

VÉGÉTALISATION DES TALUS PENTUS (Pente supérieure à 2 :1)

Avertissement

Ces fiches ont été réalisées dans le cadre d'un travail collaboratif conduit au démarrage du projet Nature4Cities. Elles ont été rédigées par des participants issus de différents pays européens. Dans un souci d'applicabilité à toute l'Europe certaines notions ont été généralisées. Il faut donc les considérer comme un cadre d'information à transposer et approfondir pour une application au contexte français. D'autres ressources techniques sont disponibles sur le [NBS Explorer](#) dans la rubrique "pour aller plus loin" de chaque SFN

I/ Description générale et caractérisation de l'entité de la SFN

I.1 Définition et différentes variantes existantes

Définition

Stabilisation de la structure des sols sur des talus escarpés grâce à la végétalisation afin de minimiser ou d'empêcher l'érosion du sol par le vent ou la pluie et les glissements de terrains, en évitant les problèmes de sédimentation



Mur de soutènement végétalisé sur talus, Dakota. Furbish 2013.

© United Themes.

Lorsque le talus est vraiment escarpé, la méthode de prévention de l'érosion et de stabilisation la plus commune consiste à retenir les talus grâce à la végétalisation.

L'instabilité des talus peut être d'origine naturelle et provenir des propriétés géotechniques du sol ou la conséquence d'activités humaines de déblai ou de remblai dans le cadre de travaux de construction.

Si le sol est perturbé par un site de construction ou si la couverture végétale est retirée, le taux d'érosion peut augmenter considérablement. Une planification et une utilisation appropriées des mesures d'atténuation et de prévention pour le contrôle de l'érosion peuvent réduire l'impact de l'érosion causée par l'homme.

Afin de stabiliser les talus escarpés, une méthode de soutien des sols est néanmoins nécessaire. Associée à une couverture végétale bien établie, il s'agit de l'une des méthodes les plus efficaces pour la réduction de l'érosion sur des talus instables dont la pente est supérieure à 2H:1V. La méthode de soutien maintient le sol tandis que la végétation protège les surfaces de l'érosion pluviale et peut contribuer à réduire les écoulements sur un sol perturbé.

En outre, les racines végétales maintiennent le sol en place et le protègent des inondations. Enfin, les arbres empêchent les vents forts d'éliminer la terre arable en servant de brise-vents.

La végétation doit être établie sur les talus dans les plus brefs délais une fois les travaux de construction terminés.

Dans l'environnement urbain, même si la boue, la poussière et le sable sont naturels, ils constituent des polluants dont il faut empêcher l'entrée dans les cours d'eau, y compris les systèmes de drainage des eaux pluviales, qui se déversent dans les ruisseaux, les cours d'eau, les rivières et les plages.

Il existe deux variantes principales pour la stabilisation des talus escarpés et de leur végétalisation :

- Les talus de sol renforcé (RSS) avec des systèmes d'isolement cellulaire (CCS)
- Les murs de soutènement de sol stabilisé mécaniquement (MSE) :
 - o Géocellule multicouche
 - o Blocs de béton
 - o Gabions

En général, les murs MSE se distinguent des talus de sol renforcé (RSS) par l'inclinaison de la surface :

- Les talus de sol renforcé ont une inclinaison de moins de 70 degrés par rapport à l'horizontale.
- Les murs MSE ont une inclinaison de plus de 70 degrés par rapport à l'horizontale. (7. TAC 2017)

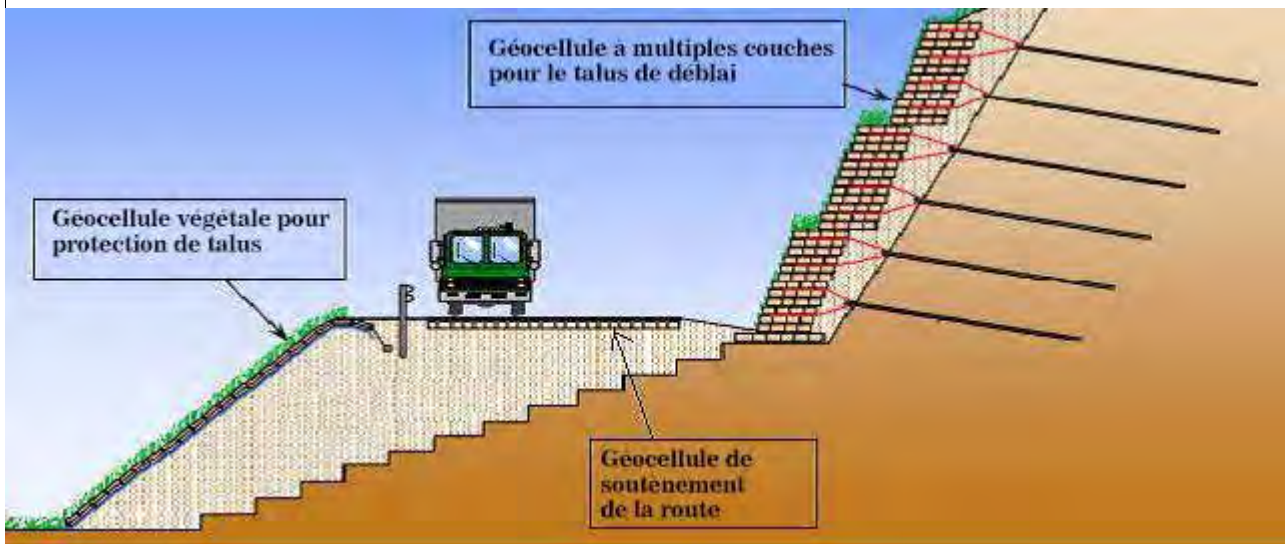


Schéma d'un mur de soutènement de la terre avec géocellule multicouche
© Geoweb

Différentes variantes existantes

=>Les talus de sol renforcé avec des systèmes d'isolement cellulaire (CCS) (également connus sous le nom de géocellules) et la végétalisation

Géocellule végétale pour protection de talus

La géocellule est un système d'isolement cellulaire interconnecté en nids d'abeilles. Elle est composée de polyéthylène renforcé ou d'un autre type de plastique et peut être écologique. Certaines géocellules sont fabriquées en plastique recyclé et sont recyclables à la fin de leur durée de vie.

« Des observations ont montré que les géocellules renforcent considérablement la capacité de charge des sols et réduisent le tassement de la structure géotechnique concernée. » (1)

Ce système d'isolement géocellulaire fournit une solution rentable pour le renforcement des déblais et des remblais, empêchant l'éboulement de la pente et l'érosion des sols.

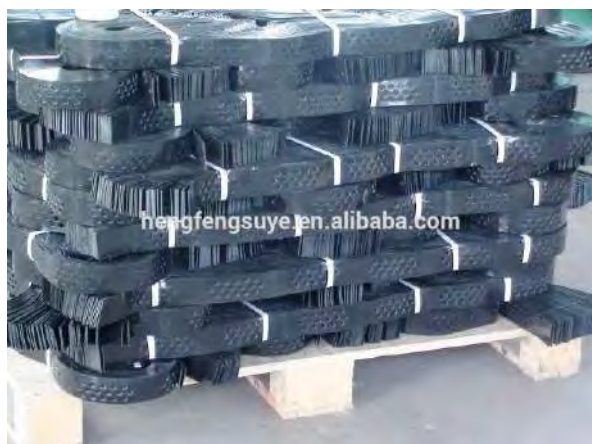
- La structure 3D renforce la couche du sous-sol et résiste aux conditions érosives et aux forces de glissements au-delà des limites des autres systèmes. Il s'agit d'une solution à long terme pour une végétation durable, la perméabilité des agrégats ou la protection de la géomembrane.

- Le système réduit les coûts et les exigences liés à l'espace en permettant une conception plus escarpée des talus par rapport à une situation de non-confinement.

Chaque cellule ouverte est également imprégnée d'alvéoles pour permettre de filer les racines en vrilles. La durée de vie du CCS dans le cadre de la protection des talus importe moins puisque la croissance de la végétation et l'enchevêtrement des racines stabilisent le sol.

Ces aspects permettent de garder un équilibre en cas de perte à long terme de l'isolement dans le CCS.

Les sections de la géocellule sont expédiées à plat. Lorsque vous ouvrez un panneau et révéléz sa structure 3D, elle ressemble à un nid d'abeilles. Une fois la géocellule installée, les cellules sont remplies de terre du sol. Lorsque le mur est entièrement couvert, il est ensemencé par voie hydraulique et végétalisé. « L'utilisation de la géocellule pour le contrôle de l'érosion élimine les techniques de construction onéreuses et complexes. La structure 3D des géocellules apporte une couverture de "cellules" à la surface du talus qui peut être remplie de plusieurs sortes de matériaux en fonction de l'utilisation. La résistance aux forces érosives, telles que l'écoulement des eaux de pluie ou les talus instables, en est renforcée. » (2)



Géocellules pliées pour le transport et le stockage
© Henfengsuye



Un talus couvert de géocellules et rempli de terre arable
© Terram geosynthetics



Un talus couvert de géocellules
© Alpha Pinnacle



Le même talus après croissance de la végétation
© Alpha Pinnacle

=> Mur de soutènement de sol stabilisé mécaniquement (MSE) (rétention de la terre), ou mur de soutènement végétal.

Le SME stabilise les talus instables et retient le sol sur les pentes escarpées. La surface du mur est souvent constituée de blocs, de panneaux ou de géocellules fragmentés et préfabriqués capables de tolérer certains mouvements différentiels. Les murs sont remplis de sol granulaire, avec ou sans renforcement, tout en retenant le sol de comblement. Ils sont essentiels à la surveillance de la construction et de l'érosion car ils portent des charges élevées et empêchent les talus de glisser, même s'ils ne sont parfois pas très agréables visuellement.

Néanmoins, les murs de soutènement végétaux remplissent leur rôle principal de prévention contre l'érosion et de soutien de charge tout en apportant un avantage esthétique à l'environnement.

Les murs renforcés utilisent des couches horizontales provenant généralement de parois cellulaires, de

murs de béton articulés ou de gabions. La masse du sol renforcé, avec la surface, forme le mur. Dans de nombreux types de MSE, chaque rangée préfabriquée fournit des cellules individuelles qui peuvent être remplies de terre arable et de végétation pour créer un mur vert.

▪ **Parois cellulaires**

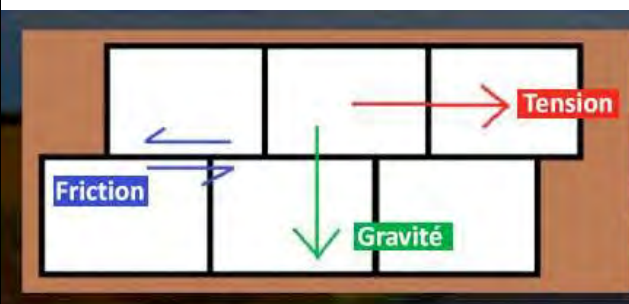
Les parois cellulaires contrôlent les flux d'écoulement résultant des pluies, en gardant l'ensemble du système intact. Le matériau de remplissage repose également dans des cellules individuelles remplies de sol, ce qui permet d'obtenir des angles plus pentus et favorise la végétation comme source supplémentaire de renforcement et valeur esthétique naturelle. L'efficacité globale du système est améliorée grâce à l'intégration des racines au grillage.

Les géocellules sont fabriquées dans différentes profondeurs et tailles. Parmi leurs avantages, figure leur facilité d'installation, sans aucun équipement ni aucune équipe spécialisée nécessaires.



Système de soutènement des talus par géocellule multicouches.
© GEOWEB

Forces de stabilisation : l'enchevêtrement des cellules apporte une tension et la surface de friction optimale entre les couches crée une résistance



Stabilisation des forces entre géocellules
© JANELLE KATHRYN.P.ONG.



Murs avec végétation naturelle
© GEOWEB

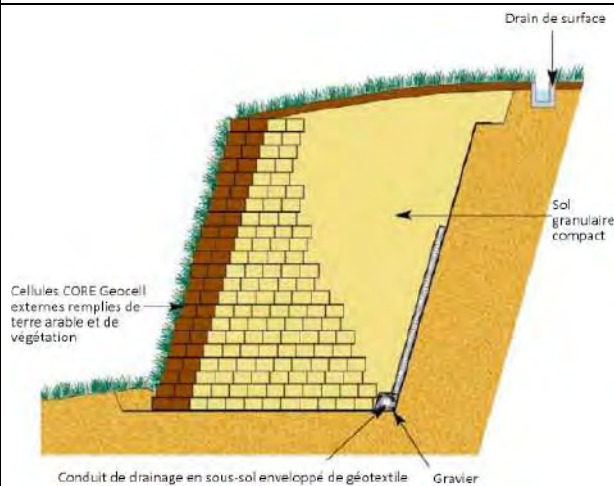


Schéma de construction d'un mur géocellulaire
© Aldi Helme Egland UNDERyourfeet

▪ **Blocs de béton articulés**

La surface du mur de soutènement est conçue par enchevêtrement de blocs fabriqués utilisés comme mur de surface relié à un renforcement mécanique (barres en acier rainurées ou métal lisse ou tissu géosynthétique ; linéaire, grilles ou nattes, etc.).

Le béton peut être végétalisé. Plusieurs fabricants produisent des blocs de béton fabriqués avec des poches qui peuvent être remplies de matériaux de croissance. Ensuite, les poches sont plantées. Toute la surface du mur sera couverte de végétation dès la croissance.



Mur en béton articulé
© Furbish.co



Mur de béton végétalisé
© Simpson Gumpertz & Heger



Un mur vert avant



...et après la croissance

Crédits photo : The Wall Company LLC

Érosion des sols et ensemencement par voie hydraulique (soilerosiononline.com)

▪ Gabions

Un gabion est généralement une cage, un cylindre ou une boîte rempli(e) de roches, de béton, parfois de sable et de sol pour utilisation dans l'ingénierie civile, la construction de routes, les systèmes militaires et l'aménagement des sols. Les gabions deviennent très populaires car ils sont empilés verticalement et ont l'air plus naturels que les blocs de béton.

Les gabions végétalisés remplissent toujours leur rôle principal de prévention contre l'érosion et de support de charge mais avec un avantage supplémentaire pour l'environnement : « au sommet, on peut y planter du jasmin ou d'autres types de plantes grimpantes. Ces plantes vont s'accrocher par-dessus le mur et se tresser sur ces cages (gabions). Le maillage (ouvertures) fait environ la même taille que celui du grillage torsadé, idéal pour les plantes grimpantes par "tissage" ».

Avantage des paniers de gabions :

- Leur porosité. S'il y a bien quelque chose que les murs de soutènement n'apprécient pas, c'est l'eau. Les gabions remplis de pierres cassées ou écrasées constituent des systèmes de drainage intégrés.
- Leur flexibilité. Face aux différentes forces de tension et de compression, la flexibilité inhérente d'une structure de gabion permet une déformation plutôt qu'une cassure.



© Dong Xue



© Fengxiang Hardware Limited

I.2 Enjeux urbains principaux et secondaires associés + impacts

<p>Principaux enjeux et sous-enjeux ciblés par la SfN</p>	<p>02 Gestion et qualité de l'eau urbaine > 02-1 Gestion des eaux urbaines 04 Biodiversité et espace urbain > 04-1 Biodiversité > 04-2 Développement et régénération de l'espace urbain > 04-3 Gestion de l'espace urbain 05 Gestion des sols > 05-1 Gestion et qualité des sols 10 Sécurité des personnes > 10.2 Contrôle des événements exceptionnels</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Contournement des problèmes de drainage du système des eaux pluviales en raison de l'accumulation de sédiments érodés - Talus végétalisés pour favoriser la croissance de plantes, fournir un habitat aux insectes et aux animaux et favoriser la biodiversité - Contournement des problèmes d'érosion liés au sol avec la stabilité du talus et la dispersion des sédiments - Un talus bien stabilisé permet d'éviter le risque de glissement de terrain et de dommages aux personnes et aux propriétés - Les méthodes de stabilisation des talus préservent l'intégrité de la structure du sol pour minimiser les impacts face à des orages plus violents ou des pluies plus fréquentes
<p>Co-bénéfices</p>	<p>01 Questions climatiques > 01-2 Adaptation au climat 07 Santé publique et bien-être > 07-2 Qualité de vie</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Créer un mur de végétation qui favorise l'adaptation au climat - Valeur esthétique : un talus érodé et mal géré est toujours disgracieux.
<p>Effets négatifs possibles</p>	<p>07 Santé publique et bien-être 04 Gestion de l'espace urbain</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pourrait devenir un abri pour les animaux indésirables et nocifs. - Les risques d'incendie sont plus élevés lors de la saison sèche, c'est pourquoi ces surfaces nécessitent une gestion. - Le talus végétalisé entraînent des coûts de gestion.

II/ Informations plus détaillées sur l'entité de la SfN

II.1 Description et implication à différentes échelles spatiales	
Échelle à laquelle la SfN est mise en œuvre	<p>L'entité</p> <ul style="list-style-type: none"> - Talus de déblai ou de remblai au niveau des travaux d'infrastructure - Conception de sites de construction et environs - Jardins privés - Rives
Échelles affectées	<ul style="list-style-type: none"> - Environs - Ligne de partage des eaux
II.2 Perspective temporelle (avec problèmes de gestion)	
Temps estimé avant que la SfN ne prenne entièrement effet après sa mise en œuvre	<p>Le mur est efficace contre l'érosion une fois sa construction terminée. Le développement de la végétation améliore son efficacité contre l'érosion Ce développement dépend des types de plantes sélectionnées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Herbe : environ trois mois - Arbustes : 1 à 2 ans - Arbres : 2 à 3 ans
Durée de vie	20 ans ou plus
Développement durable et cycle de vie	<ul style="list-style-type: none"> - Dans la plupart des cas, les plantes peuvent être composées ou recyclées. - Une géocellule peut être fabriquée en plastique recyclé et sont recyclables à la fin de leur durée de vie. Néanmoins, le polyéthylène ne se décompose pas naturellement. - Les blocs de béton peuvent être revalorisés une fois coupés à d'autres fins de construction. - À partir des gabions, les pierres peuvent être réutilisées et le métal est vendu et revalorisé pour réutilisation.
Aspects relatifs à la gestion (type d'interventions + intensité)	<ul style="list-style-type: none"> - Le contractant doit vérifier la stabilité de la structure générale, une fois les travaux terminés. - Quelques mois après la fin des travaux, la fonctionnalité de drainage et sa stabilité devront être vérifiées. - Révisions périodiques de la stabilité après des pluies fortes - Vérification du système d'irrigation une fois par an - 1 à 2 interventions de maintenance de la végétation par an
II.3 Intervenants impliqués	
Intervenants impliqués dans le processus de décision	<ul style="list-style-type: none"> - Propriétaires, copropriétaires de l'infrastructure - Éventuellement voisinage ou municipalité (en cas de parcelles municipales) - Propriétaires privés - Ingénieur géotechnique - Entrepreneur de cloisons
Intervenants techniques (6)	<ul style="list-style-type: none"> - le propriétaire et son représentant - l'ingénieur géotechnique - l'ingénieur civil - l'ingénieur structurel - l'entrepreneur général - l'entrepreneur de cloisons - le fabricant de cloisons - les paysagistes, ingénieurs ruraux - les entreprises spécialisées dans la gestion des espaces verts et les jardiniers.
Aspects sociaux	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibiliser les propriétaires privés à la nécessité d'une supervision du MSE par un technicien structurel ou spécialiste en géotechnique. - Les talus végétalisés impliquent un suivi plus poussé même s'ils sont plus agréables

II.4 Conception/techniques/stratégie

Connaissances et savoir-faire impliqués Ou points clés pour réussir	<ul style="list-style-type: none"> - Connaissances de la structure géotechnique - Suivi des paramètres de comblement du sol sur les dessins industriels (sans particules de terre fine) - Conditions de drainage, en évitant de saturer le sol qui retient l'eau - Responsabilité des contrôles de la stabilité - Choix d'une végétation adaptée : <ul style="list-style-type: none"> • au climat local • à l'exposition du talus • à l'accumulation des eaux de sols bas • au risque d'incendie • aux enjeux ciblés • à l'intensité du trafic (niveau de pollution atmosphérique) - Organisation de la maintenance en conservant les plantes dans de bonnes conditions. 			
Matériel impliqué	<p>Pour l'ensemble de la SfN décrite :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Machines lourdes - Équipe spécialisée <p>Matériaux spécifiques pour chaque SfN décrite :</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> Géocellule végétale <ul style="list-style-type: none"> - Matrice de géocellule - Tendons - Ancres - Conduite de drainage - Remplissage : terre arable et sol de remblai - Mélange de graines </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> Mur de soutènement végétalisé avec murs de béton <ul style="list-style-type: none"> - Blocs de béton - Conduites de drainage - Remplissage : terre arable et sol de remblai - Mélange de graines et de plantes </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> Mur de soutènement végétalisé avec gabions <ul style="list-style-type: none"> - Gabions - Remplissage : terre arable et sol de remblai - Mélange de plantes </td> </tr> </table>	Géocellule végétale <ul style="list-style-type: none"> - Matrice de géocellule - Tendons - Ancres - Conduite de drainage - Remplissage : terre arable et sol de remblai - Mélange de graines 	Mur de soutènement végétalisé avec murs de béton <ul style="list-style-type: none"> - Blocs de béton - Conduites de drainage - Remplissage : terre arable et sol de remblai - Mélange de graines et de plantes 	Mur de soutènement végétalisé avec gabions <ul style="list-style-type: none"> - Gabions - Remplissage : terre arable et sol de remblai - Mélange de plantes
Géocellule végétale <ul style="list-style-type: none"> - Matrice de géocellule - Tendons - Ancres - Conduite de drainage - Remplissage : terre arable et sol de remblai - Mélange de graines 	Mur de soutènement végétalisé avec murs de béton <ul style="list-style-type: none"> - Blocs de béton - Conduites de drainage - Remplissage : terre arable et sol de remblai - Mélange de graines et de plantes 	Mur de soutènement végétalisé avec gabions <ul style="list-style-type: none"> - Gabions - Remplissage : terre arable et sol de remblai - Mélange de plantes 		

II.5 Aspects légaux associés

Il est illégal de laisser pénétrer toute substance autre que les eaux de pluie dans le système des eaux pluviales. Le sol peut endommager le système de drainage des eaux pluviales et l'environnement.

II.6 Aspects économiques et financiers

Gamme de coûts	Géocellule végétalisée Alimentation et installation de la matrice de géocellule en m ² avec ancrage : <ul style="list-style-type: none"> - 18 mm : 15,25 €/m² - 20 mm : 17 €/m² - 10 mm : 10,51 €/m² Alimentation et installation Conduite de drainage 110 mm : 3,74 €/m ² <ul style="list-style-type: none"> - Remplissage : terre arable : 12 €/m³ - sol de remblai : 1,03 €/m³ - Mélange de graines : 1,66 €/m² 	Mur de soutènement végétalisé pour les murs de béton <ul style="list-style-type: none"> - mur de soutènement en m² avec blocs de béton : 73 €/m² - Alimentation et installation Conduite de drainage diamètre 110 mm : 3,74 €/m - Remplissage : terre arable : 12 €/m³ - sol de remblai : 1,03 €/m³ - Mélange de graines et de plantes : 17 €/m² 	Mur de soutènement végétalisé avec gabions <ul style="list-style-type: none"> - mur de soutènement en m³ avec gabions : 99€/m³ - Remplissage : terre arable : 12 €/m³ - sol de remblai : 1,03 €/m³ - Mélange de plantes grimpanes (<i>Hedera helix</i>, <i>Jasminum ssp</i>, <i>Solanum jasmioides</i>) : 15 €/m²
-----------------------	--	---	---

Origine du financement (public, privé, public/privé, autre)	<ul style="list-style-type: none"> - Propriétaire privé - Responsable d'infrastructure - Propriétaires de parcelles pour des entreprises privés. - Conseils municipaux
--	--

II.7 Associations possibles avec d'autres types de solutions (autres solutions écologiques ou conventionnelles)

Il est possible de trouver deux inclinaisons différentes de talus sur la même surface nécessitant différentes conceptions de solutions, en associant des solutions de contrôle de l'érosion spécifiques pour les talus hors limites ou les talus inférieurs à 2:1.

 <p>Techniques de mulch associées à des blocs de béton sur la même surface de talus © Furbish</p>	 <p>Mur de géocellules associé à un mat de fibres sur la même surface de talus © Furbish</p>
--	--

III/ Éléments clés et comparaison avec des alternatives

III.1 Facteurs de réussite et de limite

Facteurs de réussite	<p>Géocellules</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bonne préparation de la surface avec le retrait de toutes les irrégularités majeures - Si nécessaire (une pente supérieure à 10 %), réaliser des contrôles de drainage sur la pente ascendante pour limiter l'étendue de l'eau - Étendre les panneaux en bas du talus et non à travers le talus - Le maillage doit être bien ancré s'il est placé sur une surface concave ou sur des talus supérieurs à 10 % en utilisant des épingles à 2 m en bas du talus, - Remplir la géocellule mécaniquement ou manuellement de façon à ce que, une fois tassé, le remblai soit aligné sur la surface supérieure du panneau <p>Murs MSE (MSE = structures géotechniques)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analyser les contraintes - Choisir un lieu de renforcement et vérifier que la masse du sol et les contraintes de renforcement sont compatibles - Évaluer la stabilité à chaque niveau de renforcement - Vérifier la stabilité de la structure générale (externe, interne et combinée) <p>Sélection de plantes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Choisir des plantes indigènes afin de réduire la maintenance - Choisir des plantes tolérantes à la sécheresse dans des zones arides (en évitant les problèmes d'irrigation avec la stabilité du talus)
-----------------------------	--

<p>Facteurs de limite</p>	<p>Talus de sol</p> <ul style="list-style-type: none"> - Talus de sol inférieur à 70 degrés : Les talus de sol renforcé (RSS) avec des systèmes d'isolement cellulaire (CCS). - Talus de sol supérieur à 70 degrés : Les murs MSE ont une inclinaison de plus de 70 degrés par rapport à l'horizontale. (7. TAC 2017) <p>MSE</p> <p>L'eau doit être contrôlée de façon à ce que l'entrée dans le système d'eaux du MSE soit minimisée. Lorsqu'elle entre dans la masse de sol, elle doit être collectée et réorientée loin du mur.</p>
----------------------------------	--

III.2 Comparaison avec des alternatives

<p>Équivalent de solutions anciennes ou conventionnelles</p>	<p>Les murs de soutènement classiques peuvent être composés de palplanches métalliques ondulées, de paniers de gabions en acier remplis de roches, de blocs de ciment articulés, de pierres coupées, de briques ou même de geofoam, sans aucune végétation.</p>
---	---



Structure en briques
Béton © Allied



Gabions
© gabion1.com.au

<p>SfN similaire</p>	<p>=> Végétalisation des talus (inférieurs à 2:1)</p> <p>=> Structuration des sols</p>
-----------------------------	--

IV/ Références

IV.1 Références scientifiques et plus opérationnelles

1. Biswas, A. & Krishna, A.M. Int. J. of Geosynth and Ground Eng. (2017) 3: 17.
<https://doi.org/10.1007/s40891-017-0093-7>
2. Srinivas Angadi. (2017) "Role of geosynthetics in civil engineering" presentation
3. JANELLEKATHRYN.P.ONG. (2015). "Geocells". In the website: www.emaze.com/@ALWCTTIL
4. Catchment & Creeks Pty Ltd. (2010) "Cellular confinement system". Website of IECA International Erosion Control association.
5. The Transportation Association of Canada. 2017 "Mechanically Stabilized Earth Walls". In the website www.tac-atc.ca/sites/default/files/site/doc/Bookstore/mse-primer2017.pdf
6. Strohman, Bryan P. and DiFiore, Scott J. (2013) "Mechanically stabilized earth walls". In the website www.constructionspecifier.com

IV.2 Sources utilisées dans cette fiche de renseignements

- [http://furbishco.com/ SmartSlope: Vegetated Retaining Wall | Smart Design](http://furbishco.com/SmartSlope:VegetatedRetainingWall|SmartDesign)
- Erosion Prevention and Sediment Control Planning and Design Manual. Oregon City Addendum to Clackamas County. In the website www.clackamas.us/wes
- <http://soilerosiononline.com/article-permalink-426.html>
- <http://www.abg-geosynthetics.com/>

V/ Auteur(s)

Nom	Institution/entreprise	Rédacteur/Expert
Marta de Regoyos	Acciona Ingeniería	Rédacteur
Patrice Cannavo	Agrocampus Ouest	Expert
Ryad Bouzouidja	Agrocampus Ouest	Expert
Marjorie Musy	Cerema	Expert