

Limiter les risques de défaillances des ouvrages de génie végétal



INRAE



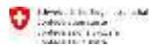
André Evette
LESSEM Grenoble

SOCIÉTÉ
QUÉBÉCOISE TECHNOLOGIE
DE **PHYTO**

Tester les ouvrages de génie végétal dans leurs limites d'utilisation



Génie Végétal en Rivière de Montagne



© A Matringe

© PA Frossard

© PA Frossard

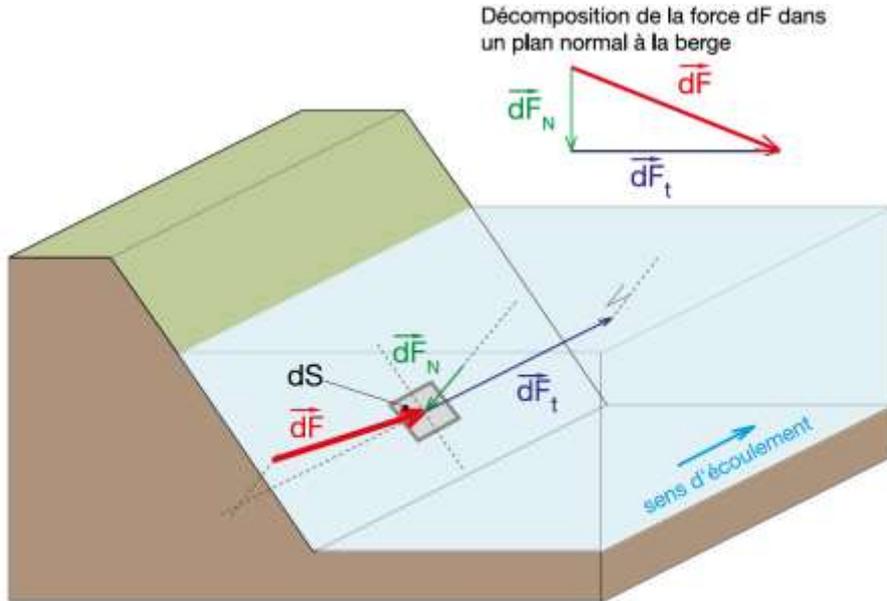
REX Alpes
France, Italie,
Autriche

Que dit Newton ?



Rubrique à Brac © Gottlib - Dargaud

Que dit Newton ? Approche « contrainte tractrice »



$$\tau = \rho \cdot g \cdot h \cdot i$$

τ = contrainte tractrice (N/m²)

ρ = masse volumique de l'eau (kg/m³)

g = accélération de pesanteur (m.s⁻²)

h = hauteur d'eau (m)

i = pente du cours d'eau (-)

dS : surface élémentaire de la berge

$d\vec{F}_N$: pression élémentaire exercée par l'eau sur la surface dS

$d\vec{F}_t$: force tractrice élémentaire exercée par l'eau sur la surface dS

$d\vec{F}$: force élémentaire exercée par l'eau sur la surface dS

Détails des efforts exercés par l'eau sur les parois d'un tronçon de rivière rectiligne.

① Récapitulatif des valeurs limites de contraintes tractrices en fonction de l'âge. Les nouvelles valeurs limites sont en gras et les valeurs de rupture d'ouvrage sont soulignées. Les chiffres entre parenthèse renvoient aux références d'où sont issues les valeurs. Les lettres renvoient au cours d'eau concerné.

Techniques	Contrainte tractrice [N/m²]			5 à 6 ans après la réalisation	7 à 8 ans après la réalisation	9 ans et plus après la réalisation
	Moins de 1 an après la réalisation	1 à 2 ans après la réalisation	3 à 4 ans après la réalisation			
Plantation d'hélophytes	5 ⁽⁶⁾		30 ⁽⁶⁾			
Ensemencement	20 ⁽²⁾	30 ⁽²⁾	100 ⁽⁶⁾			
Fascine d'hélophytes	30 ⁽⁶⁾	30 ⁽²⁾	60 ⁽⁶⁾			
Clayonnage et tressage	10 ⁽²⁾⁽⁶⁾	120 ⁽⁶⁾	120 ⁽¹⁾⁽³⁾⁽⁶⁾			
Bouture	75 ⁽⁷⁾	150 ⁽¹⁾	165 ⁽¹⁾			
Saule jeune (moins de 2 ans)	100 ⁽⁴⁾		140 ⁽⁷⁾			800 (20 ans) ⁽⁷⁾
Lit de plants et plançons jusqu'en pied de berge	108 ⁽⁶⁾	134 ⁽⁶⁾	150 ⁽⁶⁾			
Lit de plants et plançons avec fascine de saule en pied de berge	141 ⁽⁶⁾	172 ⁽⁶⁾	116 ⁽⁶⁾ (rupture fascine)			
Lit de plants et plançons avec enrochement en pied de berge	196 ⁽⁶⁾	204 ⁽⁶⁾	212 ⁽⁶⁾			77 ⁽⁶⁾
Fascine de saule en pied de berge	141 ⁽⁶⁾	240 ⁽⁶⁾	> 300 ⁽⁷⁾			98 ⁽⁶⁾
Couche de branches à rejets avec enrochement en pied de berge	244 ⁽⁶⁾	300 ⁽²⁾⁽⁷⁾⁽⁶⁾	450 ⁽²⁾	51 ⁽⁶⁾		
Caisson en bois végétalisé	500 ⁽²⁾	600 ⁽²⁾	600 ⁽²⁾	153 ⁽⁶⁾	109 ⁽⁶⁾	98 ⁽⁶⁾
Enrochement végétalisé	200 ⁽⁶⁾	300 ⁽²⁾	350 ⁽²⁾			
Enrochement nu	250 ⁽⁶⁾	250 ⁽⁶⁾	250 ⁽⁶⁾			

1 : (Faber, 2004) ; 2 : (Venti *et al.*, 2003) ; 3 : (Florineth, 1982, 1995) ; 4 : (Adam *et al.*, 2008) ; 5 : (Gerstgraser, 1998) ; 6 : (Witzig, 1970) ; 7 : (Lachat, 1994) ; 8 : (Schliechtl et Stern, 1996) ; 9 : (Gerstgraser, 2000).

a : Arve ; b : Avançon d'Anzeindaz ; c : Bens ; d : Dadon ; e : Gelon ; f : Guiers vif ; g : Néphaz ; h : Pamphiot ; i : Petite Gryonne ; j : Volane ; k : Isère.

Limite de l'approche « contrainte tractrice »

Forte incertitude, données indicatives

Typologie des ouvrages (enrochements...)

Variabilité des causes de rupture (erreur de conception, contournements, glissement, infiltrations, mortalité...)

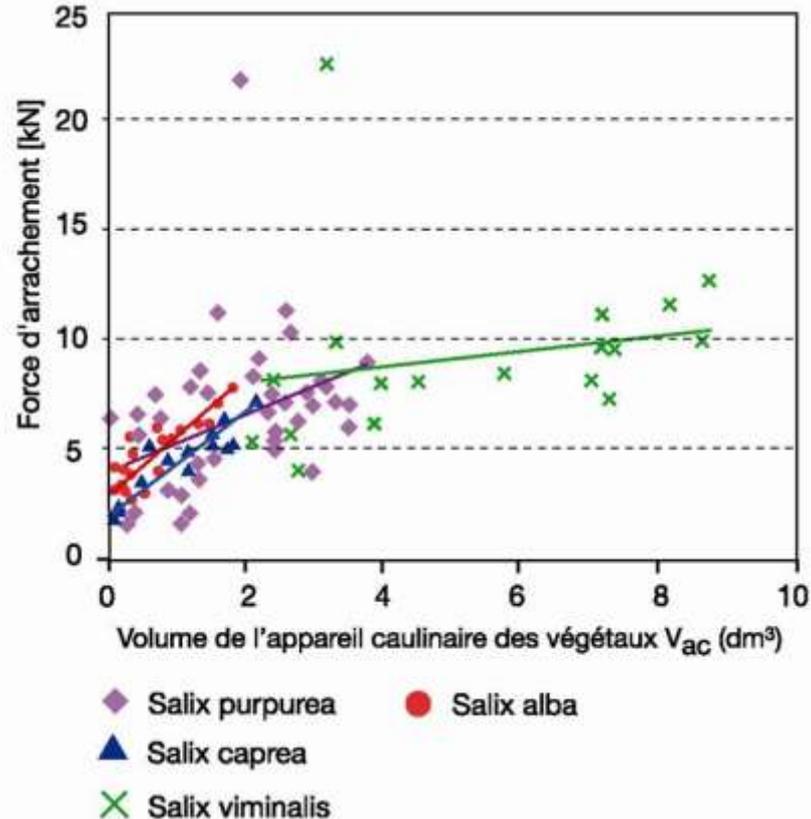
Pas une mesure exacte des contraintes réelles

Faiblesse du nombre d'échantillons



Résistance à l'arrachement

Résistance à l'arrachement de différentes tiges de saules de 3 ans (d'après Vollsinger et al, 2000, dans Florineth, 2007)



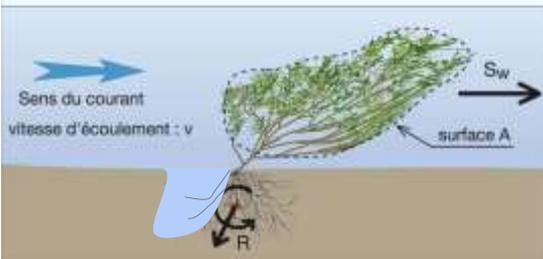
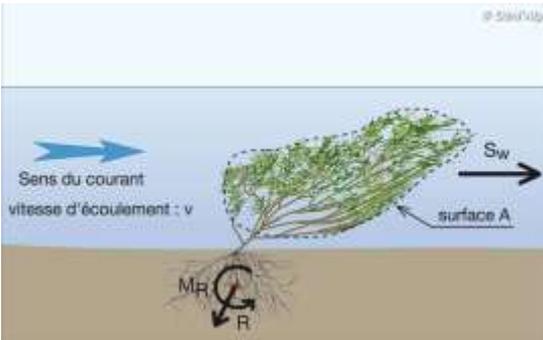
Résistance à l'arrachement

Résistance à l'arrachement de différentes tiges de saules de 3 ans (d'après Vollsinger et al, 2000, dans Florineth, 2007)

Les végétaux testés ont une résistance 5 à 10 fois supérieure à la force du courant exercée sur les parties aériennes

Un ouvrage de génie végétal ne cède pas à cause de l'arrachement par la force du courant sur la partie caulinare

Un ouvrage de génie végétal cède généralement par érosion interne du substrat en lien avec les parties racinaires des plantes



◆ Salix purpurea

▲ Salix caprea

✕ Salix viminalis

● Salix alba

✕ Force de traînée exercée par le courant pour $V = 4\text{m/s}$

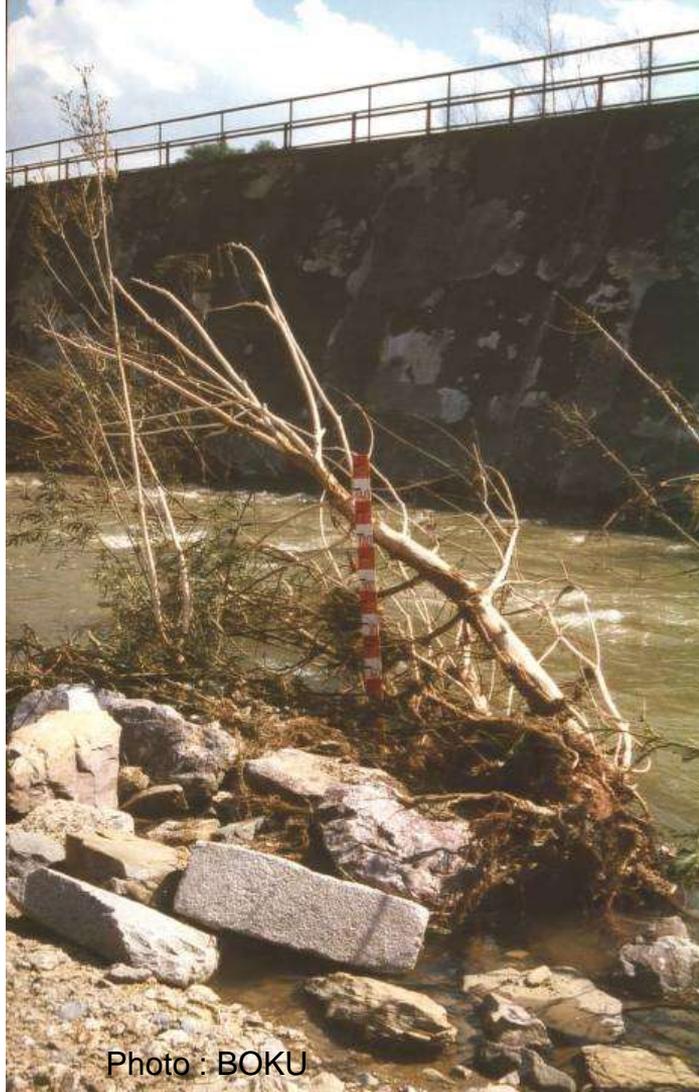


Photo : BOKU



Photo : BOKU

τ en N/m²

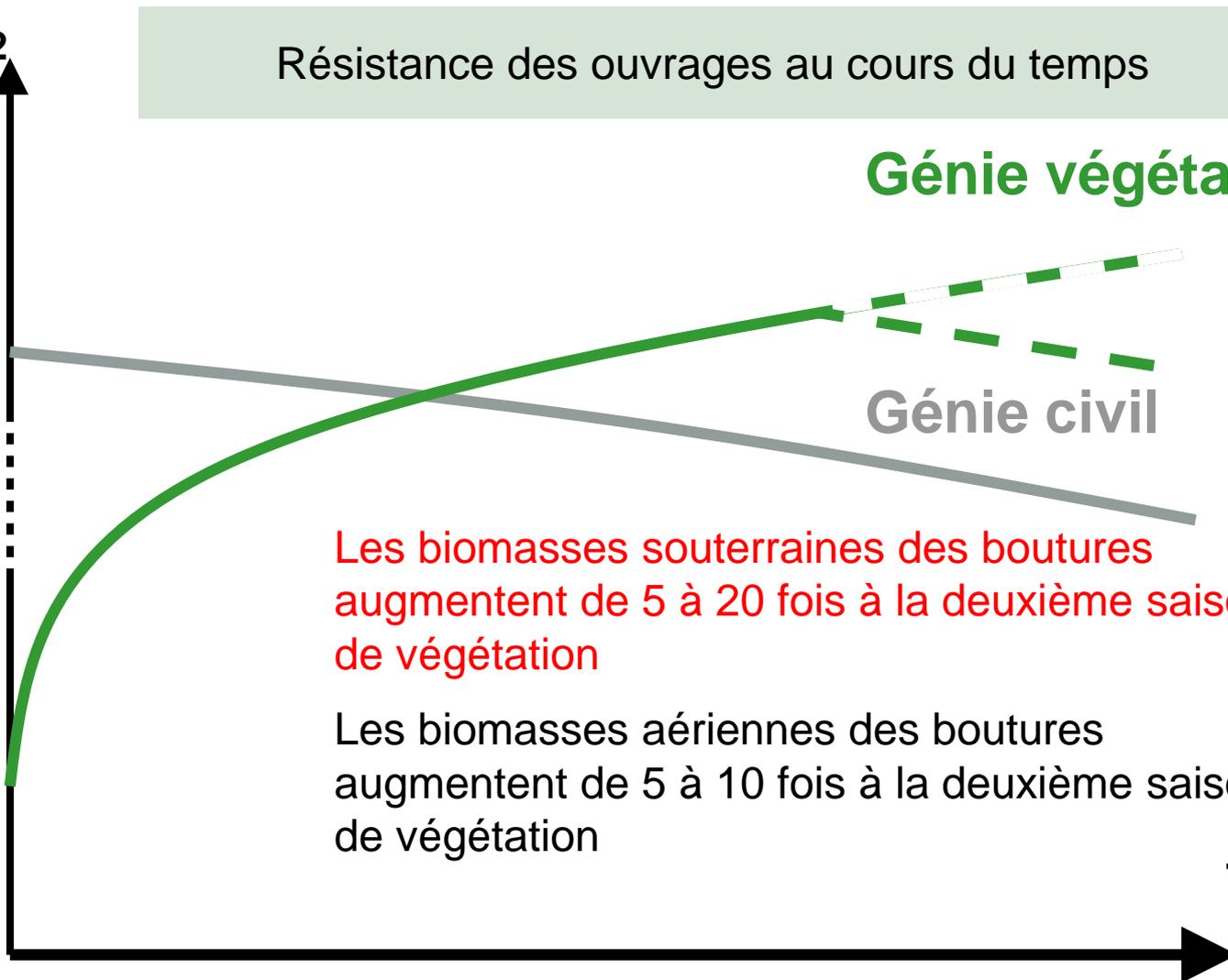
Résistance des ouvrages au cours du temps

Génie végétal**Génie civil**

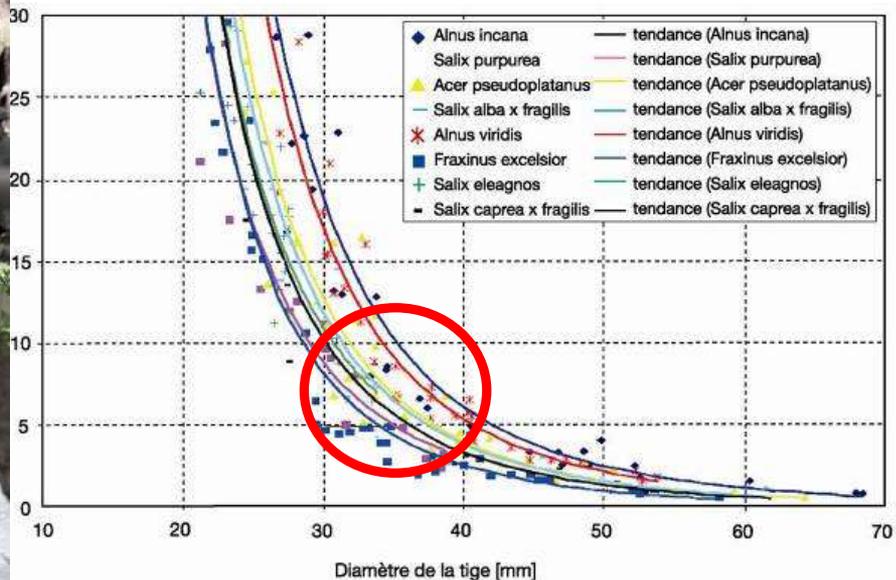
Les biomasses souterraines des boutures augmentent de 5 à 20 fois à la deuxième saison de végétation

Les biomasses aériennes des boutures augmentent de 5 à 10 fois à la deuxième saison de végétation

Temps



Flexibilité des ligneux

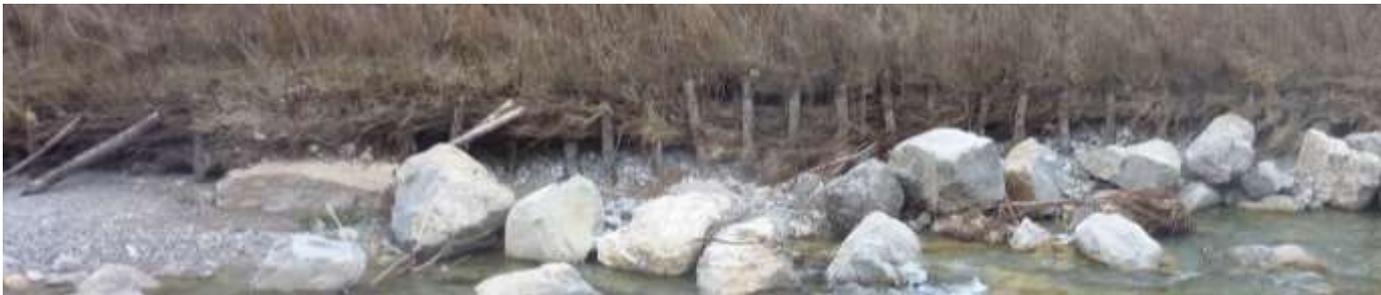


De 3 à 4 cm, perte de flexibilité

Changement de fonctionnement
turbulence

Conséquences pour l'entretien

Processus de défaillance des fascines

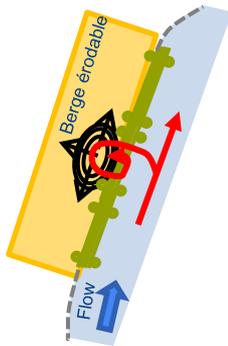


Fascine en ruine

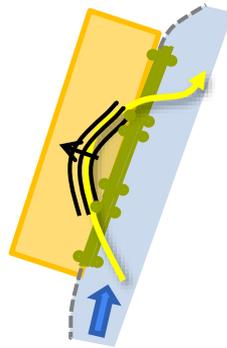
L'érosion du lit s'est produite lors d'une crue de période de retour de 10 ans, déplaçant l'enrochement de pied de la fascine et permettant l'affouillement de la fascine.



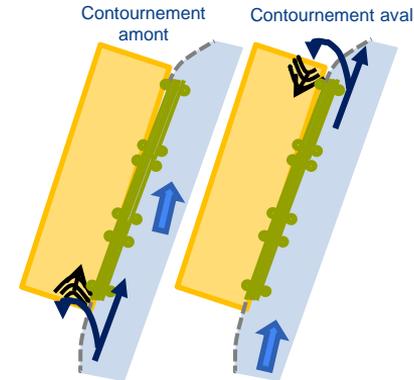
Identification de 4 principaux types de défaillance (Recking et al 2019)



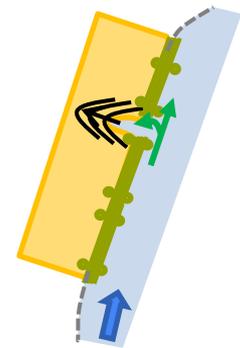
**1. Erosion
basale**



**2. Erosion de
surface**

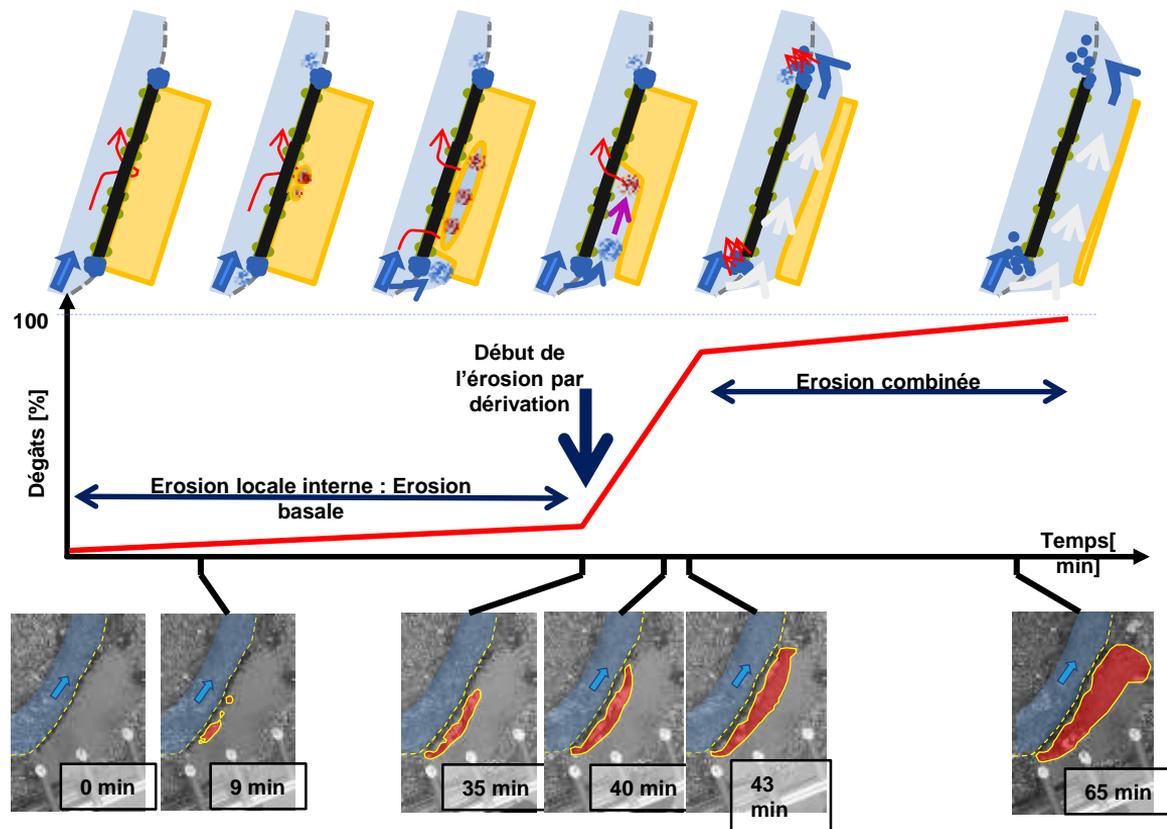


**3. Contournement
de fascine**



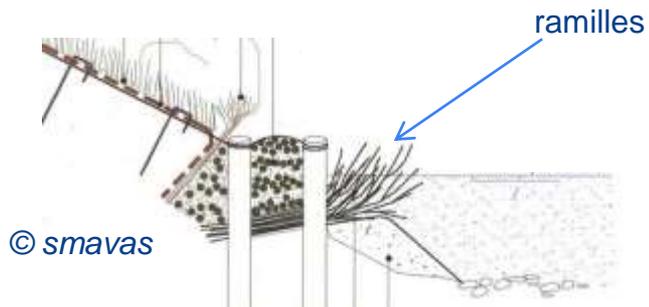
**4. Discontinuité
de fascine**

Le plus destructif = combinaison des types de défaillance

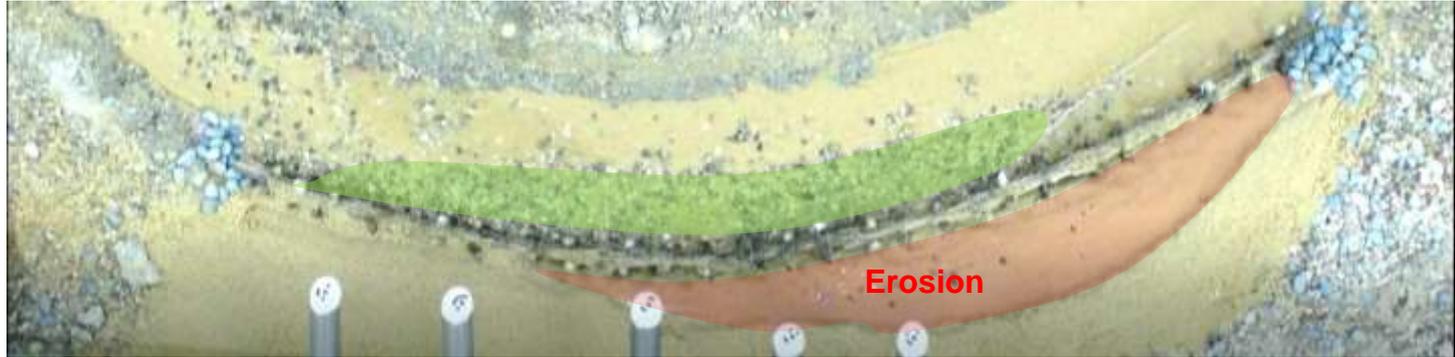


Mesures pour limiter l'affouillement

L'ajout de ramilles sous les fascines réduit l'affouillement



Fin de l'essai sans ramilles anti-affouillement



Fin de l'essai avec ramilles anti-affouillement

Aperçu des processus de dégradation et des causes de 223 ouvrages de génie végétal pour la protection des berges de rivières



Processus et causes de défaillance du génie végétal pour la stabilisation des berges de rivière : retour d'expérience sur un large jeu de données issues de la BD GeniVeg

Why and how do soil bioengineering structures for river bank stabilization fail? Feedback on a large dataset from the GeniVeg database

Selange Leblais ^{1*}, André Evette ², Delphine Jaymond ², Guillaume Piton ¹, Alain Becking ¹

¹Université Grenoble Alpes, INRIA, LERIMA, 2 rue de la papeterie BP 76, 38002 Saint-Martin d'Ètretz, France

²Université Grenoble Alpes, INRIA, ITNIA, 2 rue de la papeterie BP 76, 38002 Saint-Martin d'Ètretz, France

RÉSUMÉ

Le génie végétal en rivière tire profit des propriétés des végétaux pour la stabilisation et la protection des berges, en les intégrant dans des ouvrages d'ingénierie reproduisant des structures naturelles fonctionnelles. L'efficacité croissante de ces techniques est limitée par un nombre encore restreint de sites observés. L'étude d'ouvrages défaillants à travers l'observation de mécanismes de rupture et leurs causes permet de cibler les points de débâcle structurellement et ainsi d'élaborer des recommandations visant à prévenir l'apparition de ces défaillances et d'optimiser conception et mise en œuvre. L'analyse de 223 ouvrages défaillants, comprenant 269 techniques ainsi qu'un inventaire à partir de recueils de 424 observations de défaillances. Les hypothèses observées sont : une mauvaise reprise de la végétation, une déstructuration totale ou partielle de l'ouvrage et des érosions en pied, à l'arrière ou aux extrémités de l'ouvrage et autour de poteaux durs. Les principales causes de mauvaise reprise de la végétation sont l'orientation, l'attachement de la végétation, l'absence de contact avec le substrat et la concurrence avec espèces. Les érosions en pied de berge sont les plus observées suivies par les érosions à l'arrière de l'ouvrage. La conception de nouvelles érosions pourrait être évitée à la destruction de l'ouvrage, surtout ces dernières de la conception ou reprendre les ouvrages lors de prochaines tranches d'entretien devrait limiter les destructions complètes. De plus, contrôler les érosions permet le maintien du substrat nécessaire à la reprise de la végétation. Les causes de mauvaise reprise de la végétation et les défaillances mécaniques rappellent l'importance d'un suivi et d'évaluations après de l'ouvrage les premières années qui suivent sa construction.

Mots-clés : berge, défaillance d'ouvrage, érosion, génie végétal, restauration.

Mauvaise reprise de la végétation

- Ennoyage – 27 %.



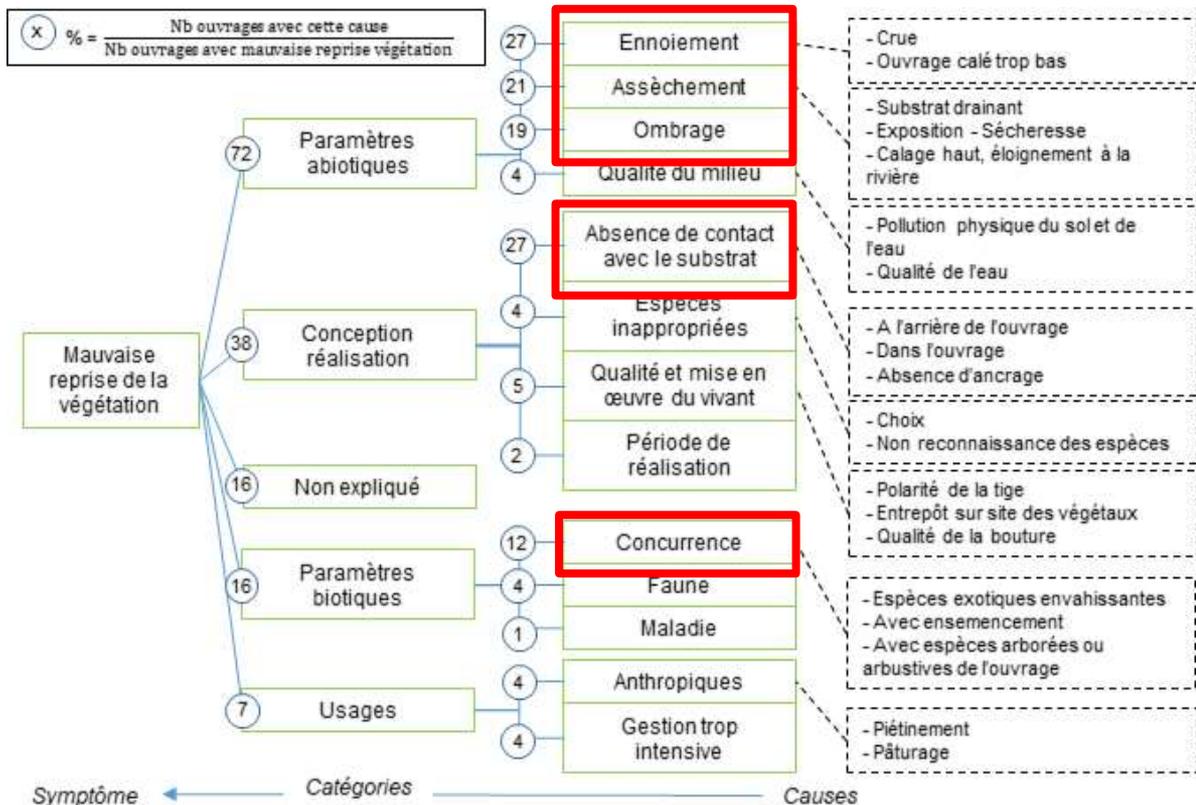
Mauvaise reprise de la végétation

- Mauvais contact avec le substrat – 27 %.



Resultats: Mauvaise reprise de la végétation

- 60 % des sites.



Rupture mécanique

- Destruction totale – 47 %.



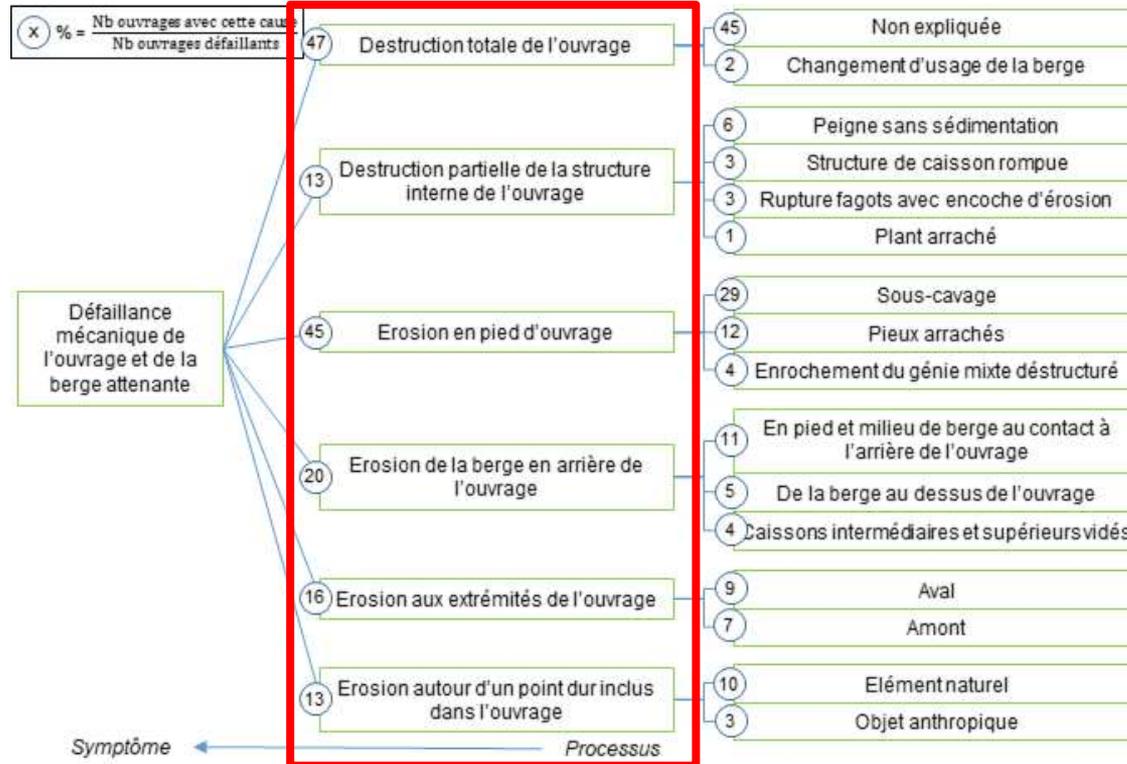
Rupture mécanique

Destruction partielle de la structure interne – 13 %.

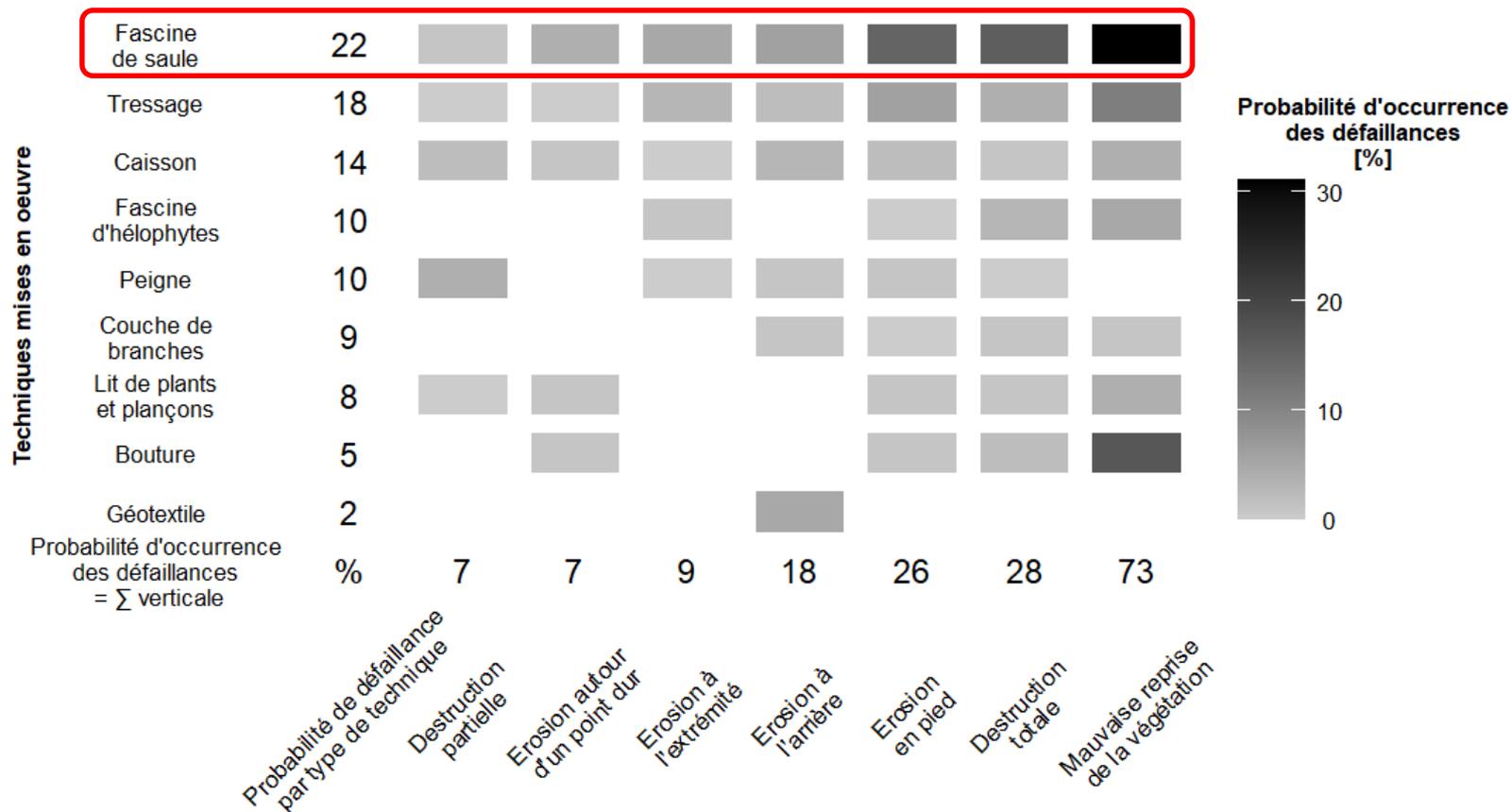


Résultats: rupture mécanique

- 74 % des sites, 24 % complètement détruits.



Analyse par type de technique



Idées de recherche sur les limites techniques du génie végétal

Glaces



Batillage



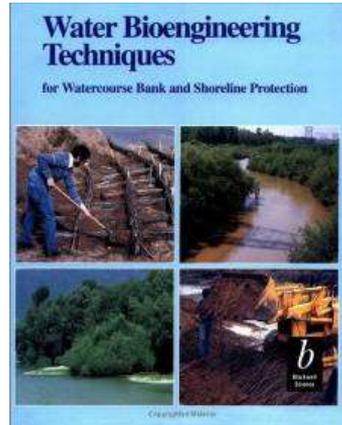
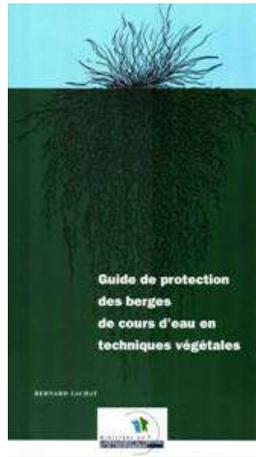
Argiles sensibles



Ressources

- Les « classiques »

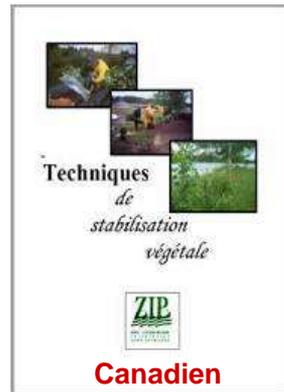
Français



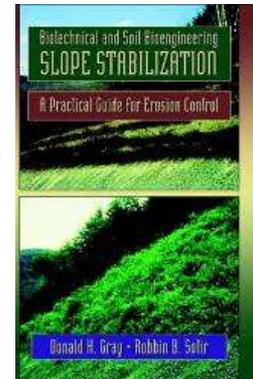
Autrichien



Italien

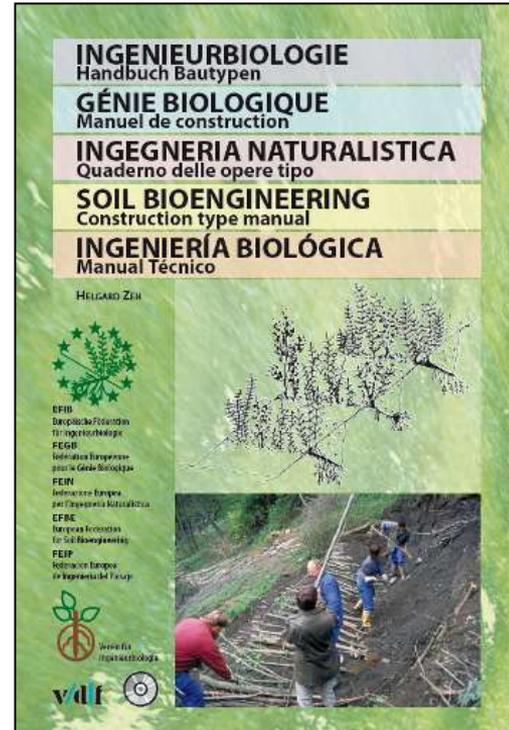
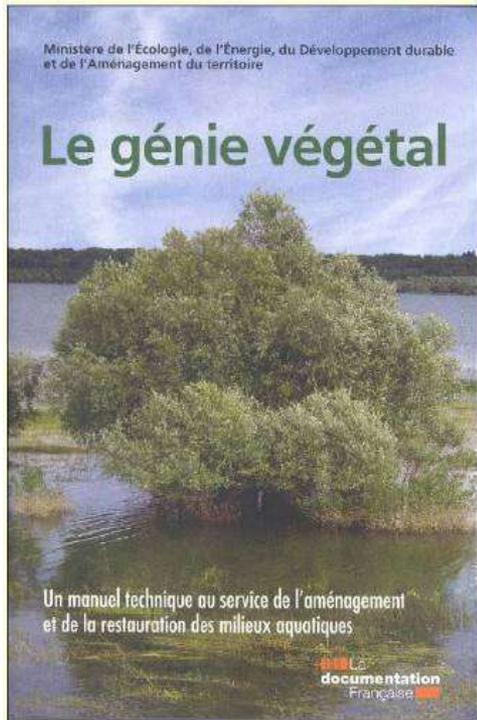


Canadien



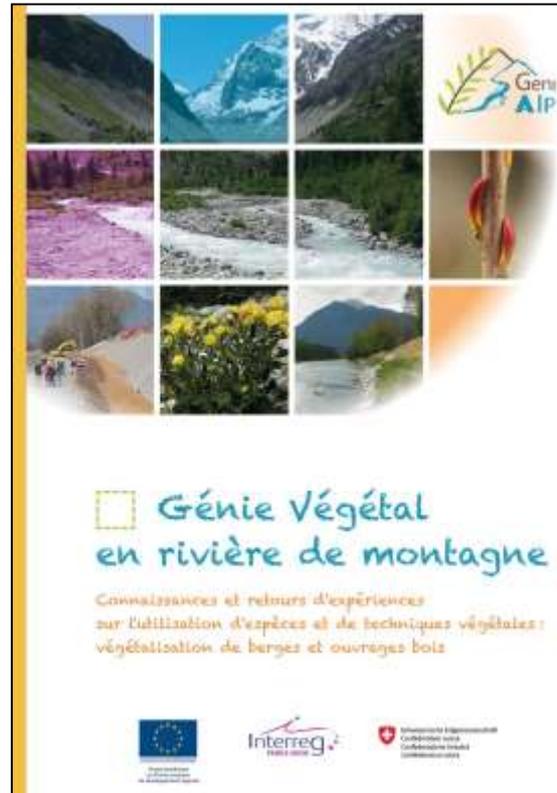
Américain

Ressources



Ressources

<https://www.geni-alp.org/>



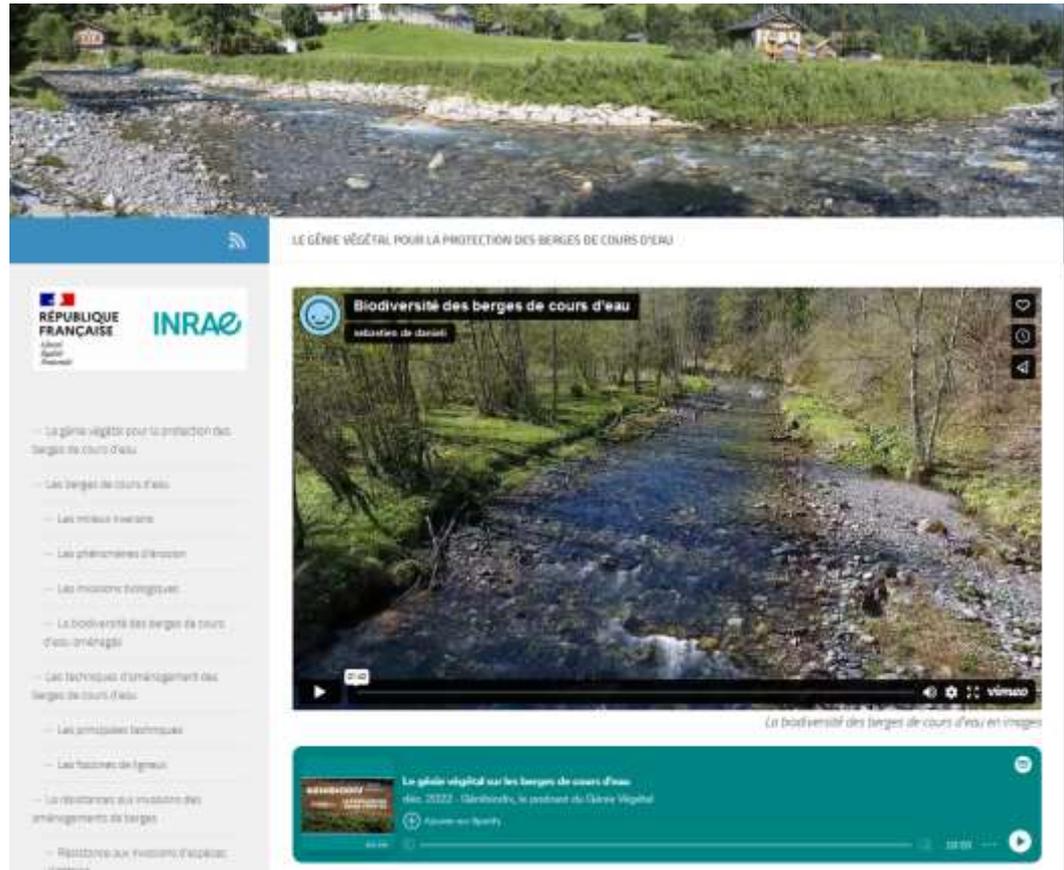
Ressources

<https://genibiodiv.inrae.fr/>

Vidéos

Guides

Liens vers des ressources...



The screenshot displays the INRAE website interface. At the top, there is a header with the text "LE GÉNIE VÉGÉTAL POUR LA PROTECTION DES BERGES DE COURS D'EAU". Below this, the INRAE logo and the French Republic logo are visible. A list of resources is provided on the left side, including:

- Le génie végétal pour la protection des berges de cours d'eau
- Les berges de cours d'eau
- Les milieux aquatiques
- Les phénomènes d'inondation
- Les missions écologiques
- La biodiversité des berges de cours d'eau aménagés
- Les techniques d'aménagement des berges de cours d'eau
- Les pratiques techniques
- Les fascicules d'ignea
- La résistance aux invasions des aménagements de berges
- Régulation aux écosystèmes d'espèces invasives

On the right, a video player is shown with the title "Biodiversité des berges de cours d'eau" and a subtitle "Indicateur de qualité". The video content shows a river flowing through a lush, green landscape with trees and vegetation. Below the video player, there is a small thumbnail for a guide titled "Le génie végétal sur les berges de cours d'eau" with the text "Révisé 2022 - Génie végétal, le savoir de l'Inrae Végétal".

A scenic landscape photograph featuring a wide, calm lake in the middle ground, bordered by a grassy field in the foreground. The scene is framed by trees with vibrant autumn foliage in shades of orange and yellow. The sky is overcast with soft, grey clouds. The word "Merci" is centered in the image in a teal, serif font.

Merci