

Préservation de l'eau en domaine skiable

- Retenue d'altitude paysagère -

Jean-Marc PYRÉ

- Responsable du pôle Maîtrise d'Œuvre à Dianeige : Pistes de ski / retenues d'altitude / neige de culture / courant faible / courant fort / génie civil
- Rapporteur montagne de la norme XPG 38-067



Qu'est ce qu'un masque paysager

Masque paysager = Apport d'une couche de matériaux peu épaisse ($0.30\text{m} < e < 0.50\text{m}$) sur une surface glissante et inclinée

Cette couche doit représenter un surcharge permanente $\leq 20 \text{ kN/m}^2$

En montagne, un masque paysager se charge de neige (= surcharge temporaire + surcharge accidentelle)

La surface glissante et inclinée s'appelle DEDG = Dispositif d'Étanchéité et de Drainage Général

- Conception d'un masque paysager = **conception très technique**



Fonctions d'un masque paysager (1)

Intérêts d'un masque paysager :

- Pérenniser la Gmb au regard des sollicitations de poinçonnement (glace, pierres, glace + pierre, vandalisme)
- Pérenniser la Gmb au regard des sollicitations ultra-violette
- Intégration visuelle
- Baignade

Prérequis pour intégrer un ouvrage = Des terrassements avec des formes très douces



Fonctions d'un masque paysager (2)



Snow design



2 grands types de masques paysagers

- Rampants entièrement confinés



- Rampants partiellement confinés



Masque entièrement enroché



Masque en enrochements jusqu'à la côte PHE et TV au-delà de la côte PHE

Coût d'un masque paysager

- Quantification précise difficile car l'investissement n'est pas linéaire. Il dépend :
 - De la forme de la retenue
 - De l'approvisionnement en matériaux nobles
 - + autres paramètres
- Retenir un surcoût de l'ordre de
 - **25 à 30%** pour un ouvrage **entièrement confiné**
 - **10 à 15%** pour un ouvrage **semi-confiné**

Par exemple, une retenue de 50 000 m³ coûtera :

- 1 500 000 € si la membrane reste à nu
- 1 650 000 à 1 725 000 € si elle est semi-confinée
- 1 875 000 à 1 950 000 € si elle est entièrement confinée

► Retenir que la création d'un masque représente un **coût d'investissement élevé**

Qu'est ce qu'un DEDG ?

- DEDG = Système d'étanchéité de la retenue , composé d'un sandwich de géosynthétiques
- Sa structuration varie d'un maître d'œuvre à l'autre, selon son expérience et son savoir-faire
- Construction d'une retenue en altitude \neq Construction d'une retenue en plaine



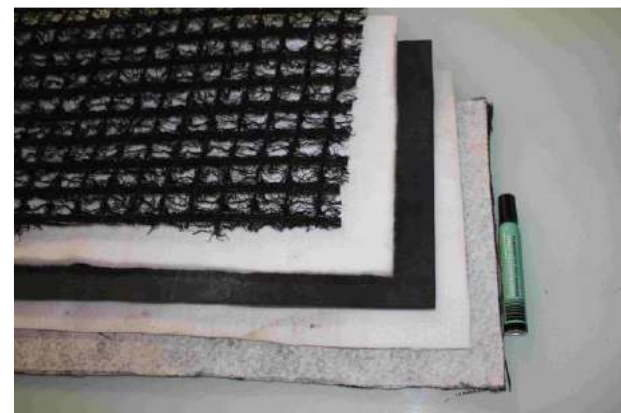
Structuration type d'un DEDG en montagne (1)

Du bas vers le haut :

- Couche support en 0-31.5mm permettant de fermer le terrassement
Cette couche doit être drainante
- Géocomposite drainant
- Géotextile antipoinçonnant > 1000-1200g/m²
- Géomembrane
- Géotextile antipoinçonnant > 1500g/m²
- Géocomposite de reprise d'effort



Absence de couche support

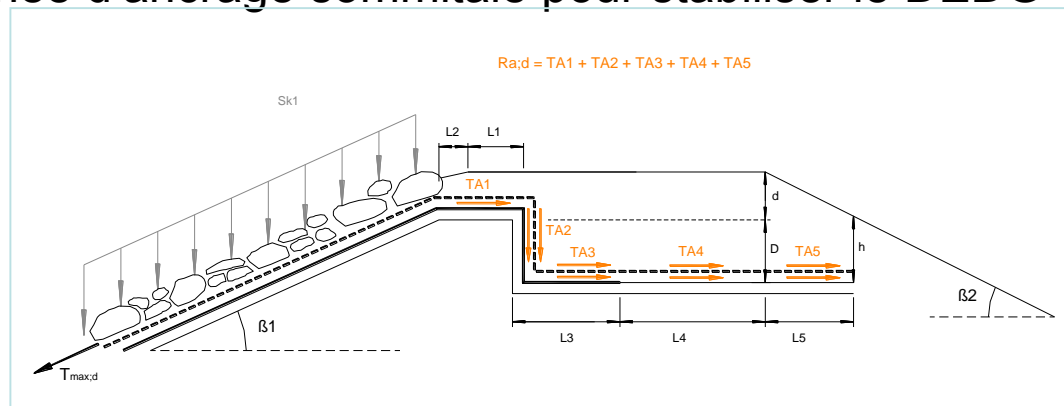


Structuration type d'un DEDG en montagne (2)

- Masque paysager :
 - Couche de transition 0-31.5mm
 $e = 0.10\text{m}$ à 0.15m
 - Enrochements antibatillages
 $e = 0.20$ à 0.50m
 - Terre végétale + toile coco 740 g/m^2



- Tranchée d'ancrage sommitale pour stabiliser le DEDG



Réglementation pour construire un masque paysagers (1)

Le dimensionnement d'un masque paysager répond à différentes normes et réglementations :

- **Eurocode 1** EN 1991-1-3 = Actions sur les structures
- **Eurocode 7** définissant les calculs aux Etats Limites Ultimes (ELU)
- **Norme XP G 38-067** = Stabilisation d'une couche de sol mince sur pente
- Norme NF P 94-270 = Ouvrages de soutènement et ses annexes



Réglementation pour construire un masque paysagers (2)

La norme XP G 38-067

Obligatoire depuis juillet 2010

Quelle est la signification du terme ELU ?

Les ELU signifient que le dimensionnement se fait à la rupture tout en affectant aux Actions et aux paramètres des facteurs partiels (coefficients de sécurité)

Pour les Gsy, la norme intègre également des coefficients de dimensionnement anticipant :

- Le fluage
- L'endommagement lors de la construction
- La dégradation liée aux UV et au PH de l'eau

Faut-il appliquer un coefficient de méthode / modèle ?

Non, le coefficient de méthode est pris égal à 1.00



Réglementation pour construire un masque paysagers (3)

Quels types de calculs doit-on faire ?

- Ouvrages classiques : **Calculs en combinaisons fondamentales** aux ELU
- Gros ouvrages ou ouvrages intéressant la sécurité publique : **Calculs en combinaisons fondamentales + calculs en combinaisons accidentelles** (plusieurs niveaux de sécurité)

Réglementation sismique

Un masque paysager n'est pas justifié au regard de sollicitations accidentelles sismiques

= Notion de réparabilité (ce qui reste à démontrer à moindre coût)

Calcul dynamique

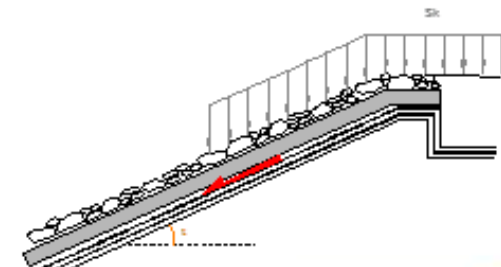
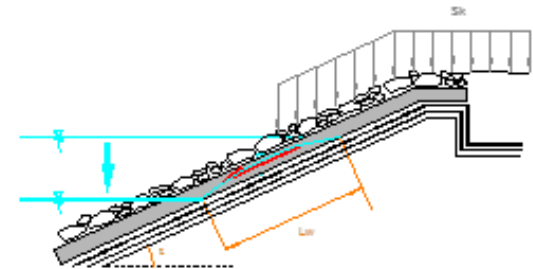
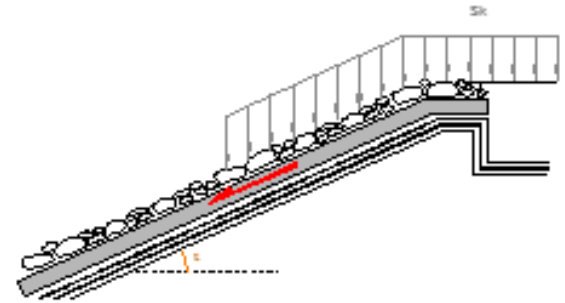
L'absence de réglementation sismique ne signifie pas que l'ouvrage ne doit pas être vérifié au regard des sollicitations dynamiques liées à la mise en œuvre des matériaux



Justifications à produire pour construire un masque paysager (1)

Dimensionnements statiques

- Stabilité interne de la couche 0-31.5mm sans surpression d'eau
- Stabilité interne de la couche 0-31.5mm avec baisse rapide du plan d'eau = avec surpression d'eau
- Stabilité de la couche de confinement selon un glissement d'interface sol / Gsy de reprise d'effort



Justifications à produire pour construire un masque paysager (2)



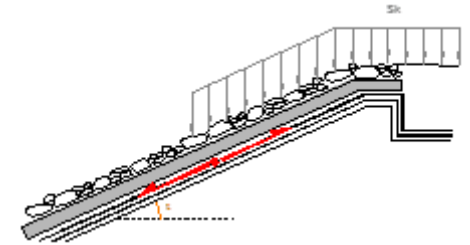
Exemple de glissement sol / Gsy



Justifications à produire pour construire un masque paysager (3)

Dimensionnements statiques

- Résistance en traction du Gsy de reprise d'effort
Gamme de Gsy disponible = 50 à 400 kN/m
- Résistance interne du Gsy de reprise d'effort
- Dimensionnement du diamètre des blocs antibatillages
Dépend :
 - de la longueur du plan d'eau
 - de sa profondeur
 - de la vitesse du vent
- Dimensionnement de la section des tranchées d'ancrage



Justifications à produire pour construire un masque paysager (4)

Dimensionnement dynamique

Efforts dynamiques générés par la circulation des engins de chantier sur le DEDG (attention ces efforts peuvent être très importants).



Mise en œuvre sans sollicitation dynamique

Snow design



Justifications à produire pour construire un masque paysager (5)



Mise en œuvre au bobcat avec sollicitations dynamiques



Mise en œuvre au bull D6 avec sollicitations dynamiques



Paramètres à prendre en considération

Les dimensionnements doivent prendre en compte les données d'entrée suivantes :

- Donnée 1 = La géométrie de l'ouvrage
- Donnée 2 = La durée d'utilisation attendue par le MO
- Donnée 3 = Les données géotechniques des matériaux en interaction
- Donnée 4 = Le frottement aux interfaces du DEDG
- Donnée 5 = Le cas de charge à appliquer sur le masque paysager



1ère donnée = Géométrie de l'ouvrage (1)

- En général, plus l'ouvrage est volumineux et plus ses rampants intérieurs sont longs.
Plus les rampants sont longs, plus il se développe des efforts de traction dans les Gsy
- En conséquence : Grande différence comportementale entre une retenue de 50 000m³ et une retenue de 100 000m³
- L'inclinaison des rampants intérieurs est le facteur clé



1ère donnée = Géométrie de l'ouvrage (2)

Rampants intérieurs	Interaction avec géotechnique	Gamme de Gsy	Section tranchée d'ancrage	Longueur maxi des rampants	Protection antibatillage
3/1	OK	OK	Très importante	45m	Pb
3/1 – berme – 2/1	OK	OK	Moyenne	35m + 30m	OK
2.5 /1	Risque de glissement d'interface	OK	Très importante	27.5m	Pb



2^{ème} donnée = La durée d'utilisation de l'ouvrage

- Le MO doit se positionner sur l'objectif attendu :

Catégorie d'ouvrage	Durée indicative d'utilisation du projet	Type d'ouvrage
1	10 ans	Ouvrages provisoires
2	25 ans	Éléments structuraux remplaçables
3	25 ans	Structures agricoles et similaires
4	50 ans	Structures courantes de génie civil
5	100 ans	Autres structures de génie civil, ponts

- Les Gsy doivent être dimensionnés avec une durée au fluage > 100 ans



3^{ème} donnée = Données géotechniques des matériaux en interaction avec les Gsy

- Identifications géotechniques des matériaux en interaction avec les Gsy = Souvent les grands oubliés du débat.

Et pourtant, ils conditionnent 50% des résultats !!!

- Gros progrès à faire sur ce sujet
- Attention aux risques de contentieux entre lots (terrassiers vs étancheur)



4^{ème} donnée = Frottements aux interfaces entre Gsy

- Les frottements aux interfaces dépendent du type de DEDG et de la nature des matériaux utilisés
- 2 techniques permettent de caractériser la résistance au cisaillement d'interface :
 - Plans inclinés
(en cours de réhabilitation en France)
 - Boite de Casagrande 300x300mm
- L'objectif final est d'identifier et de quantifier le plan de glissement le plus faible entre les Gsy



5^{ème} donnée = Cas de charge à appliquer sur le masque (1)

En montagne, c'est **la donnée** pour dimensionner un ouvrage

Et pourtant, dans la plupart des projets, cette donnée est totalement ignorée alors qu'elle peut représenter plus de 50% de la charge !

La charge correspond à 2 entités :

- Le **poids du confinement** (= charge permanente).
- Le **poids de la neige** (= charge variable + charge exceptionnelle)

Ces charges transmettent des efforts de traction dans les géocomposites



5ème donnée = Cas de charge à appliquer sur le masque (2)

- Ordre de grandeur du poids d'un confinement :
 - Masque simple (= non antibatillage) = 7 kPa
 - Masque antibatillage = 10 à 13 kPa
- Surcharge neige :

	Année	Altitudes	Cas de charge défini dans le CCTP	Remarque
Isola 2000	2005	2 170	0.65 kPa = 13 cm de neige	Ce cas de charge est aberrant
Métabief	2013	1 350	Pas de charge de neige définie	
Saint Léger-les-Mélèzes	2013	1 450	Pas de charge de neige définie	
La Clusaz	2013	1 420	Pas de charge de neige définie	
Le Lioran	2010	1 170	Pas de charge de neige définie	
Vars	2010	2 210	7.5 kPa = 2.15m de neige sur le rampant sup. 3.50 kPa = 0.90m de neige sur le rampant inf.	6 kPa si on applique l'Eurocode 1
L'Alpes d'Huez	2013	2 730	4 kPa = 1.00m de neige	Cas de charge impossible à de telles altitudes
Reprise en sous-cœuvre d'Isola 2000	2014	2 170	12 kPa = 3.00m de neige sur le rampant sup. 3.50 kPa = 0.90m de neige sur le rampant inf.	5.20 kPa si on applique l'Eurocode 1
Saint Sorlin d'Arves	2015	2 183	Pas de charge de neige définie	4 kPa en phase EXE



Accréditation Conformité Sanitaire = ACS (1)

- En France, il existe 6 Gmb accréditées ACS :
 - 2 PVC homogènes
 - 2 PP
 - 2 PVC armés
- Par contre, aucun des Gsy positionnés au-dessus de la Gmb ne sont accrédités ACS
- Pas de norme européenne : Accréditation allemande ≠ Accréditation française
- 2 laboratoires d'accréditation en France : Carso et Eurofins



Accréditation Conformité Sanitaire = ACS (2)

- Durée pour se faire accréditer = 8 mois minimum
- Renouvelable tous les 5 ans : simple formalité sur la nature du matériau Gsy au bout de 5 ans, puis procédure complète au bout de 10 ans
- Coût = 12 500 € / produit
- En valeur 2016, l'accréditation ACS n'a pas de réelle finalité. Ce n'est qu'un argument commercial né d'un applicateur français pour verrouiller le marché
- Par contre, toute la chaîne aval (SDM + réseaux + organes hydrauliques) permet à moindre coût d'accéder à la notion de potabilité



Accréditation Conformité Sanitaire = ACS (3)

- Limite du système actuel :
 - Accréditer ACS l'intégralité du sandwich DEDG
 - Désinfection des réseaux par chloration ou UV ou autre
 - Maintien en eau des réseaux neige
 - Stagnation d'eau dans les réserves avec développement d'algues
- La transformation des retenues en stock AEP est envisageable



Limites techniques des masques paysagers (1)

- Un «masque» masque également les fuites
Il faut donc l'associer avec un système de drainage compartimenté et efficace
En cas de problème avéré, les réparations sont très difficiles et il y a risque de perte de l'ouvrage
- **Très peu de masque** sont dimensionnés **antibatillages** :
 - Blocs trop petits
 - Fuseau granulométrique trop étendu
 - Epaisseur trop faible
 - Grandes difficultés de mise en œuvre des blocs

Conséquences :

- Phénomènes de reptation sous charge de neige
- Phénomènes de fatigue due aux vaguelettes
- Phénomène de fluage par développement de surpressions interstitielles



Limites techniques des masques paysagers (2)

- La mise en place de blocs antibatillages sur de très long rampants équipé d'un DEDG est techniquement très compliquée
- **Très peu de masques** sont dimensionnés au regard de la **charge effective de neige**
 - Problème de durabilité
 - Problème de contentieux
- Les masques construits sur des pentes à 2,5/1 (beaucoup d'ouvrages) sont sujets à instabilités
- La limitation de la pente à 3/1 augmente considérablement le coût des ouvrages et augmente le ratio du m³ stocké





Exemples de rendu été / hiver