



Génie végétal en rivière de montagne



JOURNÉE TECHNIQUE D'INFORMATION ET D'ÉCHANGES

Organisée par:



Jeudi 29 septembre 2011, Bonneville (74)

Techniques de génie végétal applicables en rivière de Montagne.

P.-A. Frossard, professeur HES, hepia Genève



Contenu de la présentation

- Rappel des objectifs globaux de GENIALP
- L'action 1 de GENIALP: les chantiers pilotes
- Rappel des caractéristiques des cours d'eau de montagne
- Rappel des principales contraintes
- Torrent ou rivières torrentielles?
- Présentation de chantiers pilotes
 - ✓ L'Avançon d'Anzeindaz (Bex; Gryon)
 - ✓ La Petite Gryonne (Ollon)
 - ✓ Le Bens (ONF)
 - ✓ Le Pamphiot (SYMASOL)

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



Rappel de principe

- Le génie végétal n'est pas une fin en soi mais un outil à disposition des gestionnaires, susceptible d'apporter des solutions efficaces dans certaines situations.
- Cela ne doit pas faire perdre de vue la nécessité d'accorder un espace de liberté au cours d'eau, lorsque le contexte le permet.
- Il restera toujours des situations où l'espace à disposition pour le cours d'eau est restreint et où des enjeux existent, en termes de protection des biens et des personnes



Constat / Problématique

- Depuis les années 1980-90, le génie végétal a connu un **regain d'intérêt** dans le domaine de la restauration des cours d'eau.
- En Suisse et en France, les applications se sont multipliées sur de nombreux territoires, dans des contextes variés, nécessitant des **adaptations techniques constantes** de la part des ingénieurs-biologistes.
- Toutefois, les gestionnaires des cours d'eau de montagne ont pour l'instant très peu recours au génie végétal.
- Sont en cause les **contraintes topographiques, climatiques et hydrauliques** parfois extrêmes, mais surtout un **déficit de connaissances, de références, de vulgarisation et de promotion**.

Constat / Problématique



- En territoires de montagne, la **qualité des paysages** revêt une **importance socio-économique** forte.
- Les territoires de montagne sont réputés pour avoir jusqu'à ce jour conservé un **degré de naturalité élevé**. Ils ont donc une responsabilité forte en matière de **conservation de la biodiversité**.
- Les cours d'eau et zones alluviales sont réputées pour accomplir des fonctions environnementales fondamentales et être le siège d'un niveau de biodiversité élevé.

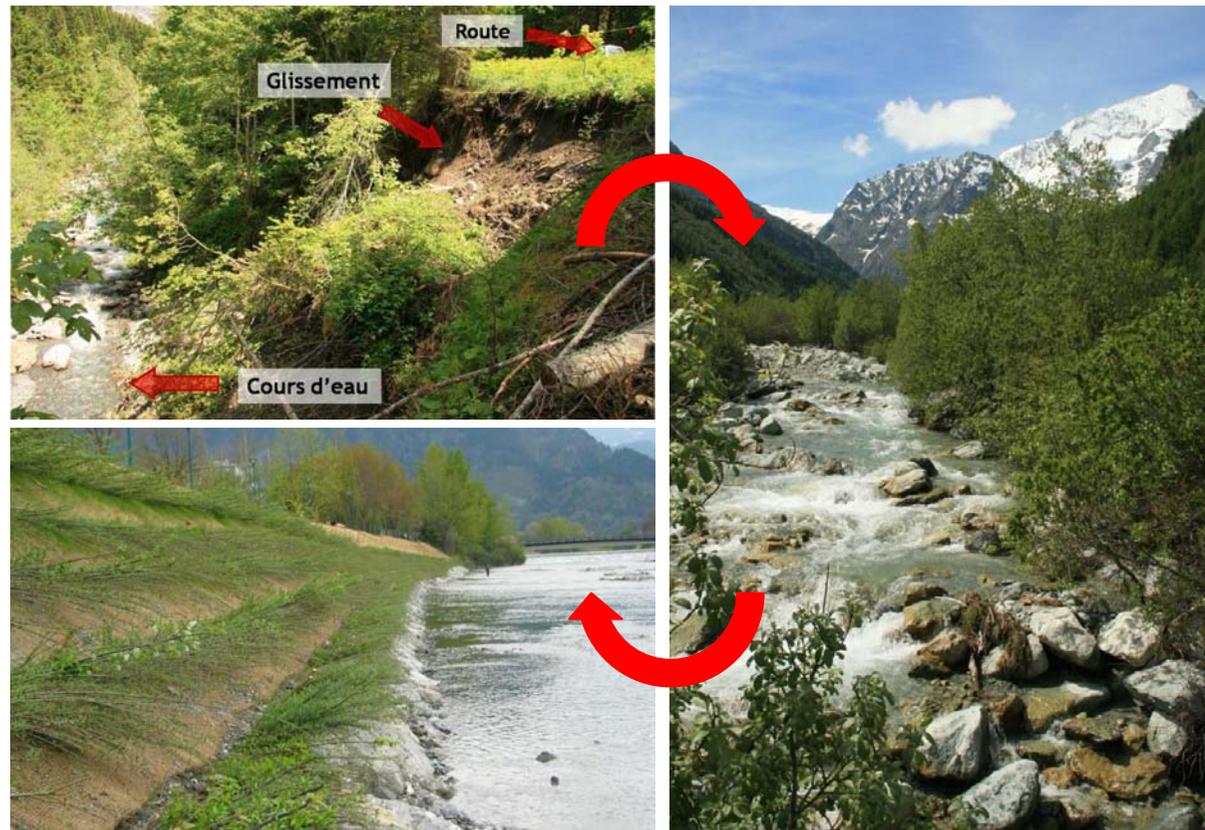
Situations à éviter



Photo: P-A. Frossard

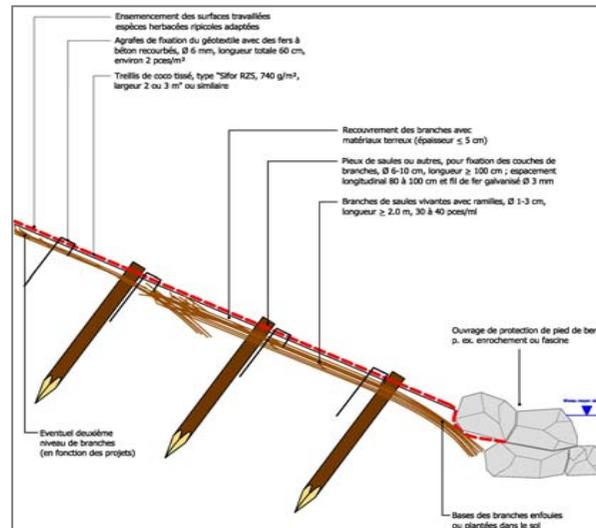
Action 1 : réalisation de chantiers pilotes

- 3 sites sur territoire suisse et 3 sites sur territoire français
- Développement de techniques basées sur l'observation de modèles naturels.



Action 2 : réalisation d'un guide technique

- Principes de gestion des cours d'eau
- Description des végétaux utilisables comme matériaux de construction
- Description de techniques adaptées aux contraintes spécifiques



Illustrations

a. Chatons femelles (FM). b. Habitus. c. Face sup. des feuilles. d. Branche avec pruite (VF). e. Feuilles, face inf. et face sup. f. Bourgeon (marque = 2 mm, FM). g. Bourgeons et rameau (VF)



Cours d'eau de montagne (I)

Les situations en tête de bassin se caractérisent par:

- Chenal dont le profil en long présente une forte pente
- Forte érosion et production de sédiments
- Vallées étroites à forte pente (profil en travers), des berges, talus et versants
- Calibre et volume de la charge de fonds sont importants (transport solide)
- Berges abruptes, hautes et souvent très minérales, du moins en pied de berge



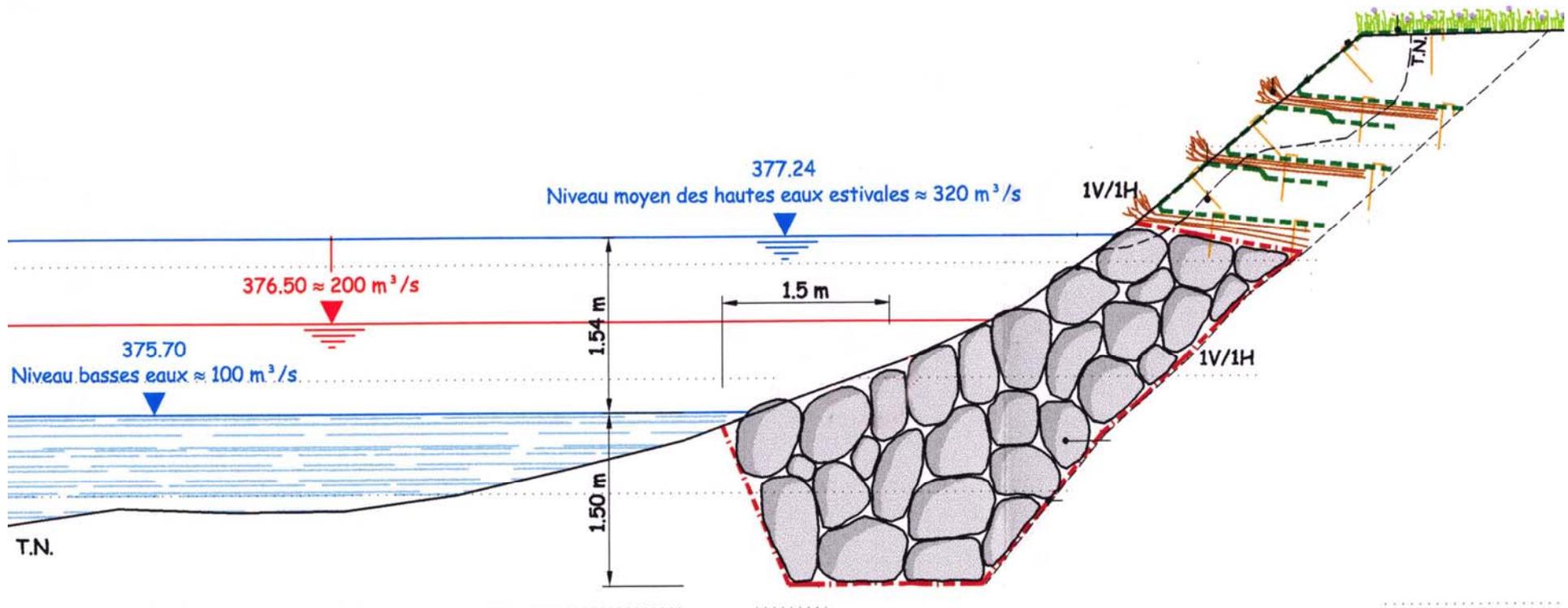


Cours d'eau de montagne (II)

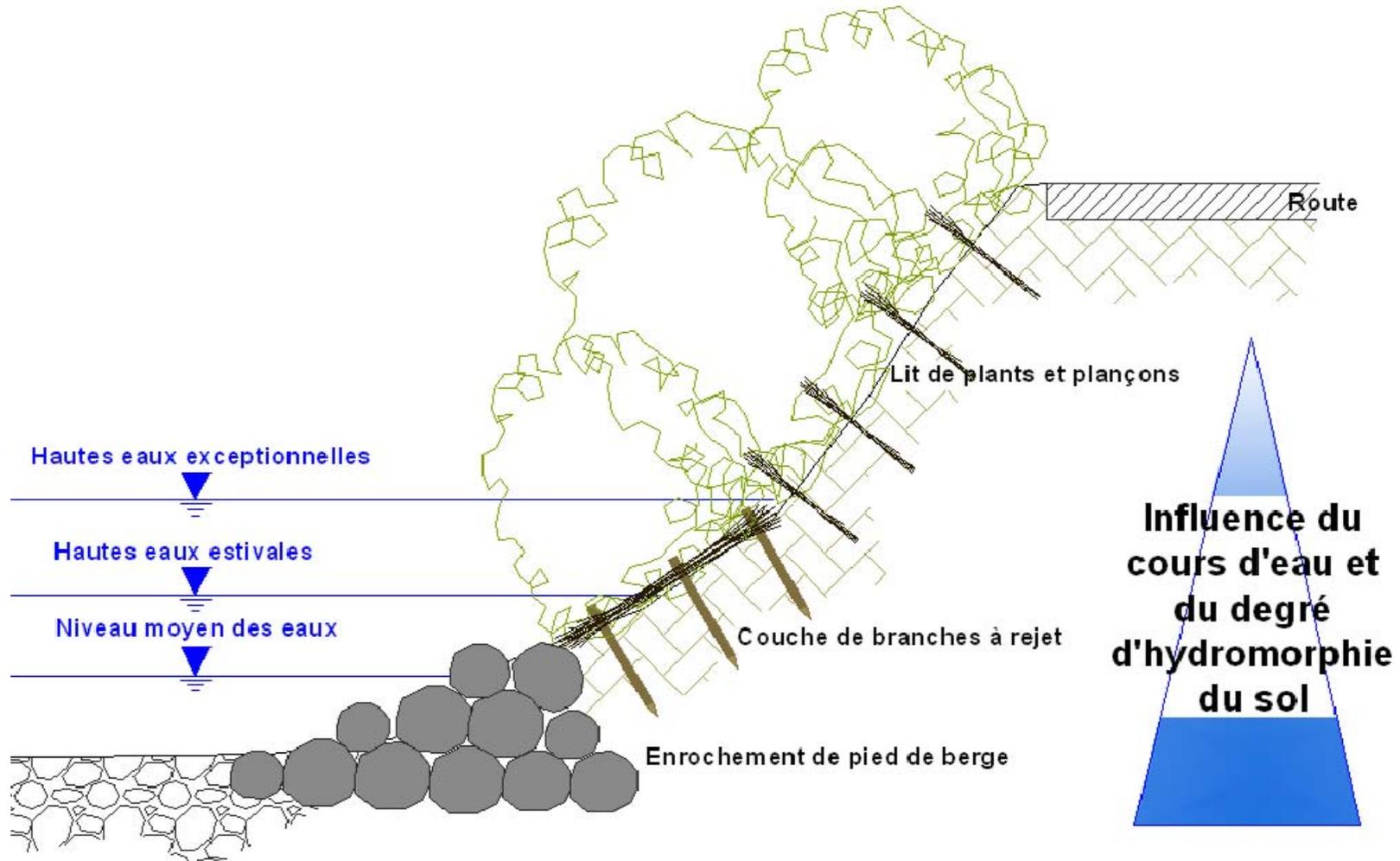
- Développement d'un lit en tresse (si charge abondante et régime hydrologique caractérisé par de forts pics de crue) à chenaux multiples présentant une forte instabilité (lit mobile)
- Volume de matériaux temporairement stockés devient parfois considérable (proximité des zones de sources sédimentaires)
- Régimes glaciaire, nival ou pluvio-nival, induisant des périodes de crues printanières et/ou estivales
- Période favorable aux travaux raccourcie
- Conditions climatiques difficiles pour les végétaux

Les contraintes du régime nival

Les crues printanières et estivales contrarient l'implantation de végétaux sur les parties basses de la berge. La contrainte est amplifiée par les variations de débits entre jour et nuit. Les variations du niveau d'eau sont d'autant plus importantes sur les cours d'eau endigués.



Berges hautes et encaissées



Berges hautes et encaissées

A la problématique de l'érosion fluviale s'ajoute souvent celle
de la stabilité de la pente (glissement)



Photo: P-A. Frossard

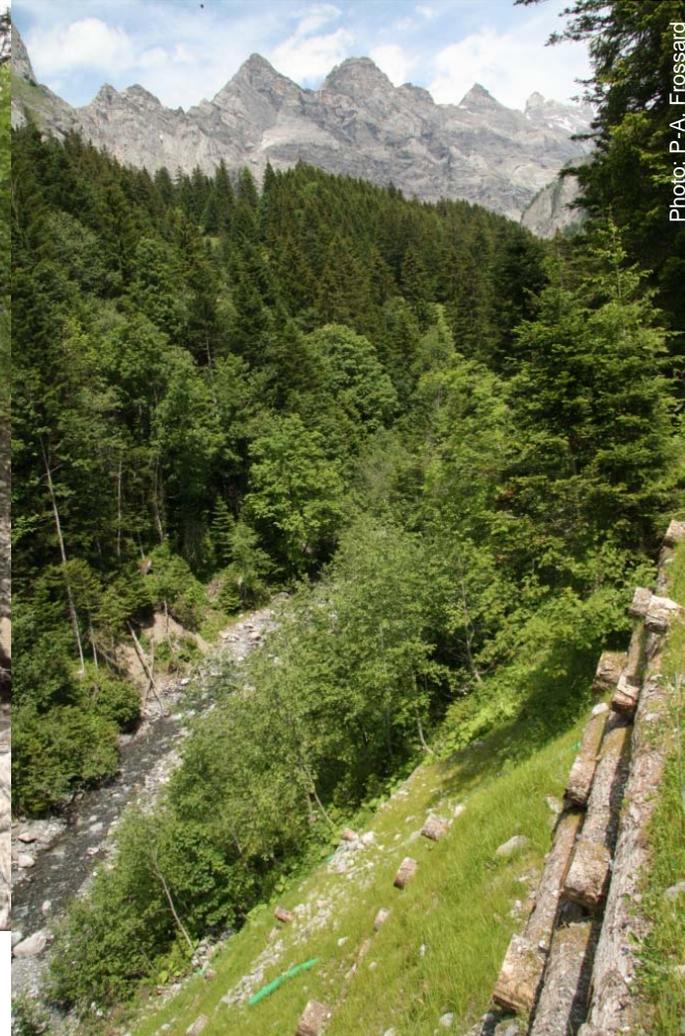


Photo: P-A. Frossard

Transport solide

Le charriage de matériaux grossiers peut causer des dommages importants sur la végétation

Ecorça Ensevelissement partiel à nu



Photo: P.-A. Frossard

Forces tractrices

La végétation seule ne résiste pas à n'importe quelle valeur de force d'arrachement



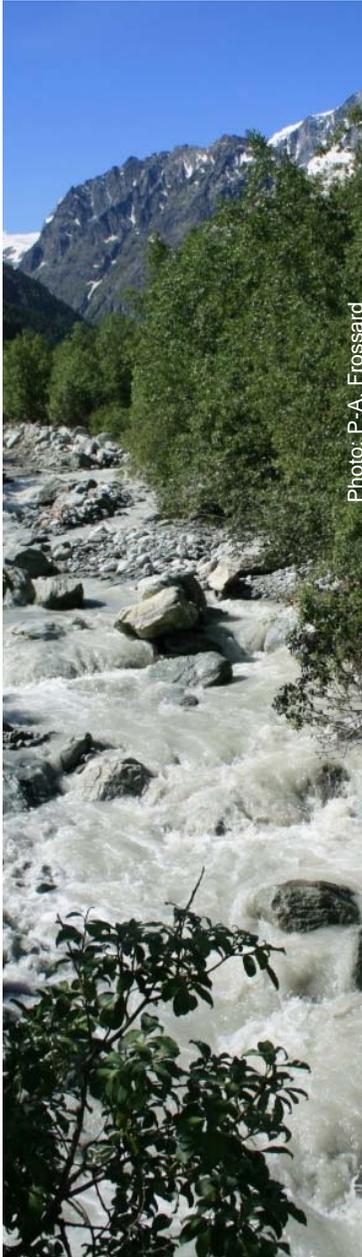


Photo: P-A. Frossard

Écoulement torrentiel - Nombre de Froude

(William Froude, 1818 – 1879)

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}}$$

Où v = vitesse du courant [m/s]

g = accélération de la pesanteur ou gravité [m/s²]

h = hauteur d'eau [m]

- Si $Fr < 1$ → régime fluvial
- Si $Fr = 1$ → régime critique
- Si $Fr > 1$ → régime torrentiel



Rivières torrentielles

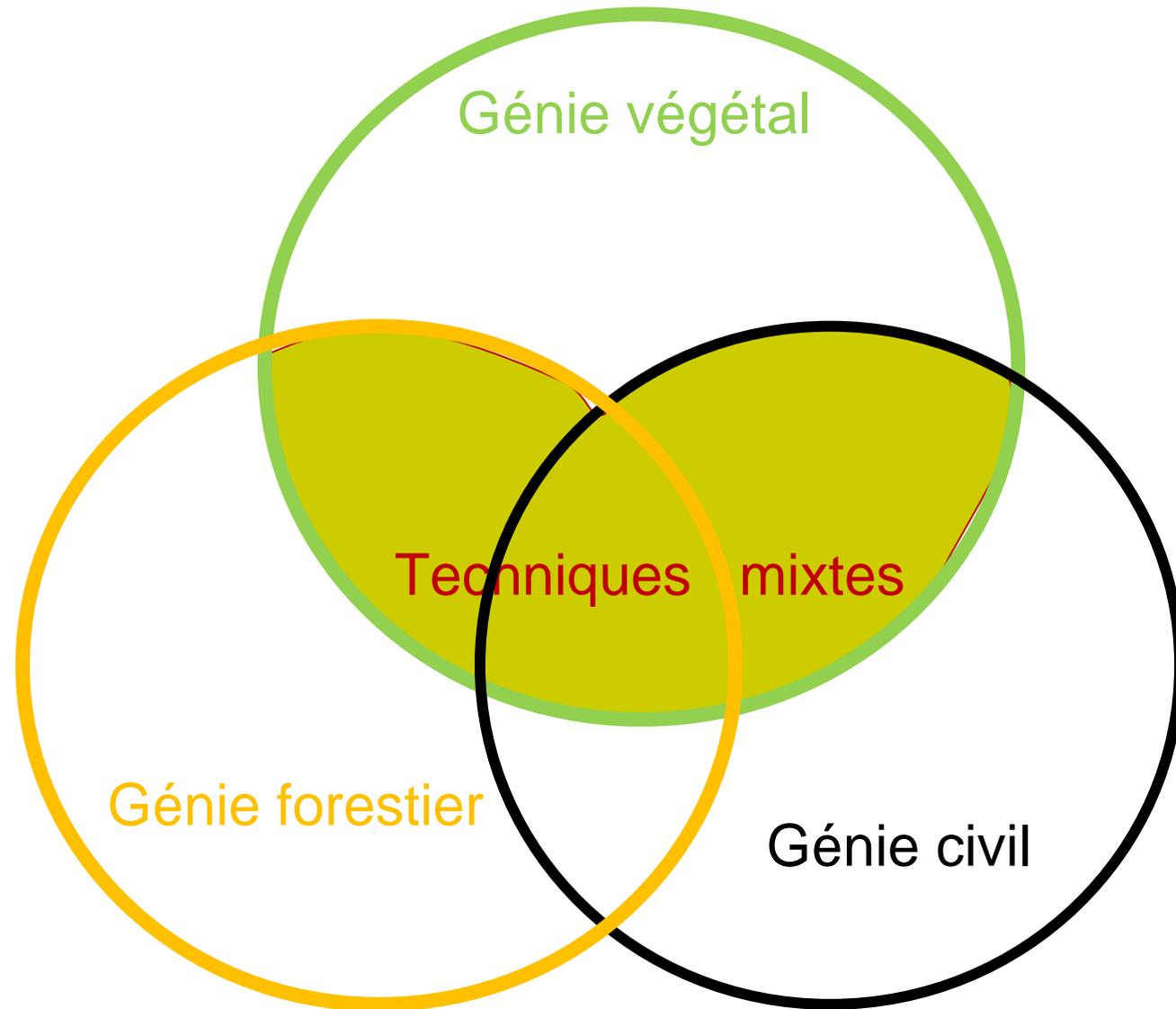
Il existe d'autres définitions assez généralement admises des rivières et des torrents, notamment celle de Bernard (1925) :

- sont qualifiés de rivières les cours d'eau de pente inférieure à 1% ;
- les rivières sont torrentielles lorsque leur pente est comprise entre 1% et 6% ;
- au-delà de 6%, les cours d'eau sont appelés torrents.

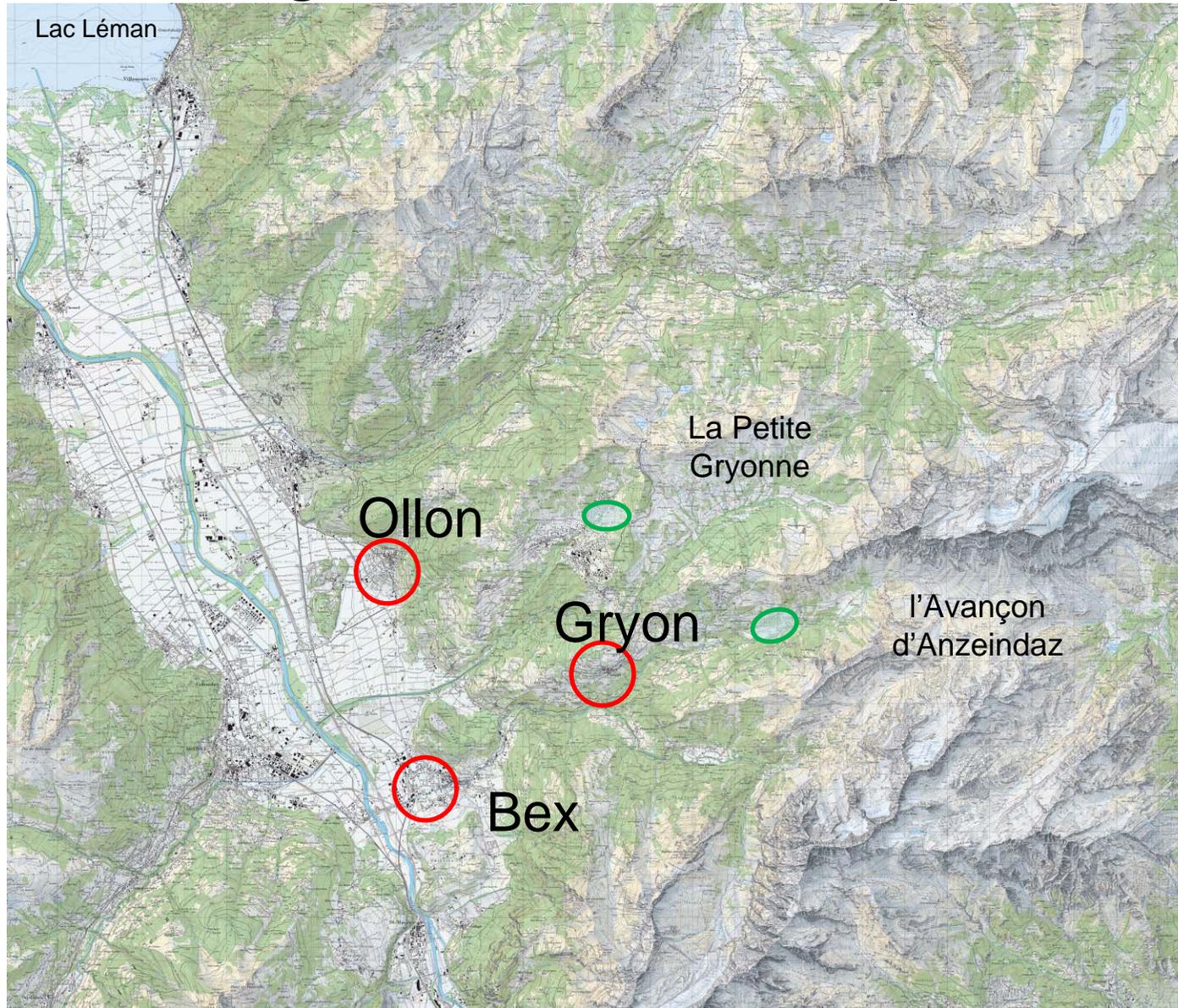


Rivières torrentielles

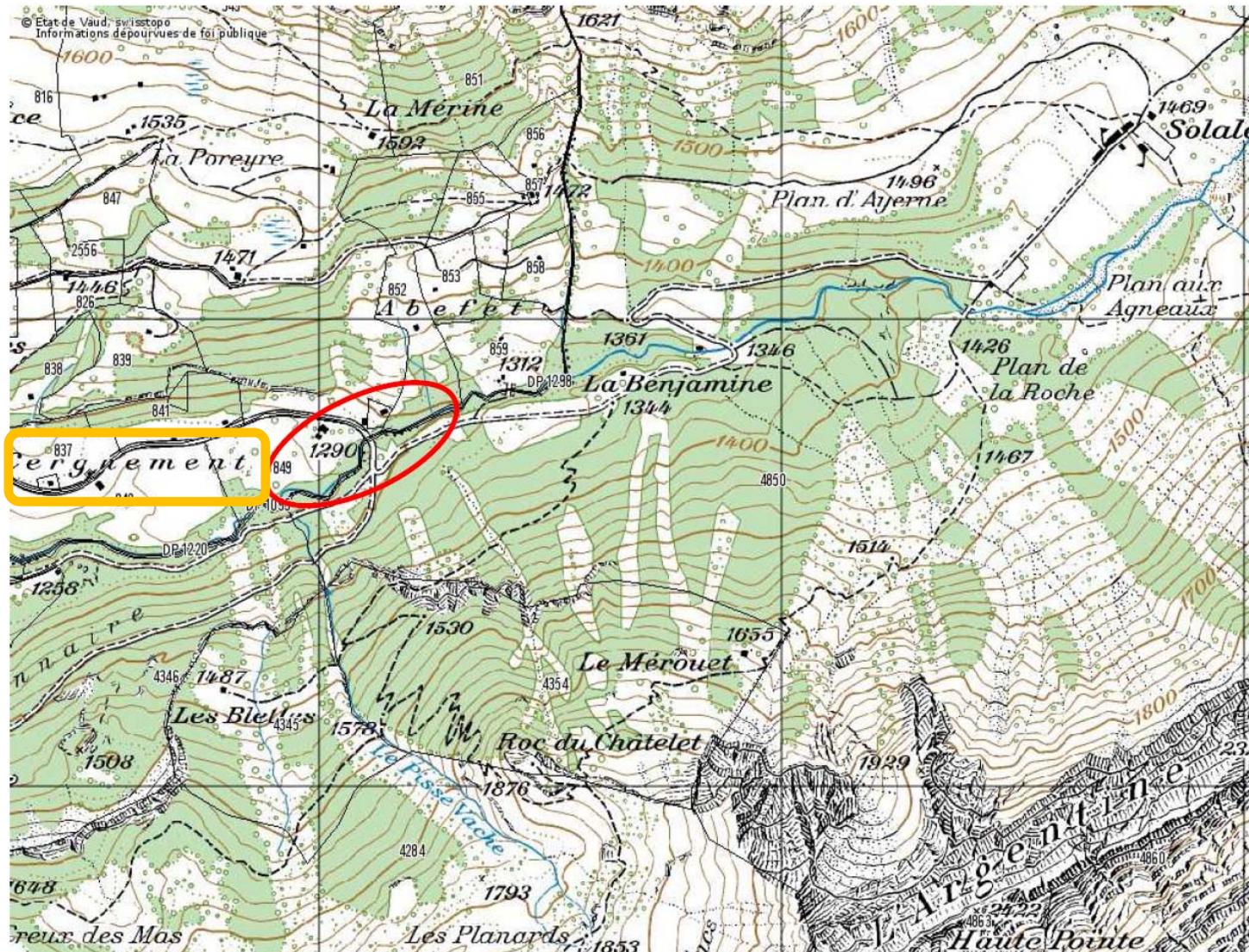
- Dans ce cas, les rivières dites torrentielles présentent plutôt un **écoulement de type fluvial, avec des passages torrentiels** au droit des seuils naturels ou des cascades. C'est là l'originalité des rivières de région montagnarde, à savoir leur **grande diversité de faciès d'écoulement** et notamment **l'alternance seuil-mouille**, les seuils prenant des formes variées (cascades, rapides à blocs, bancs de galets,...).



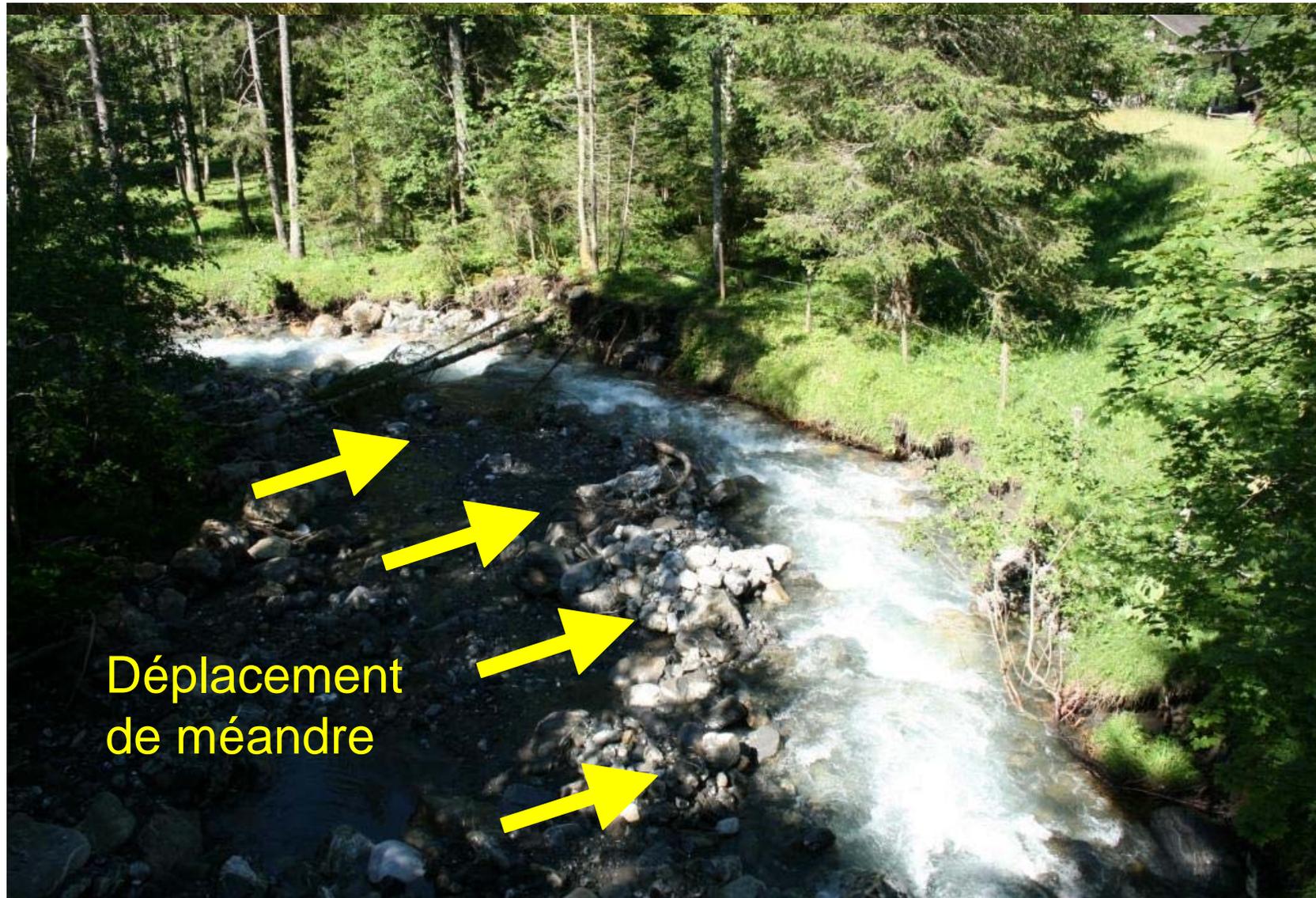
Situation générale des chantiers pilotes CH



Avançon d'Anzeindaz (Bex & Gryon)



Avançon d'Anzeindaz : état initial



Déplacement
de méandre

Avançon d'Anzeindaz : état initial



Incision



Erosion en extrados

Conditions hydrauliques



Photo: P.-A. Frossard

Coupe B-B Le CERNEMENT
Dimensionnement des enrochements en pied de berge

Selon Stevens

$$q = \frac{Q}{A_{tr}} = \frac{Q}{B \cdot h_w}$$

$$s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

Données :

- $q = 7.07 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$: débit unitaire, $q = Q/(A_{tr} \cdot h_w)$, du cours d'eau
- $g = 9.81 \text{ [m/s}^2]$: gravité
- $\rho_s = 2560 \text{ [kg/m}^3]$: masse volumique des blocs
- $\rho_w = 1000 \text{ [kg/m}^3]$: masse volumique de l'eau
- $\tan \alpha = 0.138 \text{ [m/m]} = 1/p$: angle du talus ($\tan \alpha = 1/p$) $\alpha = 7.8^\circ$
- $\cos \alpha = 0.991 \text{ [m/m]}$: -
- $\tan \phi = 1.732 \text{ [m/m]}$: angle d'équilibre des enrochements (entre 50° et 60°)

Calcul du diamètre des blocs (berges) :

- $\phi = 0.042$ avec n : Coefficient de cisaillement adimensionnel, au pied des enrochements
- $\phi_{cr} = 0.069$: Coefficient de cisaillement adimensionnel critique (entre 0.05 et 0.10)
- $\eta = 0.842$ avec 0.170 : coefficient adimensionnel, selon DE STEVENS (entre 0.77 et 1.017)
- $\xi = 11.361 = (D_{50})^2$
- $S_m = 12.6$: $S_m = (\tan \phi / \tan \alpha)$
- $F_s = 1.10$: Facteur de sécurité, selon DE STEVENS (entre 1.1 et 1.3)
- $D_B = 0.95 \text{ [m]}$ (N=1740 kg) (V=48 litres) : Diamètre des blocs (à trouver avec itération)

Calcul de l'affouillement au pied des enrochements (berges) :

- $h_w = 1.09 \text{ [m]}$
- $B = 1.00 \text{ [m]}$
- $m = 7.27 \text{ [m}^2/\text{s}^2]$
- $d_{50} = 0.600 \text{ [m]}$ (88 kg)
- $S = 1.09 \text{ [m]}$ $S' = 1.09 \text{ [m]}$ si faut liéser (S) pour obtenir $S = S'$
- $S_{cr} = 0.00 \text{ [m]} = S - h_w$: Affouillement du substrat du lit en pied de berge

Le cours d'eau

Coupe-type

- $h_w = 1.09 \text{ [m]}$
- $B = 1.00 \text{ [m]}$
- $m = 7.27 \text{ [m}^2/\text{s}^2]$
- $S = 1.09 \text{ [m]}$
- $S_{cr} = 0.00 \text{ [m]}$
- $Q = 57.0 \text{ [m}^3/\text{s}]$
- $v = 8.8 \text{ m/s [m/s]}$
- $Fr = 2.81 \text{ [m}^2/\text{s}^2]$
- $E = 888 \text{ Joule [N} \cdot \text{m}]$ (à lier avec R_c)
- $z = 0.010 \text{ [m/s}^2]$
- $z_{cr} = 0.010 \text{ [m/s}^2]$
- $d_{50} = 0.60 \text{ [m]}$
- $d_{90} = 1.00 \text{ [m]}$

Pour profil trapézoïdal

$$S = h_w + \frac{B - 2m(S - h_w)}{6 \left[\frac{B - 2m(S - h_w)}{d_{50}} \right]^{0.15}}$$

$Q_{100} : 57 \text{ m}^3/\text{s}$

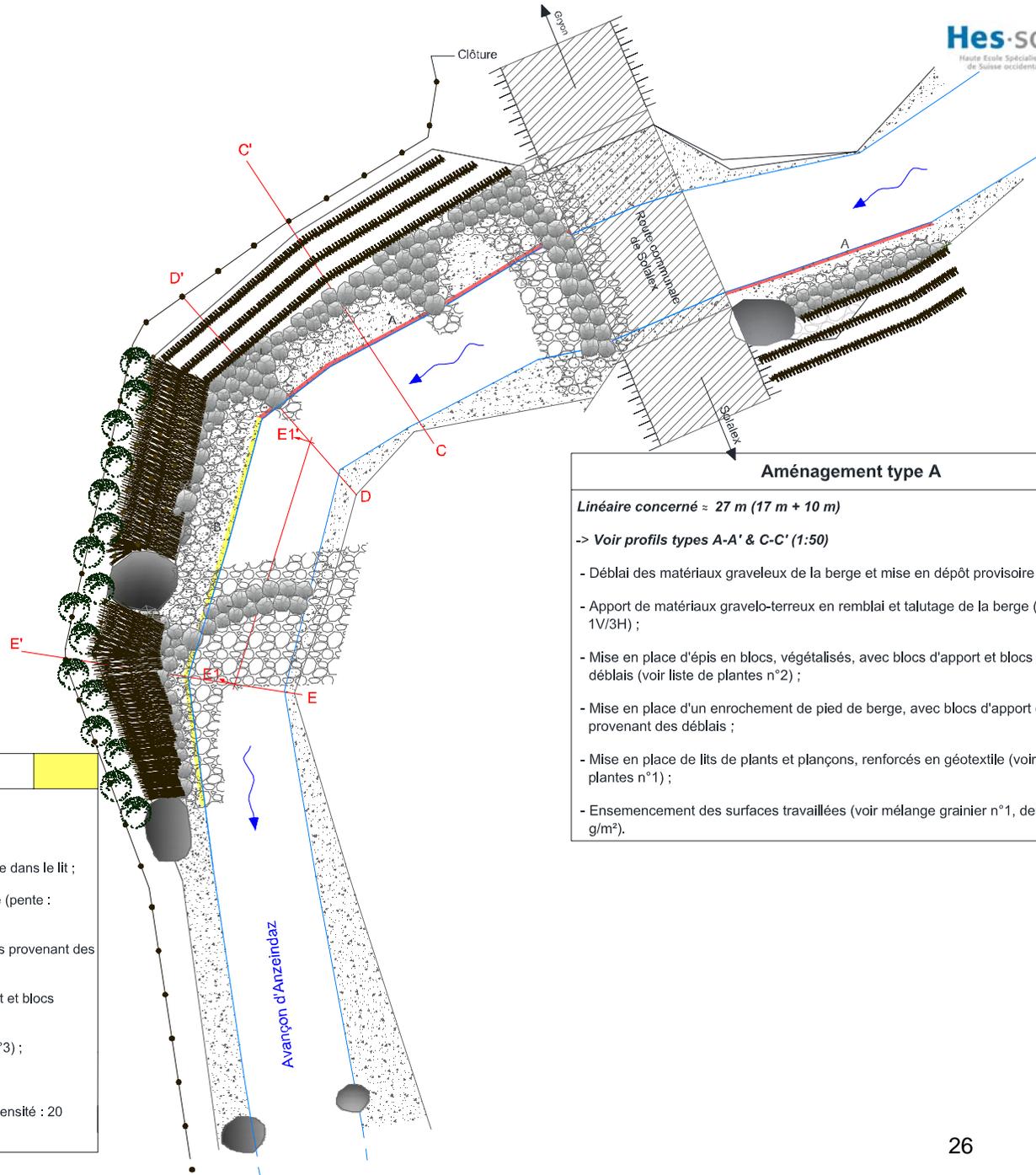
Hauteur : 100 cm (88 -109)

Pente : 5 - 10 %

Force tractrice : 560 N/m²

Avançon d'Anzeindaz : modèles naturels





Aménagement type A

Linéaire concerné ≈ 27 m (17 m + 10 m)

-> Voir profils types A-A' & C-C' (1:50)

- Déblai des matériaux graveleux de la berge et mise en dépôt provisoire dans le lit ;
- Apport de matériaux graveleux-terreux en remblai et talutage de la berge (pente : 1V/3H) ;
- Mise en place d'épis en blocs, végétalisés, avec blocs d'apport et blocs provenant des déblais (voir liste de plantes n°2) ;
- Mise en place d'un enrochement de pied de berge, avec blocs d'apport et blocs provenant des déblais ;
- Mise en place de lits de plants et plançons, renforcés en géotextile (voir liste de plantes n°1) ;
- Ensemencement des surfaces travaillées (voir mélange grainier n°1, densité : 20 g/m²).

Aménagement type B

Linéaire concerné ≈ 19 m

-> Voir profil type E-E' (1:50)

- Déblai des matériaux graveleux de la berge et mise en dépôt provisoire dans le lit ;
- Apport de matériaux graveleux-terreux en remblai et talutage de la berge (pente : 1V/3H) ;
- Mise en place d'épis en blocs, végétalisés, avec blocs d'apport et blocs provenant des déblais (voir liste de plantes n°2) ;
- Mise en place d'un enrochement de pied de berge, avec blocs d'apport et blocs provenant des déblais ;
- Mise en place de couches de branches à rejets (voir liste de plantes n°3) ;
- Plantation en sommet de berge (voir liste de plantes n°4) ;
- Ensemencement des surfaces travaillées (voir mélange grainier n°1, densité : 20 g/m²).

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

C
RG

Déblai dans le lit mineur des matériaux alluvionnaires mis en remblai provisoirement ;
Mise en place de matériaux gravelo-terreux

Ensemencement des surfaces travaillées, mélange grainier n°1, 20 g/m²

Agraphe de fixation avec des fers à béton recourbés, Ø 6 mm, longueur totale 60 cm

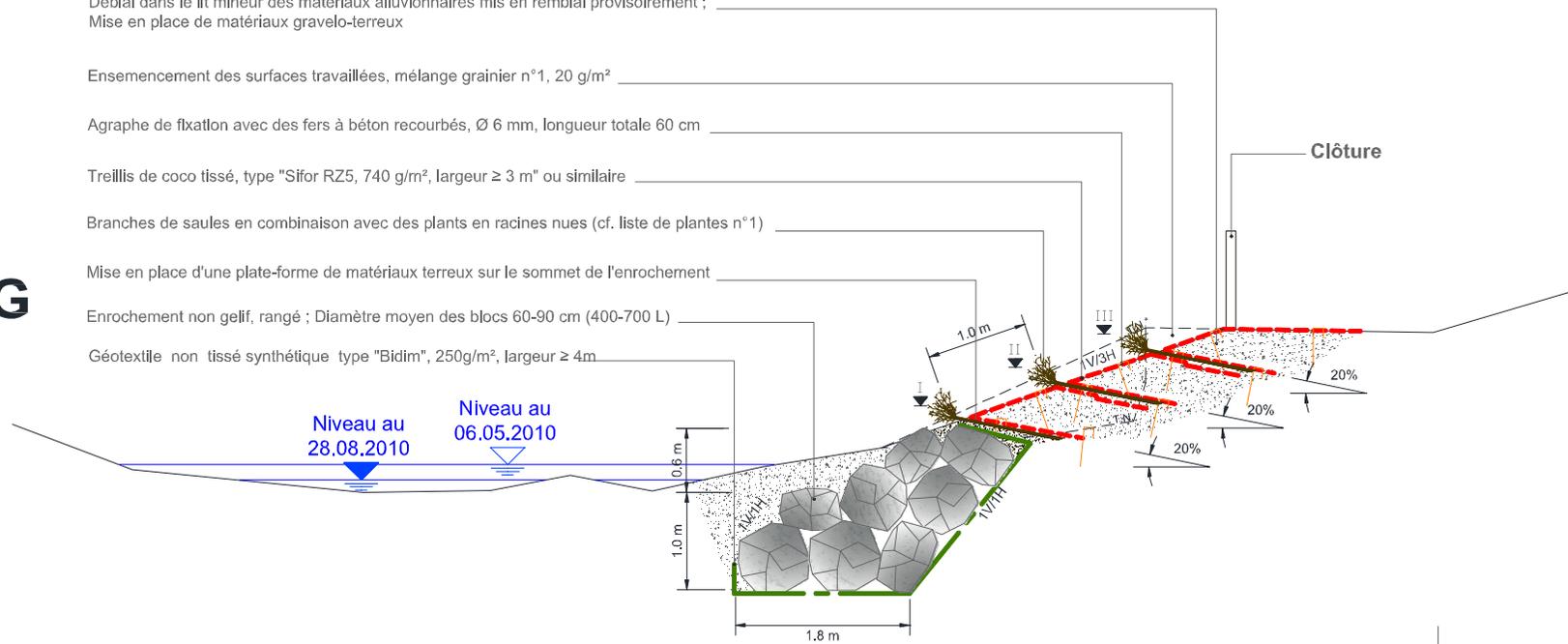
Trellis de coco tissé, type "Sifor RZ5, 740 g/m², largeur ≥ 3 m" ou similaire

Branches de saules en combinaison avec des plants en racines nues (cf. liste de plantes n°1)

Mise en place d'une plate-forme de matériaux terreux sur le sommet de l'enrochement

Enrochement non gelif, rangé ; Diamètre moyen des blocs 60-90 cm (400-700 L)

Géotextile non tissé synthétique type "Bidim", 250g/m², largeur ≥ 4m



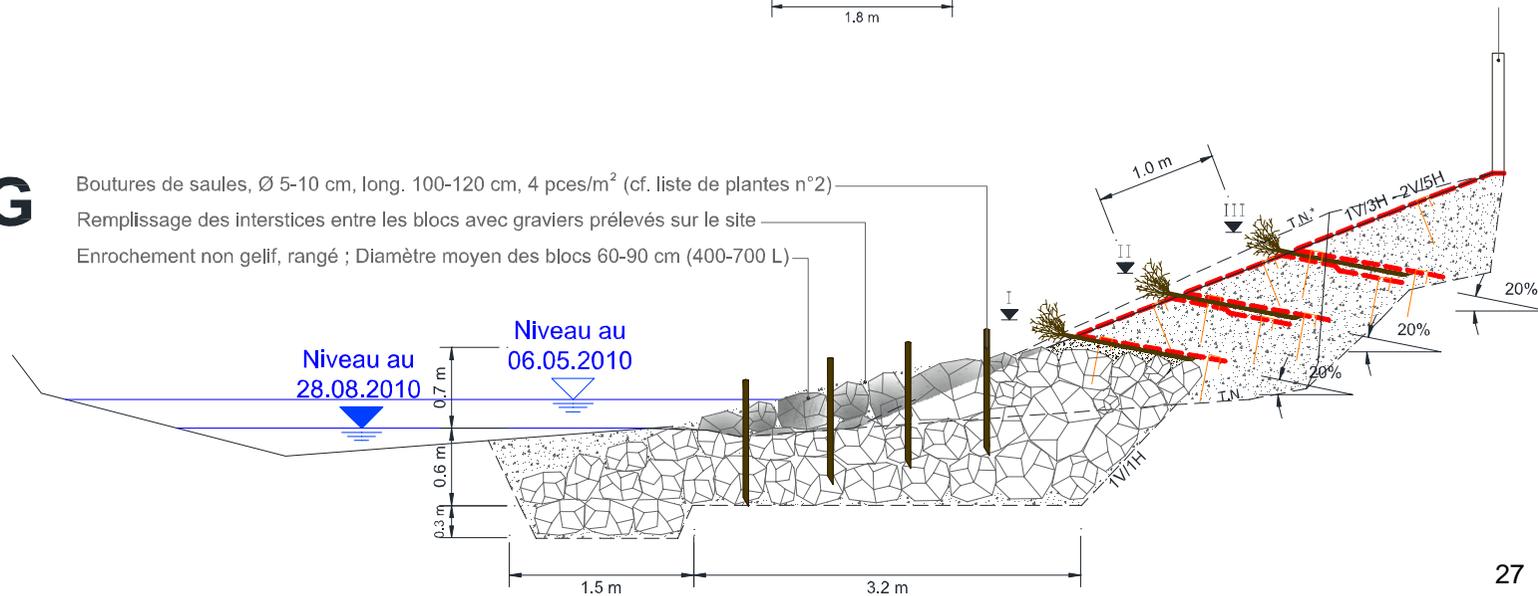
C'
RD

D
RG

Boutures de saules, Ø 5-10 cm, long. 100-120 cm, 4 pces/m² (cf. liste de plantes n°2)

Remplissage des interstices entre les blocs avec graviers prélevés sur le site

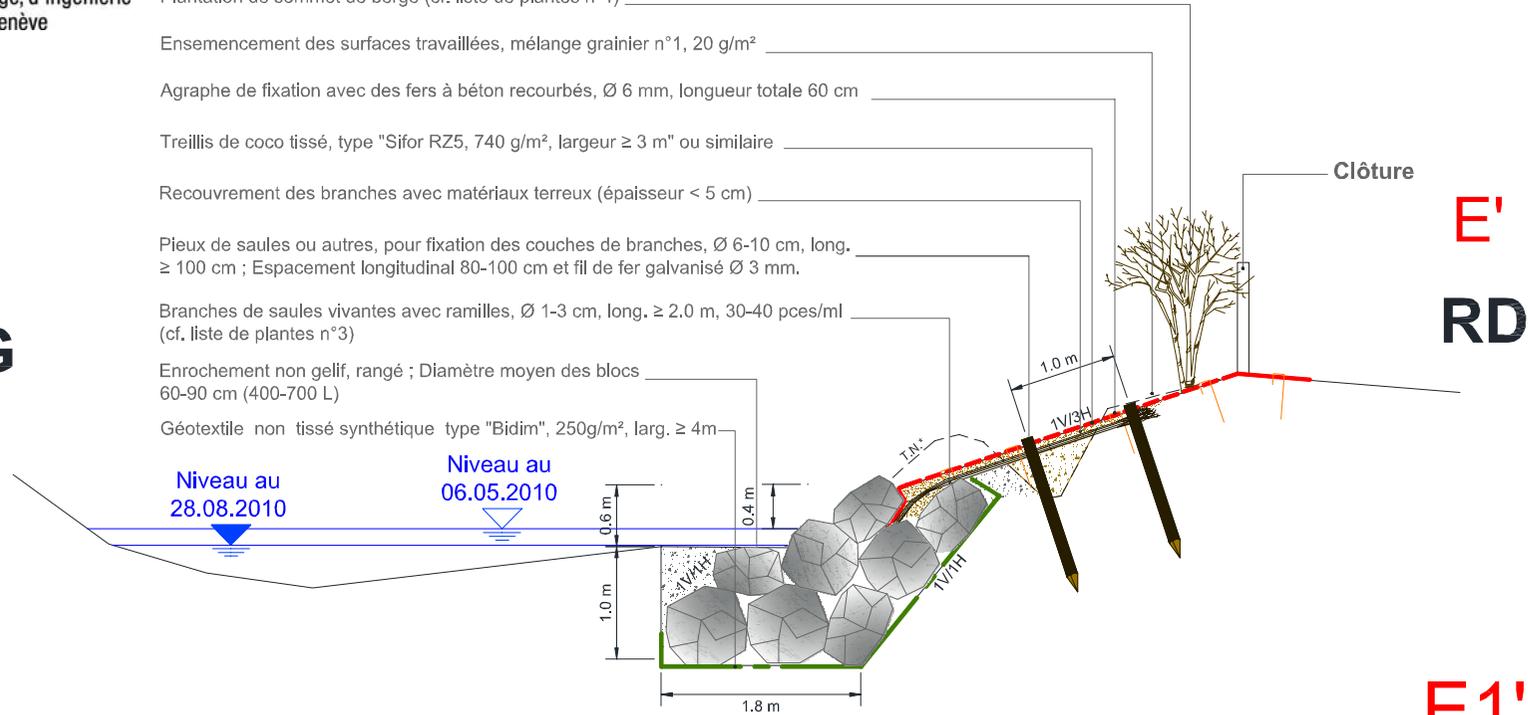
Enrochement non gelif, rangé ; Diamètre moyen des blocs 60-90 cm (400-700 L)



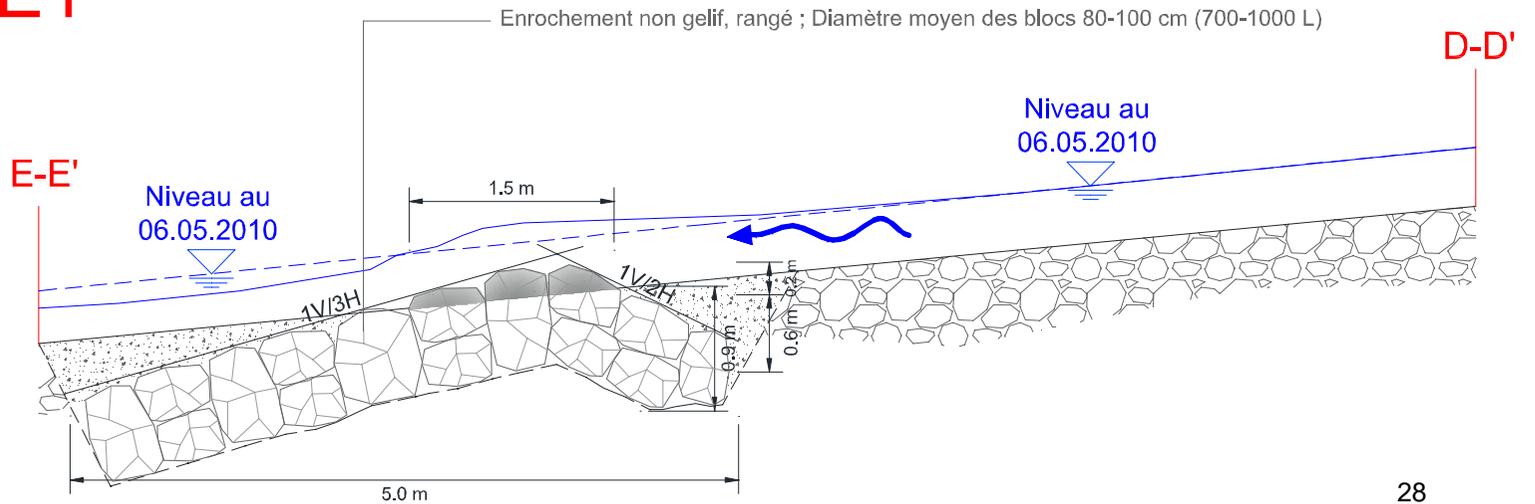
D'
RD

E
RG

- Plantation de sommet de berge (cf. liste de plantes n°4)
- Ensemencement des surfaces travaillées, mélange grainier n°1, 20 g/m²
- Agraphe de fixation avec des fers à béton recourbés, Ø 6 mm, longueur totale 60 cm
- Treillis de coco tissé, type "Sifor RZ5, 740 g/m², largeur ≥ 3 m" ou similaire
- Recouvrement des branches avec matériaux terreux (épaisseur < 5 cm)
- Pieux de saules ou autres, pour fixation des couches de branches, Ø 6-10 cm, long. ≥ 100 cm ; Espacement longitudinal 80-100 cm et fil de fer galvanisé Ø 3 mm.
- Branches de saules vivantes avec ramilles, Ø 1-3 cm, long. ≥ 2.0 m, 30-40 pces/ml (cf. liste de plantes n°3)
- Enrochement non gelif, rangé ; Diamètre moyen des blocs 60-90 cm (400-700 L)
- Géotextile non tissé synthétique type "Bidim", 250g/m², larg. ≥ 4m



E1



Avançond'Anzeindaz: enrochement de pied de berge



Pose d'un géotextile
synthétique

Avançon d'Anzeindaz: lits de plants et plançons



Intégration d'un géotextile



Densité végétale



Façonnage et compactage des
matériaux gravelo-terreux en
remblai

Avançon d'Anzeindaz : listes de plantes

LISTE DES PLANTES N° 2

Objectifs : Lits de plants et plançons pour la protection de la berge droite jusqu'au sommet, en complément à l'enrochement de pied.

Linéaire total : 17 m
Nbre de tronçons : 1
Répartition : mélangée
Disposition : au dessus d'un enrochement de pied de berge, jusqu'au sommet de berge.

2A Branches de saules indigènes

Longueur : 100 - 150 cm
Diamètre : 1-4 cm

Niveau 1

Densité : 20 branches/ m linéaire

Espèces		Longueur (cm)	Quantité
<i>Salix elaeagnos</i>	Saule drapé	100 - 150	170
<i>Salix myrsinifolia</i>	Saule noircissant	100 - 150	70
<i>Salix purpurea</i>	Saule pourpre	100 - 150	100

Niveau 2

Densité : 15 branches/ m linéaire

Espèces		Longueur (cm)	Quantité
<i>Salix daphnoides</i>	Saule prumineux	100 - 150	45
<i>Salix elaeagnos</i>	Saule drapé	100 - 150	100
<i>Salix myrsinifolia</i>	saule noircissant	100 - 150	35
<i>Salix purpurea</i>	Saule pourpre	100 - 150	75

Niveau 3

Densité : 10 branches/ m linéaire

Espèces		Longueur (cm)	Quantité
<i>Salix daphnoides</i>	Saule prumineux	100 - 150	50
<i>Salix elaeagnos</i>	Saule drapé	100 - 150	70
<i>Salix purpurea</i>	Saule pourpre	100 - 150	50

TOTAL : LISTE DES PLANTES N° 2A 765

2B Arbustes indigènes

Qualité 1 : plants en racines nues de pépinière forestière
Qualité 2 : arbustes légers transplantés 2x

Niveau 2

Densité : 10 arbustes / m linéaire

Espèces		Hauteur (cm)	Quantité
<i>Alnus incana</i>	Aulne blanc	80 - 100	20
<i>Alnus viridis</i>	Aulne vert	80 - 100	30
<i>Prunus padus</i>	Merisier à grappes	80 - 100	50
<i>Salix appendiculata</i>	Saule à gdes feuilles	80 - 100	50
<i>Viburnum opulus</i>	Viorne obier	80 - 100	50

Niveau 3

Densité : 5 arbustes / m linéaire

Espèces		Hauteur (cm)	Quantité
<i>Alnus incana</i>	Aulne blanc	80 - 100	10
<i>Laburnum alpinum</i>	Aubours des Alpes	80 - 100	20
<i>Sambucus racemosa</i>	Sureau à grappes	80 - 100	30
<i>Sorbus aucuparia</i>	Sorbier des oiseleurs	80 - 100	25

TOTAL : LISTE DES PLANTES N° 2B 255

Avançon d'Anzeindaz : listes de plantes

LISTE DES PLANTES N° 4

Objectifs : couches de branches à rejets pour la protection de la berge droite (deuxième tronçon)

Linéaire total : 19 m
Nbre de tronçons : 1
Répartition : mélangée
Disposition : au dessus de l'enrochement de pied de berge, couverture complète de la berge.

4A Branches de saules indigènes

Longueur : > 200 cm
Diamètre : 2-4 cm
Densité : 30 branches/ m linéaire d'ouvrage

Espèces		Longueur (cm)	Quantité
<i>Salix daphnoides</i>	Saule pruineux	> 200	100
<i>Salix elaeagnos</i>	Saule drapé	> 200	200
<i>Salix myrsinifolia</i>	Saule noirissant	> 200	100
<i>Salix purpurea</i>	Saule pourpre	> 200	170
TOTAL : LISTE DES PLANTES N° 4A			570

4B Pieux

Longueur : > 100 cm
Diamètre : 6 – 10 cm
Espacement : 80 – 100 cm
Qualité : pieux vivants

Espèce		Longueur (cm)	Quantité (%)
<i>Salix daphnoides</i>	Saule pruineux	>100	30
<i>Salix elaeagnos</i>	Saule drapé	>100	30
TOTAL : LISTE DES PLANTES N° 4B			60

LISTE DES PLANTES N° 5

Objectifs : plantation pour le sommet de berge, en complément des couches de branches à rejets. Mesure de diversification.

Surface totale : 20 m²
Nbre de tronçons : 1
Répartition : mélangée
Disposition : sommet de berge, au dessus des couches de branches.

5A Arbustes d'essences indigènes

Qualité 1 : Plants en racines nues, de pépinière forestière
Qualité 2 : arbustes forts, transplantés 2X
Hauteur : 80 – 100 cm
Densité : 2 p / m²

Espèces		hauteur (cm)	Quantité
<i>Alnus incana</i>	Aulne blanc	80 - 100	5
<i>Coryllus avellana</i>	Noisetier	80 – 100	5
<i>Laburnum alpinum</i>	Aubours des Alpes	80 – 100	5
<i>Lonicera xylosteum</i>	Chèvrefeuille des haies	80 – 100	5
<i>Sambucus racemosa</i>	Sureau à grappes	80 – 100	10
<i>Sorbus aucuparia</i>	Sorbier des oiseleurs	80 – 100	5
<i>Viburnum lantana</i>	Viorne lantane	80 – 100	5

TOTAL : LISTE DES PLANTES N° 5A **40**

Avançon d'Anzeindaz : mélange grainier

MELANGE GRAINIER N° 1

Objectifs : stabilisation complémentaire aux ouvrages de génie végétal et mixtes.
Reverdissement des surfaces travaillées (remise en état après travaux) et
intégration des ouvrages de protection.

Surface totale : 1000 m²
Répartition : Du pied jusqu'en sommet de berge, y compris l'ensemble des ouvrages et
la remise en état du pâturage.
Caractéristiques : Mélange unique pour toutes les surfaces (donc à grande amplitude), pour
substrat souvent grossier et pauvre (pied de berge) mais aussi plus fin et
riche (remise en état du pâturage en sommet de berge).
Substrat : Calcaire
Altitude : 1300 m.

1 Plantes herbacées (semences)

Qualité : écotypes CH
Densité : 20 g / m²

Espèces % (en poids)

Graminées

<i>Agrostis capillaris</i>	Agrostide capillaire	5
<i>Agrostis gigantea</i>	Agrostide géante	3
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Flouve odorante	5
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	Brachypode des forêts	3
<i>Calamagrostis varia</i>	Calamagrostide bigarrée	3
<i>Cynosurus cristatus</i>	Crételle des prés	20
<i>Dactylis glomerata</i>	Dactyle aggloméré	5
<i>Deschampsia caespitosa</i>	Canche gazonnante	5
<i>Festuca rubra</i>	Fétuque rouge	10
<i>Phleum rhaeticum</i>	Fléole rhétique	10
<i>Poa alpina</i>	Pâturin des Alpes	10
<i>Trisetum flavescens</i>	Avoine jaunâtre	10

Légumineuses

<i>Anthyllis alpestris</i>	Anthyllide des Alpes	3
<i>Lotus corniculatus</i>	Lotier corniculé	2
<i>Trifolium badium</i>	Trèfle brun	1

Avançon d'Anzeindaz : mélange grainier



- Maintien des particules fines dans les interstices
- Intégration de l'ouvrage

Avançon d'Anzeindaz : mélange grainier



Anthyllis vulneraria - Anthyllide vulnéraire

Avançon d'Anzeindaz : mélange grainier



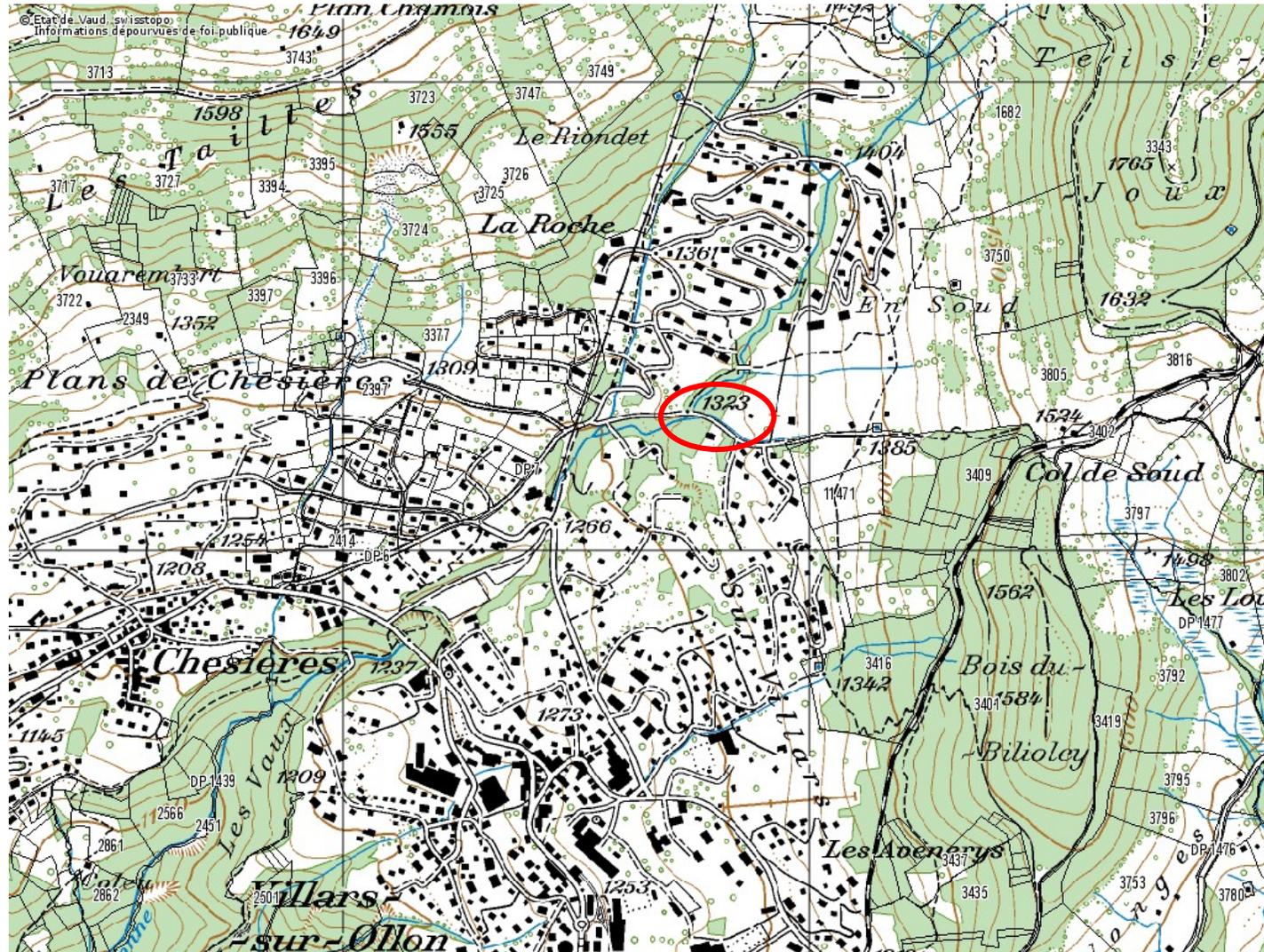
Deschampsia cespitosa - Canche gazonnante

Avançon d'Anzeindaz : exemple de modèle



Photo: P-A. Frossard

La Petite Gryonne (Ollon)



Conditions hydrauliques

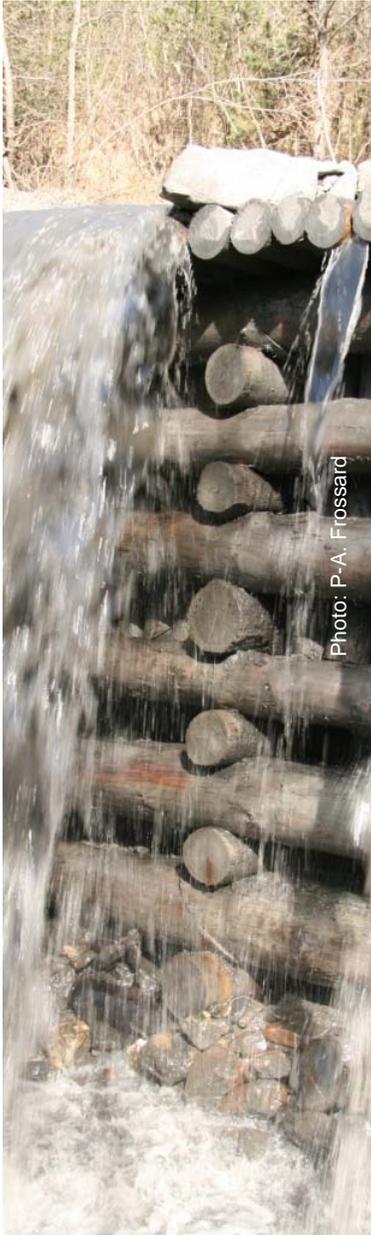


Photo: P.-A. Frossard

Coupe C-C La COUSSE
Dimensionnement des enrochements en pied de berge

Selon Stevens

$$n = \frac{Q}{Q_0} = \frac{Q \sqrt{h_w}}{Q_0 \sqrt{h_w}} \text{ avec } q = \frac{Q}{A_w} \text{ et } s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

Données :

- $q = 3.88 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$: débit unitaire, $q = Q/(h_w B_w)$, du cours d'eau
- $g = 9.81 \text{ (m/s}^2)$: gravité
- $\rho_s = 2660 \text{ (kg/m}^3)$: masse volumique des blocs
- $\rho_w = 1000 \text{ (kg/m}^3)$: masse volumique de l'eau
- $\tan \alpha = 0.775 \text{ (m/m)} = 1/\rho$: angle du bloc ($\tan \alpha = 1/\rho$) $\alpha = 37.8^\circ$
- $\cos \alpha = 0.790 \text{ (m/m)}$: -
- $\tan \theta = 1.732 \text{ (m/m)}$: angle d'équilibre des enrochements (entre 50° et 60°)

Calcul du diamètre des blocs (foron) :

- $\theta = 0.033$ avec h : Contrainte de cisaillement adimensionnelle, au pied des enrochements
- $\theta_{cr} = 0.040$: Contrainte de cisaillement adimensionnelle critique (entre 0.05 et 0.10)
- $\eta = 0.540$ avec 0.770 : coefficient adimensionnel, selon DE STEVENS (entre 0.77 et 1.017)
- $k = 1.537 \cdot \eta (D_B)$
- $S_m = 2.2$: $S_m = (\tan \theta / \tan \alpha)$
- $F_s = 1.10$ [m] : Facteur de sécurité, selon DE STEVENS (entre 1.1 et 1.3)
- $D_B = 1.20$ [m] : Diamètre des blocs (à trouver avec itération)
(M = 2200 kg) (V = 900 litres)

Calcul de l'affleurement au pied des enrochements (foron) :

- $h_w = 0.65$ [m]
- $B = 3.60$ [m]
- $m = 1.29 \text{ (m}^2/\text{V)}$
- $d_{50} = 0.020$ [m] (8.2 kg)
- $S = 0.91$ [m] $S' = 0.52$ [m] Il faut héner (!) pour obtenir $S = S'$
- $S_{aff} = 0.26$ [m] = $S - h_w$: Affleurement du substrat du lit en pied de berge

Le cours d'eau

Coupe-type

$h_w = 0.65$ [m]	$V_{3.00m} = 10.4 \text{ (m}^3/\text{s)}$
$B = 3.60$ [m]	$V_{1.80m} = 10.1 \text{ (m}^3/\text{s)}$
$\rho_{s,w} = 1.29 \text{ (m}^2/\text{V)}$	
$\rho_{w,w} = 0.80 \text{ (m}^2/\text{V)}$	
$A_w = 3.61$ [m]	
$P_w = 0.88$ [m]	
$h_w = 0.65$ [m]	
$h_{w,u} = 0.0$ [m]	
$J = 0.1000$ [m/m]	
$Q = 17.0$ [m ³ /s]	
$V = 0.1 \text{ (m/s)}$ [m/s]	
$F_r = 2.88$ (Fr > 0.05) [m/s]	
$\tau = 844 \text{ (N/m}^2)$ [N/m ²]	
avec $\tau' = 2700$ [N/m ²]	
$d_{50} = 0.02$ [m]	
$d_{50} = 1.20$ [m]	

Pour profil trapézoïdal

$$S = h_w + \frac{B - 2m(S - h_w)}{6 \left[\frac{B - 2m(S - h_w)}{d_{50}} \right]^{0.15}}$$

$Q_{100} : 17 \text{ m}^3/\text{s}$

Hauteur : 60 cm (55 – 65)

Pente : 10 %

Force tractrice : 580 N/m²

La Petite Gryonne (Ollon) : situation initiale



La Petite Gryonne : situation initiale

Pont et dispositif de piégeage des embâcles



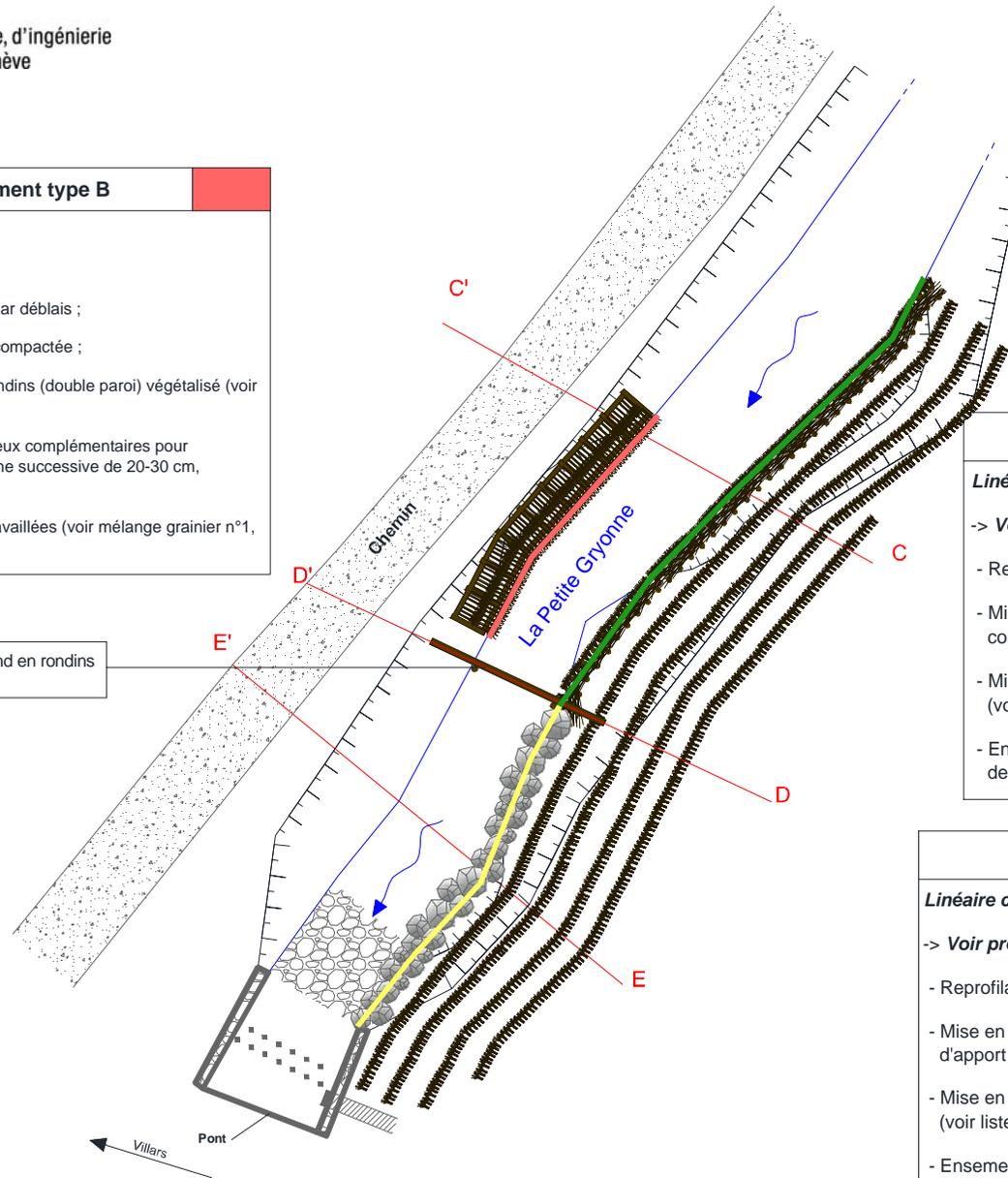
La Petite Gryonne (Ollon) : situation initiale

Chemin en rive droite



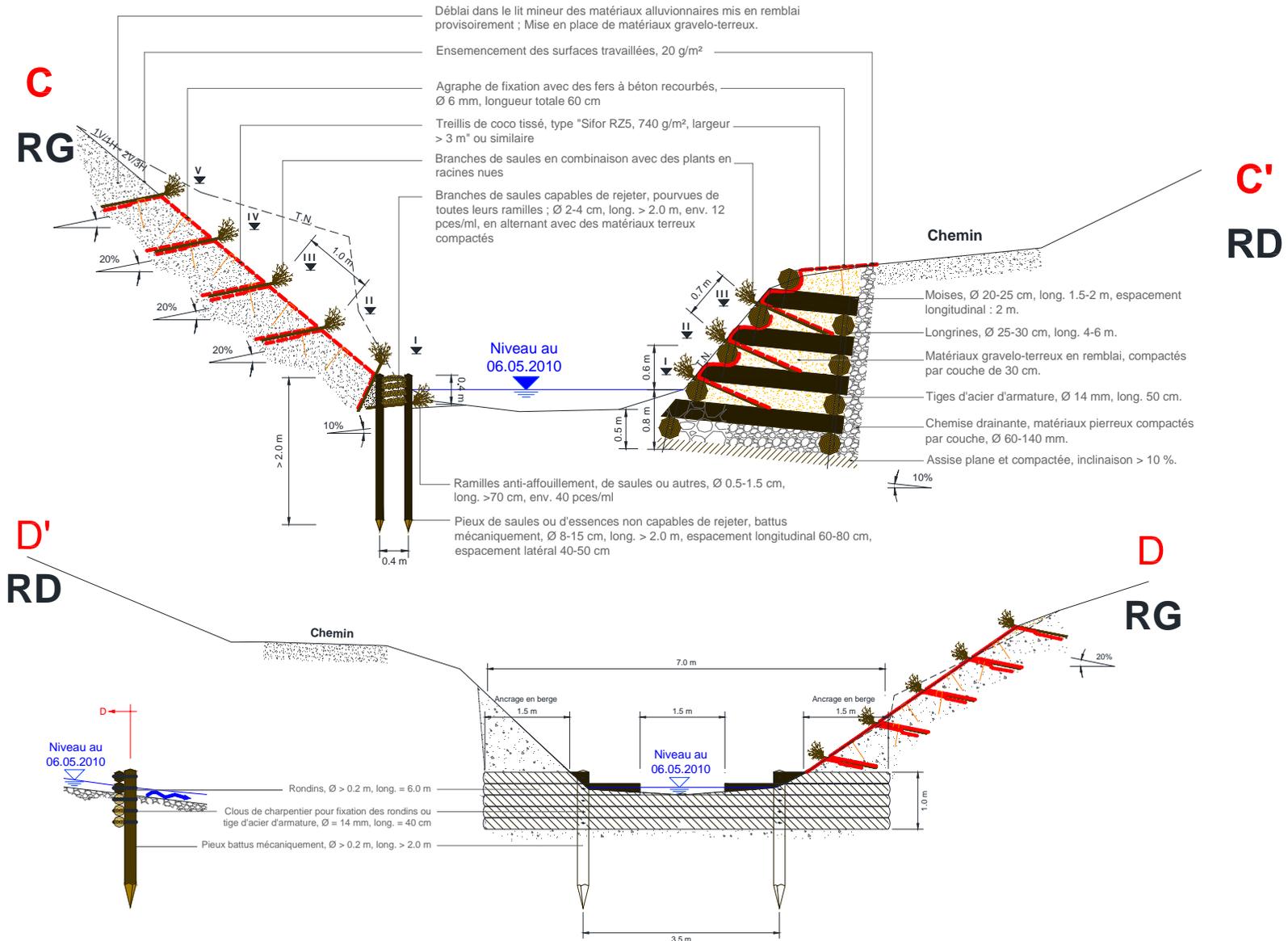
Aménagement type B
<p>Linéaire concerné ~ 10 m</p> <p>-> Voir profil type C-C' (1:50)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nettoyage de la niche d'érosion par déblais ; - Façonnage d'une assise stable, compactée ; - Mise en place d'un caisson en rondins (double paroi) végétalisé (voir liste de plantes n°3) ; - Apport de matériaux gravo-terreux complémentaires pour remplissage du caisson par couche successive de 20-30 cm, compactées ; - Ensemencement des surfaces travaillées (voir mélange grainier n°1, densité : 20 g/m²).

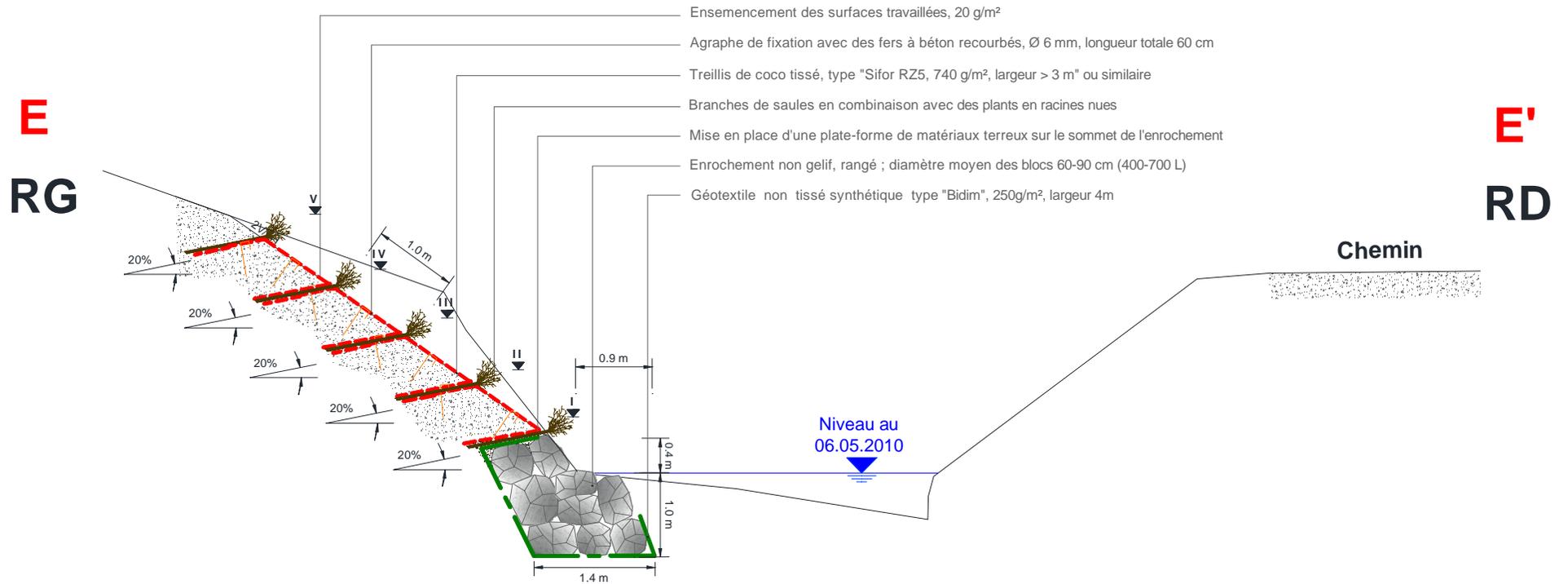
Réalisation d'un seuil de fond en rondins (cf. coupe D-D')



Aménagement type A
<p>Linéaire concerné ~ 18 m</p> <p>-> Voir profils types B-B' et C-C' (1:50)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage des berges en déblais/remblais ; - Mise en place d'une fascine de saules à double rangée de pieux comme protection de pied de berge (voir liste de plantes n°1) ; - Mise en place de lits de plants et plançons, renforcés en géotextile (voir liste de plantes n°2) ; - Ensemencement des surfaces travaillées (voir mélange grainier n°1, densité : 20 g/m²).

Aménagement type C
<p>Linéaire concerné ~ 13 m</p> <p>-> Voir profil type E-E' (1:50)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage des berges en déblais/remblais ; - Mise en place d'un enrochement de pied de berge, avec blocs d'apport ; - Mise en place de lits de plants et plançons, renforcés en géotextile (voir liste de plantes n°2) ; - Ensemencement des surfaces travaillées (voir mélange grainier n°1, densité : 20 g/m²).

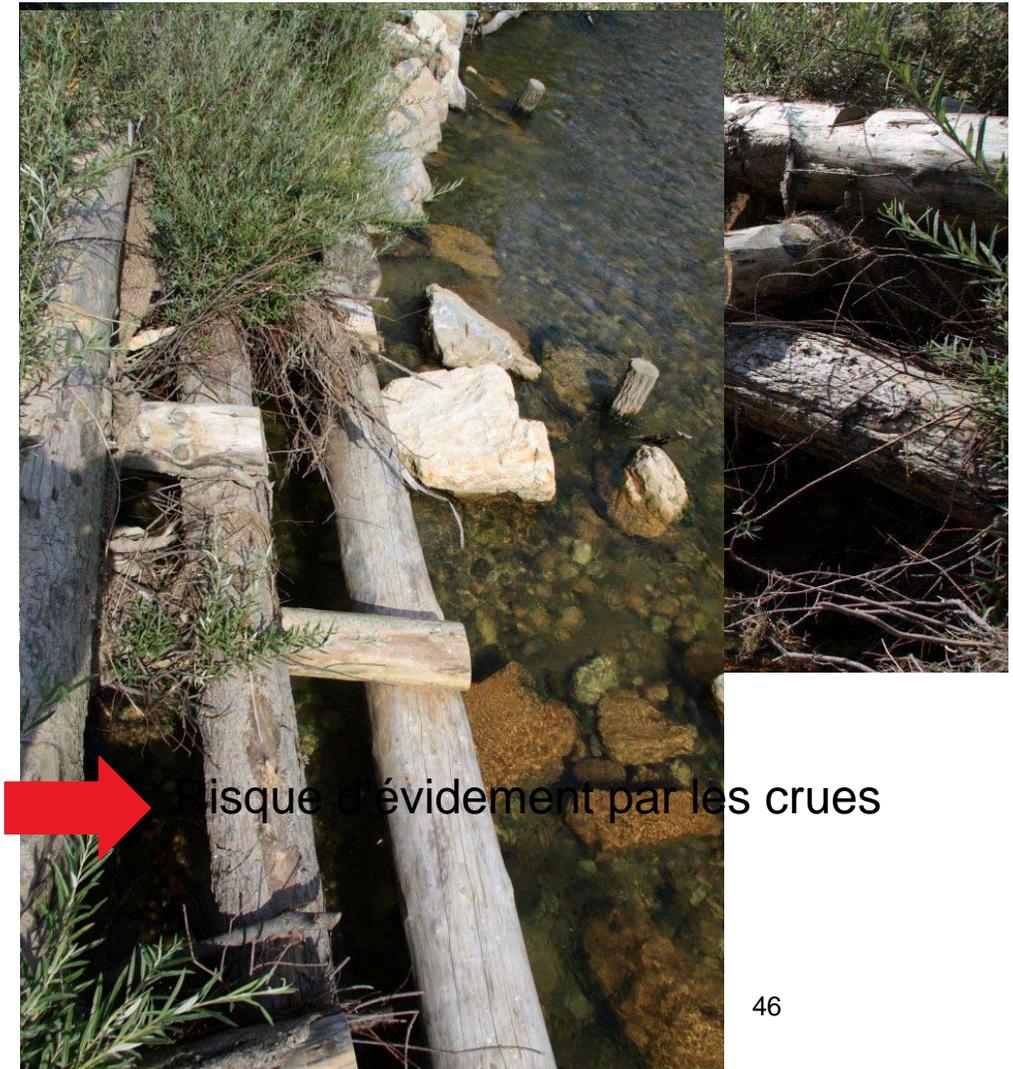




Caissons en rondins végétalisés Détails de mise en oeuvre



Eviter un remplissage après montage
de la structure bois



risque d'évidement par les crues

Caissons en rondins végétalisés Détails de mise en oeuvre



Remplissage au fur et à mesure du montage

Compactage par couche



Intégration d'un géotextile

Densité végétale élevée

Fascine de saules Détails de mise en oeuvre



Pose de ramilles
anti-affouillement



Début du
piégeage des
sédiments



Formation d'une risberme protectrice

Fascine de saules Détails de mise en oeuvre

Lit de plançons dressé
derrière la fascine

- renforce la transition
fascine –
aménagement
de berge
- augmente la rugosité



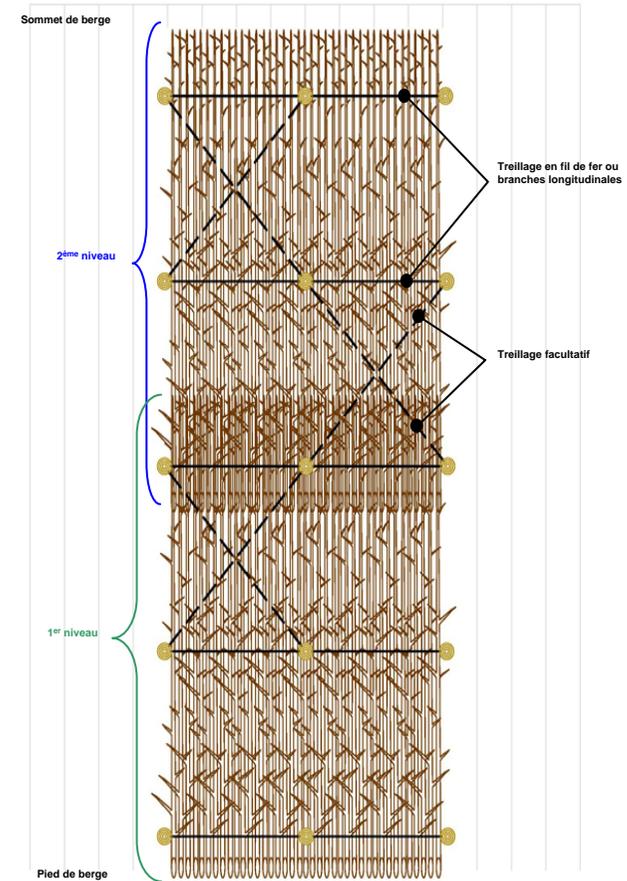
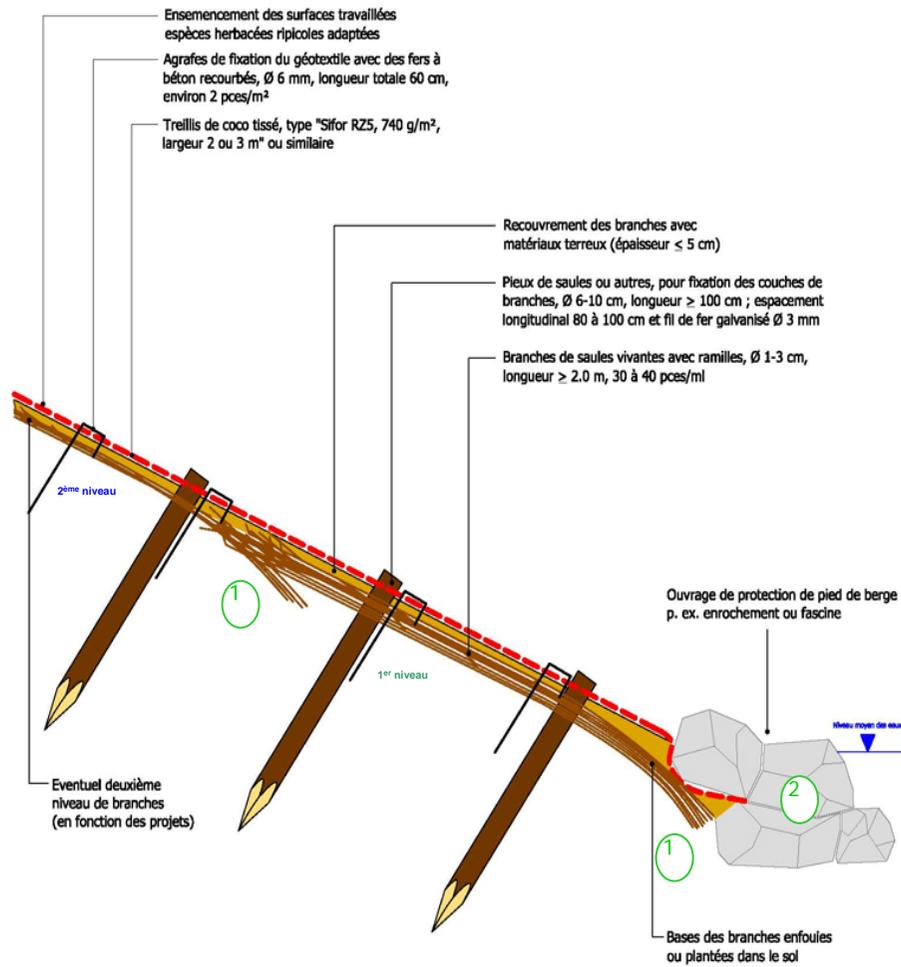
Le Bens à La Chapelle-de-Bard (38) Forêt domaniale de St-Hugon (ONF)



Le Bens : couches de branches à rejets



Le Bens : couches de branches à rejets



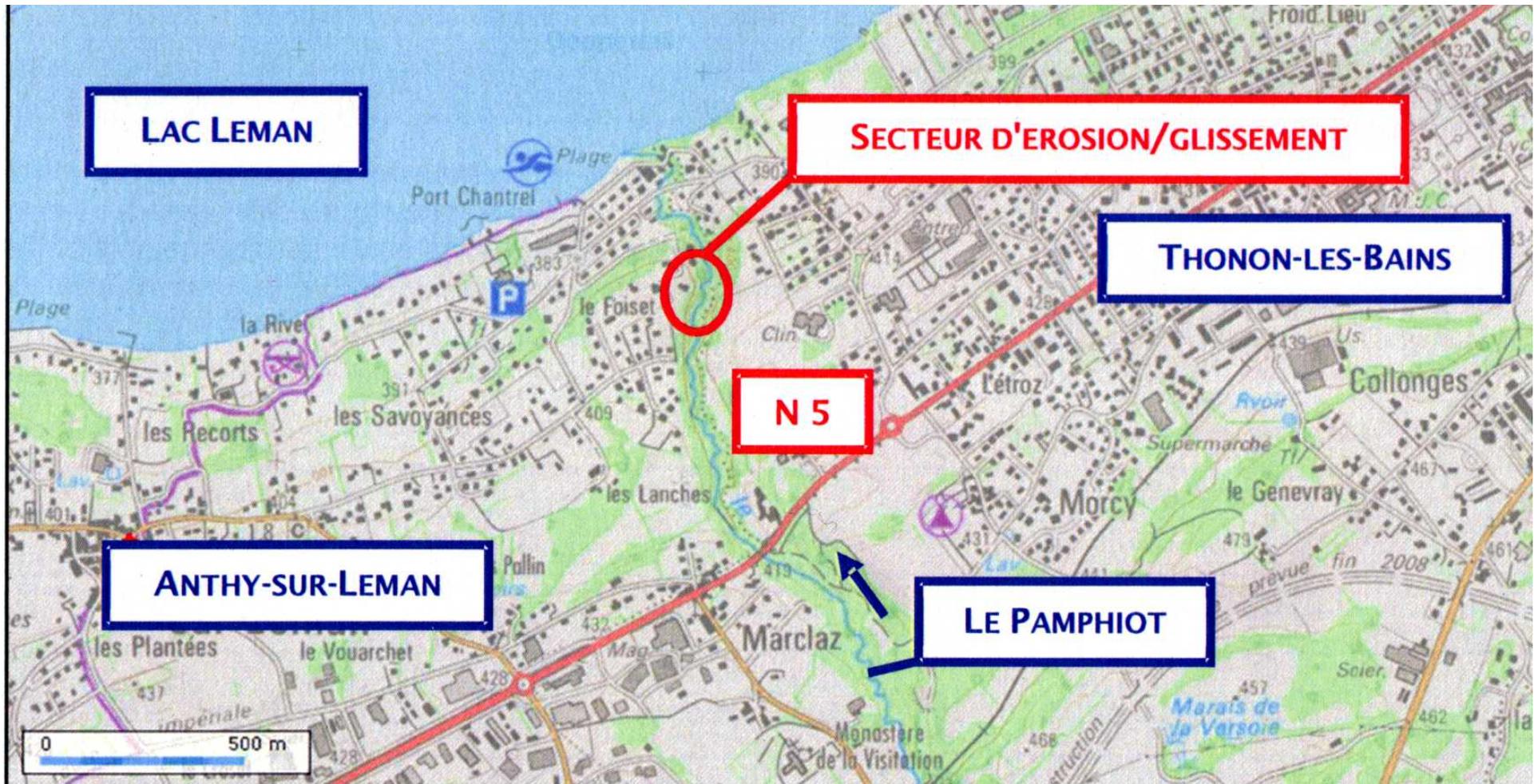
Le Bens : couches de branches à rejets



Le Bens : couches de branches à rejets



Le Pamphiot (SYMASOL) Anthy-sur-Léman





Conditions hydrauliques

- Pente : $2.21 / 65.1 = 3.39 \%$ (0.0339)
- Plus grandes crues connues : $13 \text{ m}^3/\text{s}$ (Hydrétudes, 2004)
- Hauteur d'eau sur étiage en crue : 0.75 m
- Force tractrice : 25.4 kg/m^2

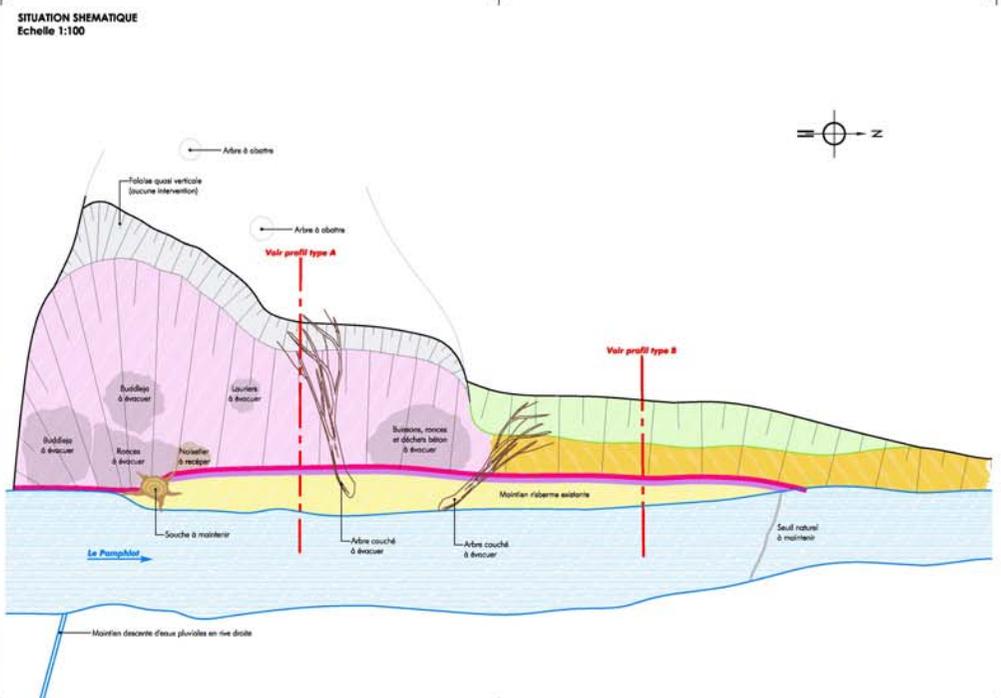
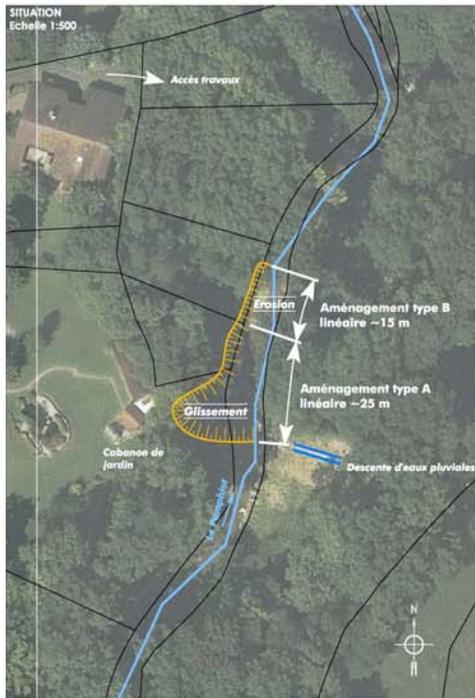
Valeur approchant le maximum généralement admis, pour
l'application des techniques de génie végétal

Le Pamphiot (SYMASOL) Anthy-sur-Léman



Photo: P-A. Frossard

Le Pamphiot (SYMASOL)



Légende végétalisation ligneuse

- Fascine de souches (liste des plantes n°1)
- Lit de plançons (liste des plantes n°2)
- Lit de plants et plançons (liste des plantes n°3)
- Boutures de souches (liste des plantes n°4)
- Plantations d'arbustes (liste des plantes n°5)

Travaux préliminaires :

- Installations de chantier
- Implantation des ouvrages, piquetage et marquage des travaux

Travaux forestiers et de confortement :

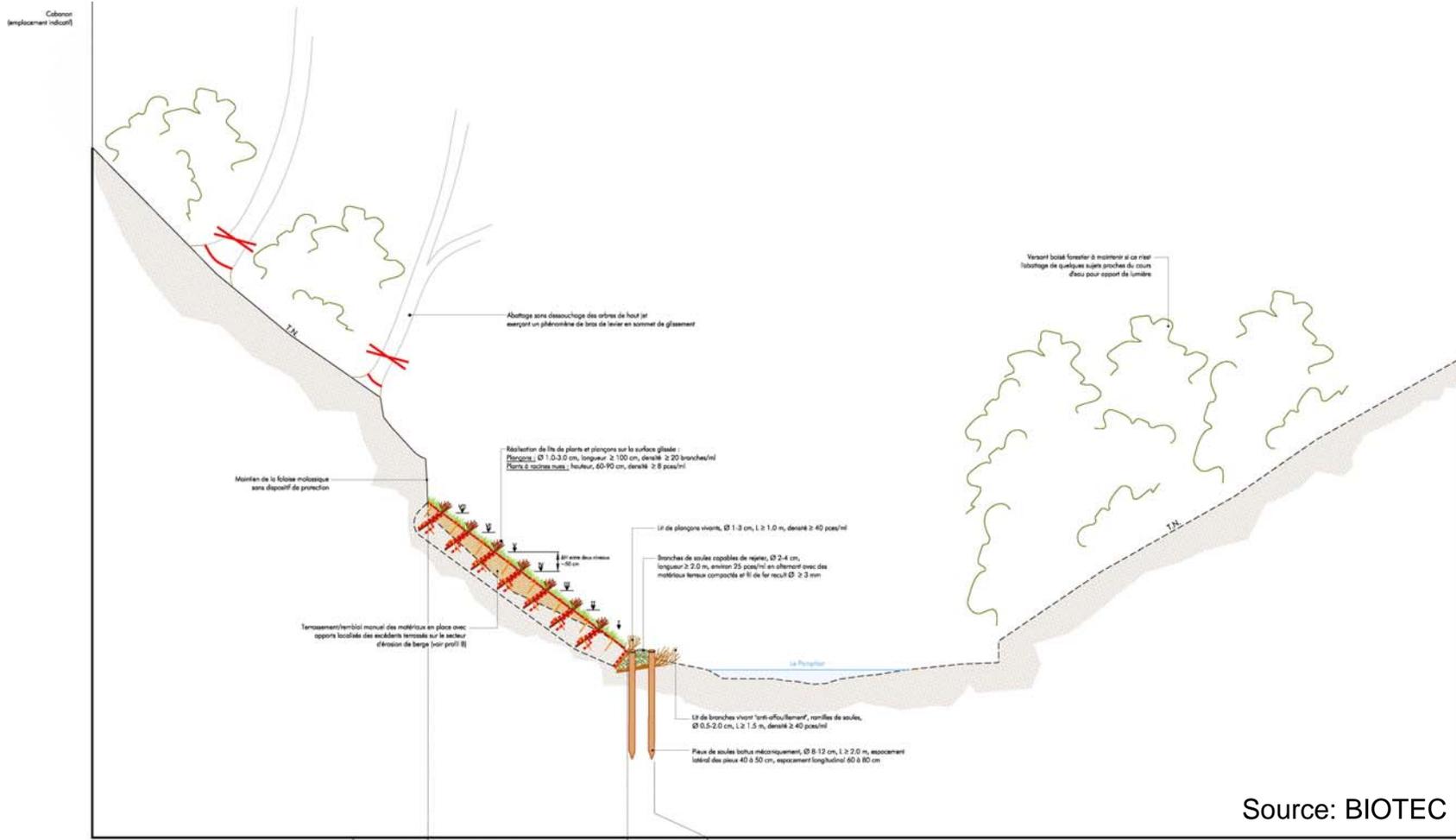
- Abattage de quelques grands arbres pour apport de lumière et limitation des effets de bras de levier (marquage lors des travaux)
- Enlèvement d'embûches, souches et épaves non indigènes sur l'emprise des travaux
- Débroussaillage de buissons et arbustes sur l'emprise des travaux
- Travaux de confortement (voir situation schématique)

Travaux de suivi et garantie des végétaux :

- Contrôle et surveillance des ouvrages
- Fouchage et ombrage nécessaire au bon développement des végétaux
- Elimination des essences exotiques indésirables en bordure de cours d'eau

Source: BIOTEC

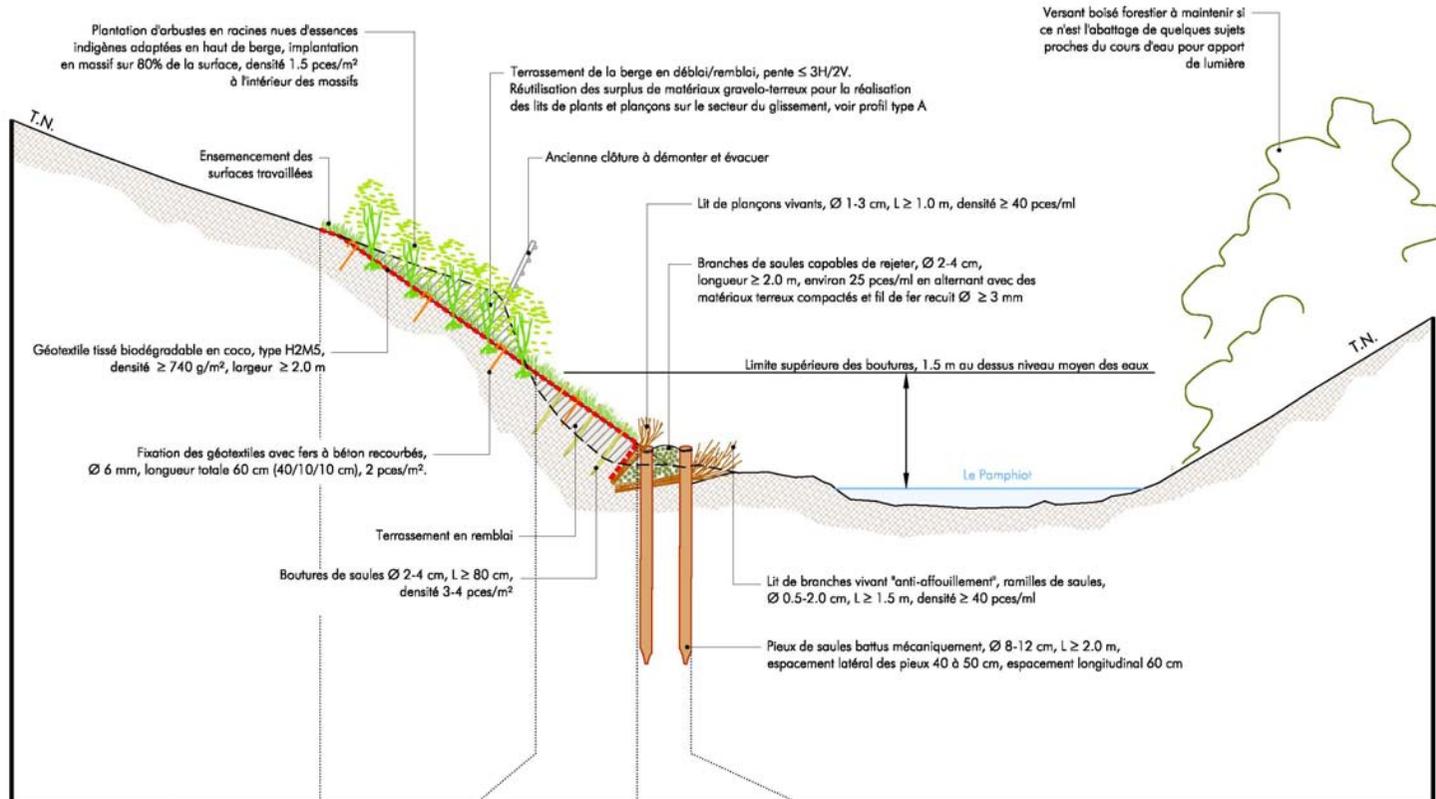
Le Pamphiot (SYMASOL)



Source: BIOTEC

Aménagements	Lits de plants et plongons + ensèmentement	Fosnes de soules = lit de plongons
Distance réelle	6.4 m	0.7 m
Distance plane	5.2 m	0.7 m
Ligne de plantes	3	1 + 2
Mélange granulier	1	-

Le Pamphiot (SYMASOL)



Aménagements	Plantations + ensemencement	Boutures + ensemencement	Fascine de saules + lit de plançons
Distance réelle	3.4 m	1.6 m	0.7 m
Distance plane	2.8 m	1.3 m	0.7 m
Liste de plantes	5	4	1 + 2
Mélange grainier	1	1	--

Source: BIOTEC

Merci pour votre attention

