le talus d'un bassin

Glissement du talus sous la géomembrane



Erosion sous la géomembrane

Une situation banale et fréquente!

Pour des problèmes économiques ou de pente, les lagunages sont souvent placés le plus bas possible, près du point de rejet, voire semi enterré ou enterré.



On met le bassin à proximité du ruisseau (terrains moins chers) et on l'enterre

Canalisation ; pente faible

Le fond de bassin est sous la nappe

Le terrain est marécageux (formation de méthane)

Les bulles de gaz montent à la verticale



Idem pour un certain nombre de bassins

08/03/2019 routiers

Rencontres géosynthétiques 2019 -
Ouvrages hydrauliques

60

Gaz : Fond sous la nappe + M.O.+pente 0 =

La bulle!

→ Drainage

→ + pente



Ouvrage dans les « bas fonds » (suite)

- Dans ce cas, un ouvrage en béton ne serait pas une bonne solution non plus, car sauf fondations spéciales très onéreuses, il y aurait désorganisation de l'ouvrage et ouverture des joints par suite de tassement, tant général que différentiel.

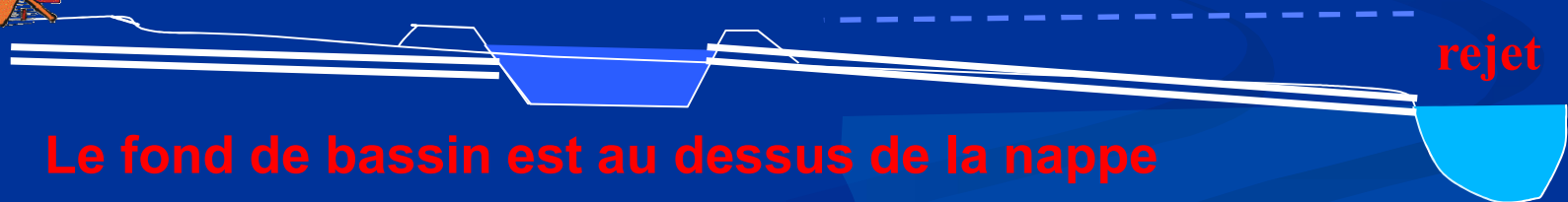
Les conceptions possibles pour échapper à cette inéluctable et triste destinée sont les suivantes:

Comment éviter ce destin?

Solution 1

→ 😊 Placer le bassin plus en amont, sur un terrain sain et avec la nappe phréatique en dessous du fond de bassin

- ☹
- Risque de problèmes de raccordement si habitations proches du rejet
 - Bassin plus proche des habitations (risque d'odeurs)
 - Terrain plus cher



Le fond de bassin est au dessus de la nappe

Le terrain est sain

Comment éviter ce destin?

Solution 2

→ 😊 Placer le bassin au point bas, mais en le surélevant pour que la nappe phréatique soit en dessous du fond de bassin

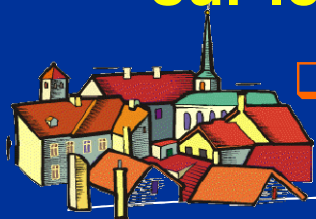
☹ • Une station de relevage peut être nécessaire



Solution 3 (si 1 ou 2 ne sont pas possibles, en particulier bassins routiers)

- Donner des pentes marquées au fond de bassin (3 à 5 % si possible). Le fond de bassin ne doit présenter aucune contre-pente. Si cela n'est pas garanti (en particulier cas de sol mous) prévoir une surcharge sur le fond de bassin en plus de la pente

- Le résultat n'est jamais garanti à 100 %



Canalisation (sans changement)

Fond de bassin toujours sous la nappe, mais avec de fortes pentes

A condition qu'il n'y ait pas de contre-pente!

Les bulles de gaz montent le long de la géomembrane



**Fond de bassin en pente, mais avec
des contre-pentes locales →
BULLES
(s'évacuent si on les pousse au-delà
du point haut)**

**Fond horizontal + 15 à 20 cm de lestage :
insuffisant → BULLES**



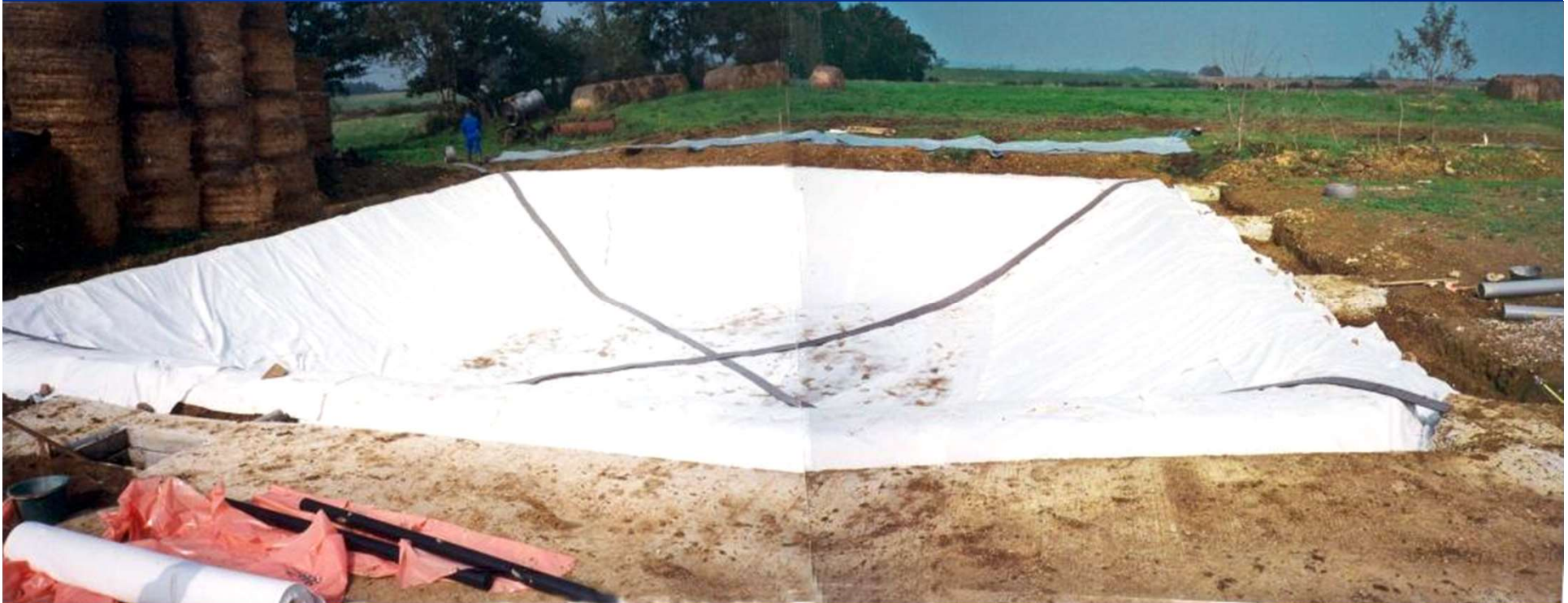
Barlovento – vue du drainage



Support/Drainage simplifié (petite fosse à lisier) Rectification pentes+ un drain en point bas



+ drainage gaz par bandes géosynthétique drainant



Raccordement aux ouvrages en béton

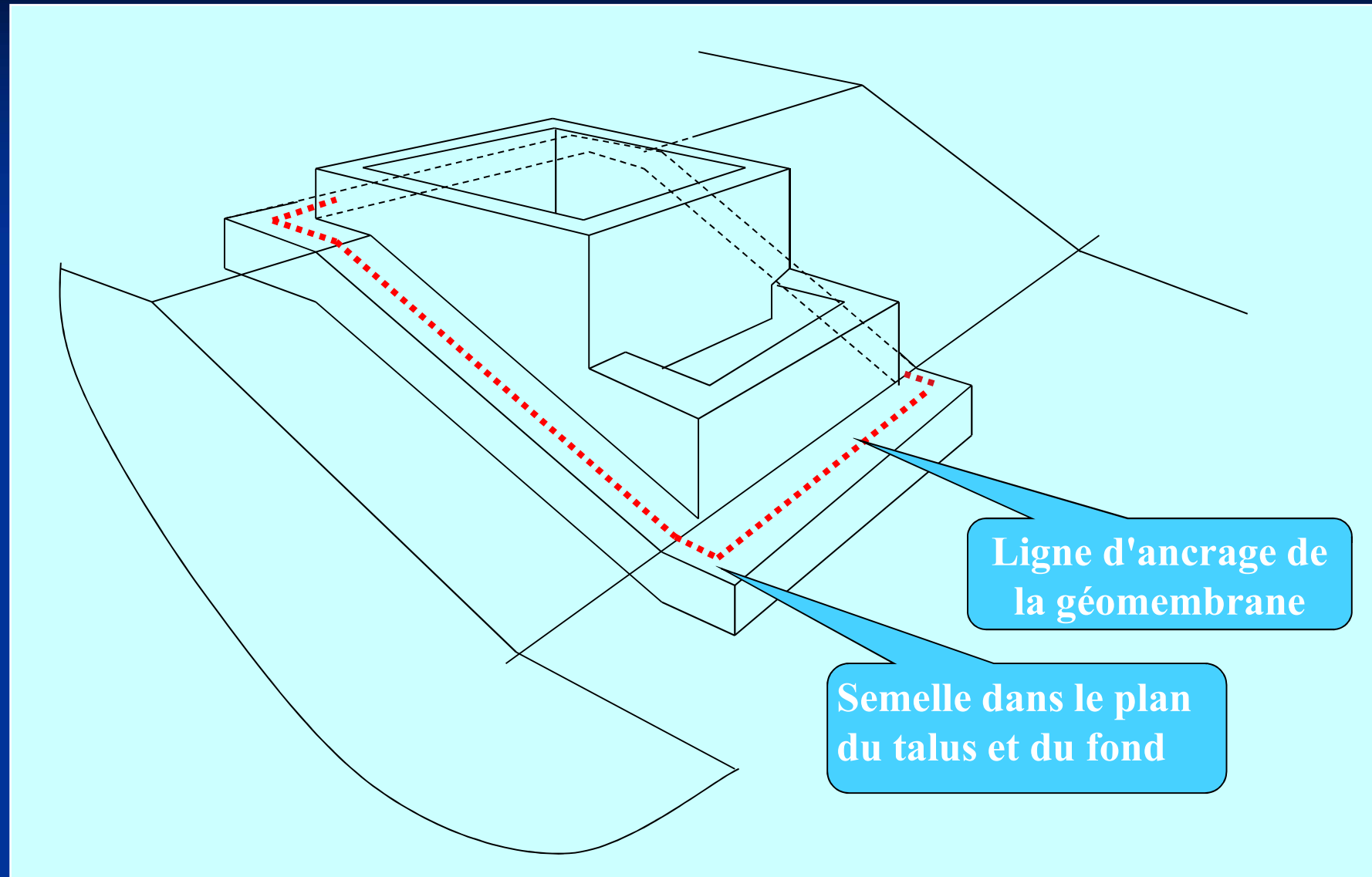
Raccordement aux ouvrages en béton

- Les formes des ouvrages en béton doivent être conçues pour permettre à la géomembrane d'être plaquées sur le support.
- L'état de surface du béton doit éviter toute infiltration à l'interface béton / joint / GMB. Si trop irrégulier, surfaçage résine
- Le dispositif d'ancrage doit appliquer une pression suffisante pour garantir l'étanchéité, en particulier pour les ancrages sous eau.
- Les plats d'ancrage et la boulonnerie ne doivent pas être sensibles à la corrosion.

Raccordement aux ouvrages : ici, dans les angles, la membrane est dans le vide!

Points critiques

Mettre les ancrages dans les plans du sol!





Ici, la membrane reste plaquée sur le support

Détail du raccordement



08/03/2019

Rencontres géosynthétiques 2019 -
Ouvrages hydrauliques

76

Action du vent

Action du vent

Rappel : Pression dynamique du vent : $p_0 = \rho \frac{V^2}{2} = \frac{V^2}{16,3}$

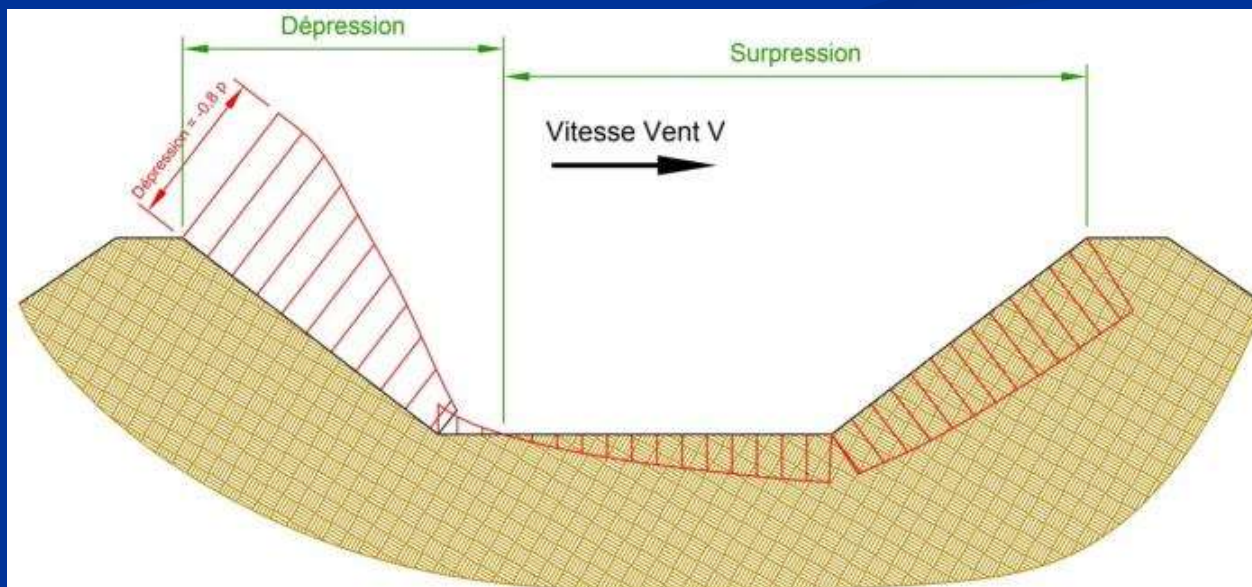
Avec V , vitesse du vent en m/s, ρ masse volumique de l'eau, et p_0 en daN/m²

Pression exercée sur la géomembrane : $p = p_a - \alpha \rho \frac{V^2}{2}$

p_a pression atmosphérique

α Coefficient de succion, fonction de la position sur talus ou fond, de la pente du talus, et de la dimensions du bassin. $\alpha \approx 0,85$ 0,75 en tête de talus, 0,66 sur le 1^{er} tiers supérieur (J.P. GIROUD 1995/2011)

Répartition des pressions dynamiques dues au vent dans un bassin (Dedrick)



Lestage en fonction de la vitesse du vent (NV65 rev.)

Valeurs « normale »: atteinte ou dépassée 3 jours sur 1000

Valeur «extrême»: plus grande valeur dans la vie de l'ouvrage

$$V_e = 1,75 V_n$$

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
Vitesse normale - km/h	103	112,7	126	137,9	159,2
Vitesse extrême	136,1	149,1	166,6	182,5	210,6
Pression dynamique normale (daN/m ²)	50	60	75	90	120
Pression dynamique extrême (daN/m²)	87,5	105	131	157,5	210
dépression en tête de talus - normale (daN/m ²)	40	48	60	72	96
dépression en tête de talus - extrême et surcharge uniformément répartie (daN/m ²)	70	84	104,8	126	168
Epaisseur nécessaire de gravier (valeur extrême) en cm	4,4	5,3	6,6	7,9	10,5
Poids linéaire d'un lest espacé de 5 m, (valeur extrême), en daN/m	350	420	524	630	840

Lestage pour tenue au vent

- Pour une protection efficace sur le long terme, nécessité de surcharges importantes, suivant les régions, entre 350 et 630 kg/m², (coefficient de sécurité non compris)
- La plupart des lestages linéaires par bandes de sac ou boudins remplis de sable sont insuffisants et n'assurent pas la protection pour les vitesses de vent prévues par la réglementation,
- Des ancrages peuvent remplacer le lestage et doivent être dimensionnés suivant les mêmes règles

Rupture totale de la géomembrane par le vent (réservoir de Molokai, 600 000 m²)



08/03/2019

Rencontres géosynthétiques 2019 -
Ouvrages hydrauliques

81

Bassins terminal Transmanche

Les lignes de lestage sautent «comme des crêpes» (à gauche) mais sont stabilisées par des événements (à droite)



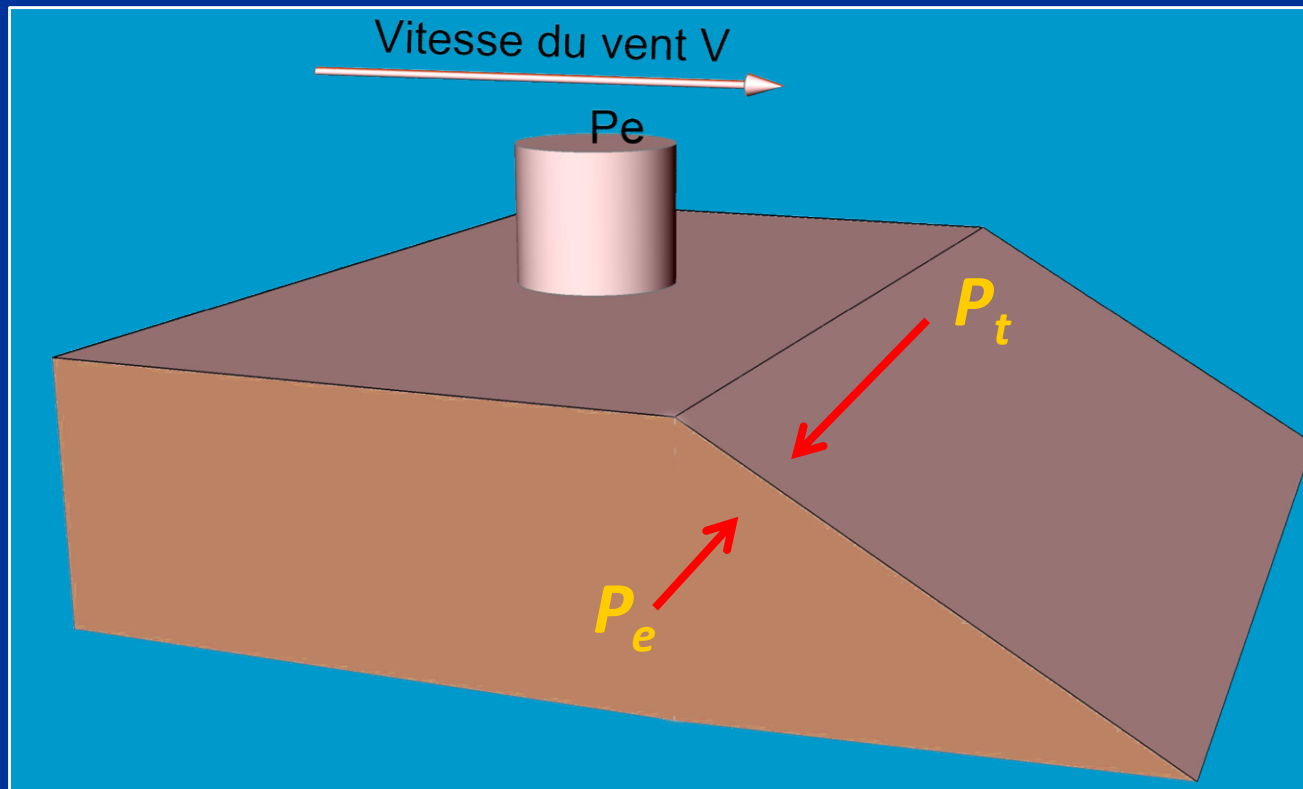
Fonctionnement d'un événement

P_a : Pression atmosphérique de l'air au repos ; P_e : pression dans et en dessous de l'évent ; P_t : pression en tête de talus

L'application du théorème de Bernoulli $P_a = P_e + \rho * V^2/2$, soit $P_e = P_a - \rho * V^2/2$

En tête de talus , $P_t = P_a - 0,8 * \rho * V^2/2$

Donc pression sur la GMB, P_t , supérieure à la pression P_e au dessous de la GMB (transmise par l'évent en connexion avec le réseau de drainage)



Fonctionnement d'un événement

- La mise en dépression de l'air sous la géomembrane exige qu'une quantité d'air suffisante soit aspiré par l'événement. Le diamètre de l'événement doit être ≥ 100 mm , et l'écartement compris entre 10 et 20 m, en fonction du drainage sous la GMB et de la macro-porosité du support. Les événements sont raccordé au système de drainage qui doit, lui aussi, limiter les pertes de charge.

Exemple d'évent (réservoir de Guazza)

À partir d'évent PEHD pour CSD, diamètre 100 à 200 mm (ici environ 110 mm)



- Si résine de l'évent différente de la géomembrane, utiliser un événement avec dispositif de serrage de la géomembrane.
- Espacement : 10 à 20 m
- Raccordé au réseau de drainage sous la géomembrane
- Supprimer les dispositifs antirongeurs si la réduction de section pour le passage de l'air est trop petite

Exemple : réservoir de Guazza, vent de 130 km/h



Exemple : réservoir de Guazza, vent de 130 km/h

Au vent



Sous le vent



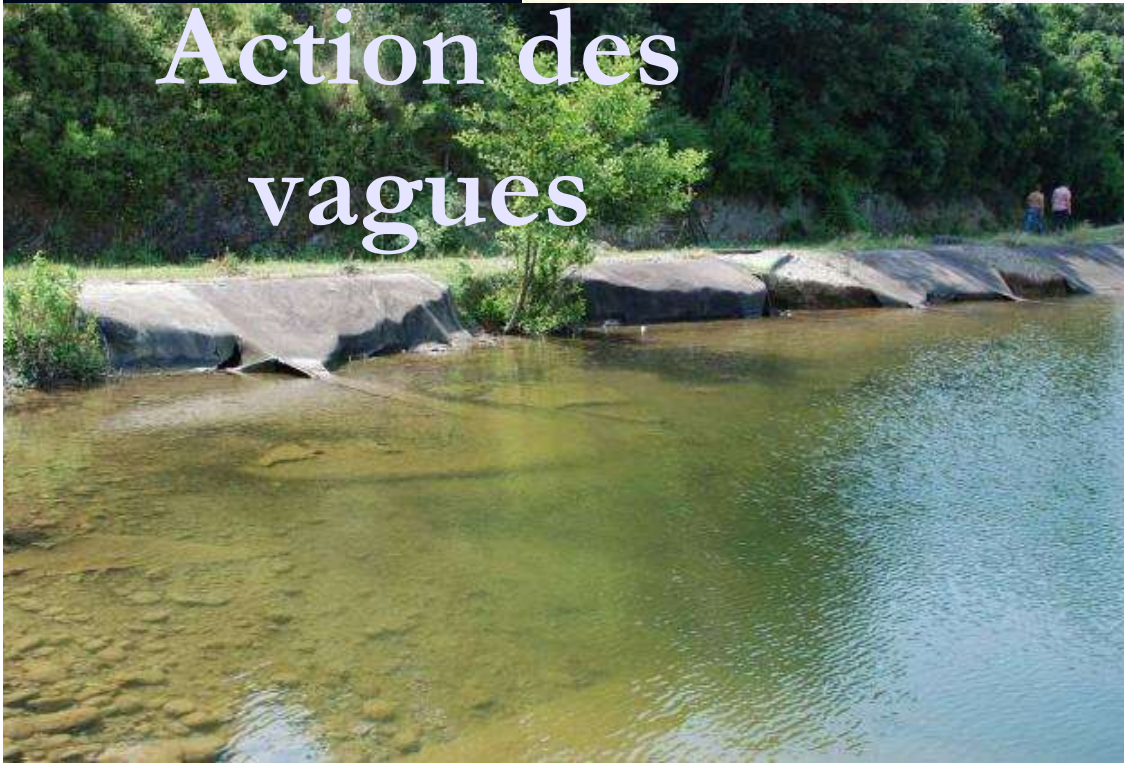
Protection

Protection

/ houle, vandalisme, trafic, UV

- Nécessaire dans le cas de grands bassins (>400m) pour résister à la houle:
 - ✱ soit protection granulaire ou béton
 - ✱ Soit traitement du sol support par liant hydraulique ou bitumineux
- La mise en place de la protection ne doit pas dégrader l'étanchéité (planches d'essais pour définir la procédure de mise en œuvre nécessaire)

Action des vagues



**Pour
longueur
sous le vent
 ≈ 400 m**



Rencontres géosynthétiques 2019 -
Ouvrages hydrauliques

08/03/2019

90

Planche d'essais pour mise en place d'une protection granulaire - Cf. guide CFG



Gabions



08/03/2019

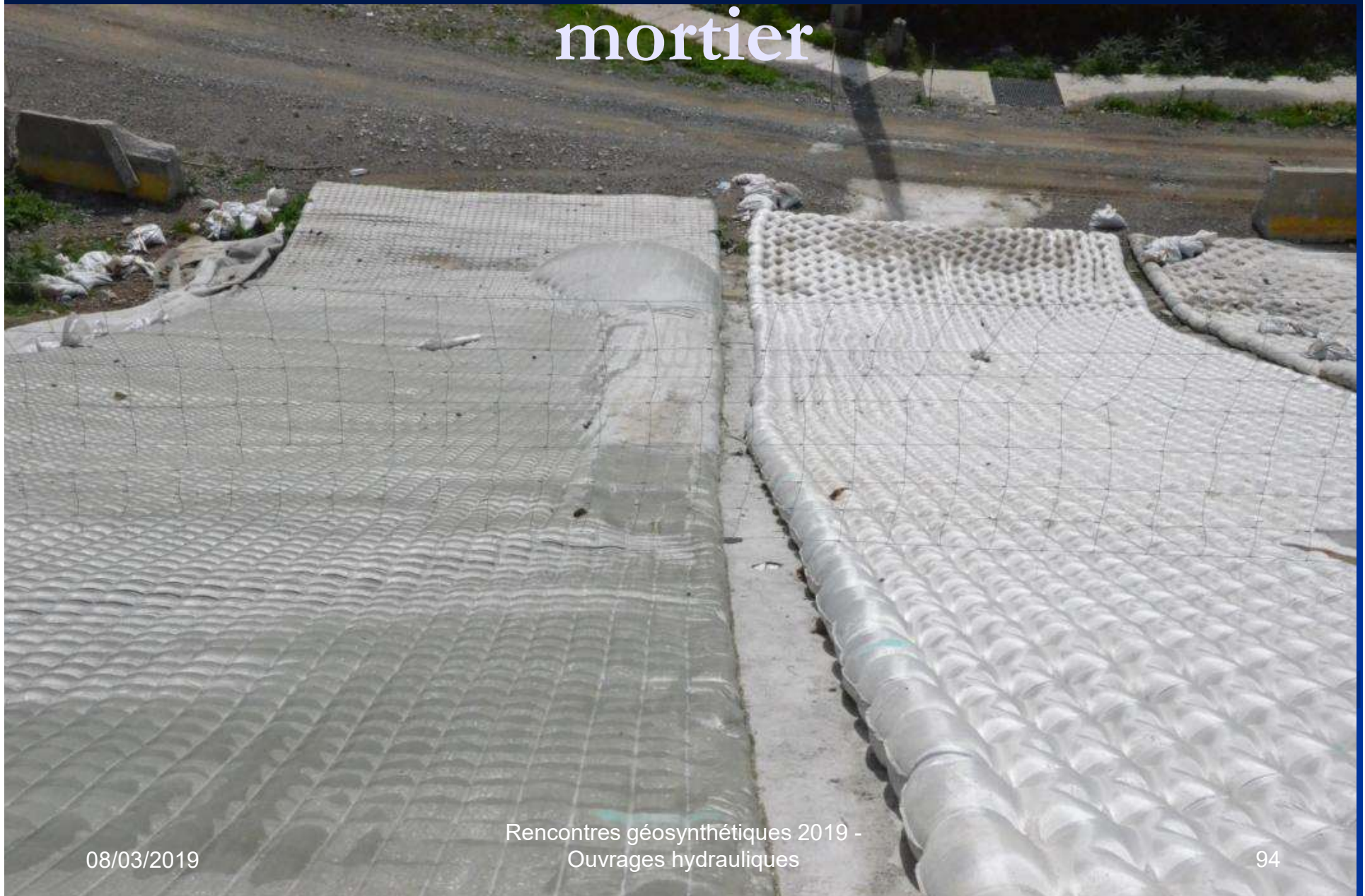
Rencontres géosynthétiques 2019 -
Ouvrages hydrauliques

92

Exemple de carapace (Y) :
structure géotextile remplie de
graviers



Protection par matelas remplis de mortier



08/03/2019

Rencontres géosynthétiques 2019 -
Ouvrages hydrauliques

94

Références bibliographiques

- Recommandations du CFG
- Guide SETRA LCPC : « Etanchéité par géomembranes des ouvrages pour les eaux de ruissellement routier - Guide technique »
- Retenues d'altitude (Quae)
- Définition, mise en œuvre et dimensionnement des géosynthétiques (Cahier détaché du Moniteur des Travaux Publics – disponible sur www.cfg.asso.fr)
- Mémento sur la conception et le prédimensionnement joint
- Fayoux D, Wind uplift of geomembranes - GeoAfrica 2017, Marakech, Maroc – 8 au 11 Octobre 2017

Mais il y a encore
bien d'autres applications !



Merci!

Parfois saugrenue!