



Technique de génie végétal applicables en rivières de montagne

Les ouvrages bois: des techniques à développer

Journée technique d'information et d'échanges

Jeudi 05 juillet 2012 à Ollon (canton de Vaud,
Suisse)

Intervention de Damien ROMAN , responsable
national du produit ouvrage bois à l'ONF



■ Sommaire

- 1) Historique et panorama
- 2) Pourquoi construire en bois ?
- 3) Le renouveau du bois dans nos cours d'eau de montagne...
 - Les ouvrages transversaux
 - Les ouvrages de protection de berge
- 4) Le matériau bois , caractéristiques techniques et durabilité
- 5) dimensionnement et mise en oeuvre



■ Un retour historique sur l'utilisation des ouvrages en bois dans les cours d'eau de montagne...

■ Fin du XIX et début du XX^{ième} siècle avec l'instauration des lois de restauration des terrains en montagne en France de 1860 et 1882 suite au déboisement massif qu'a connu nos forêts et aux nombreuses catastrophes rencontrées.

■ Une utilisation du bois pour réaliser des ouvrages pas seulement en France mais également dans les autres pays de l'arc alpin (Suisse, Autriche , Italie) et pyrénéen (Espagne)



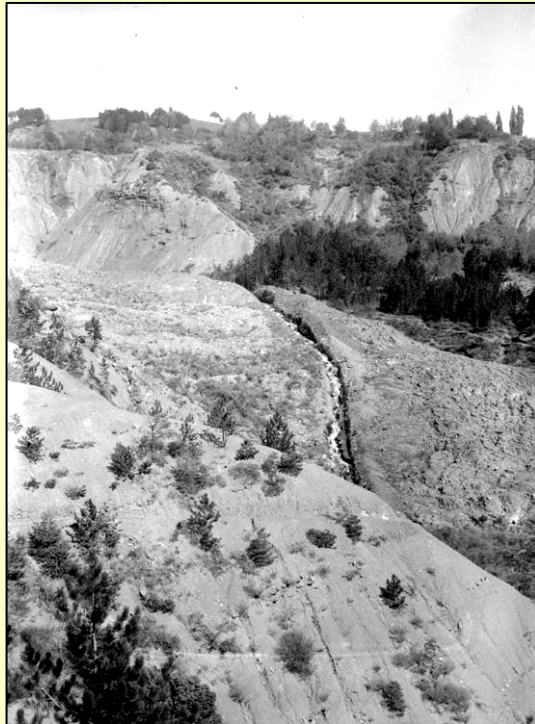
Le bois dans la construction d'ouvrages de génie civil en montagne



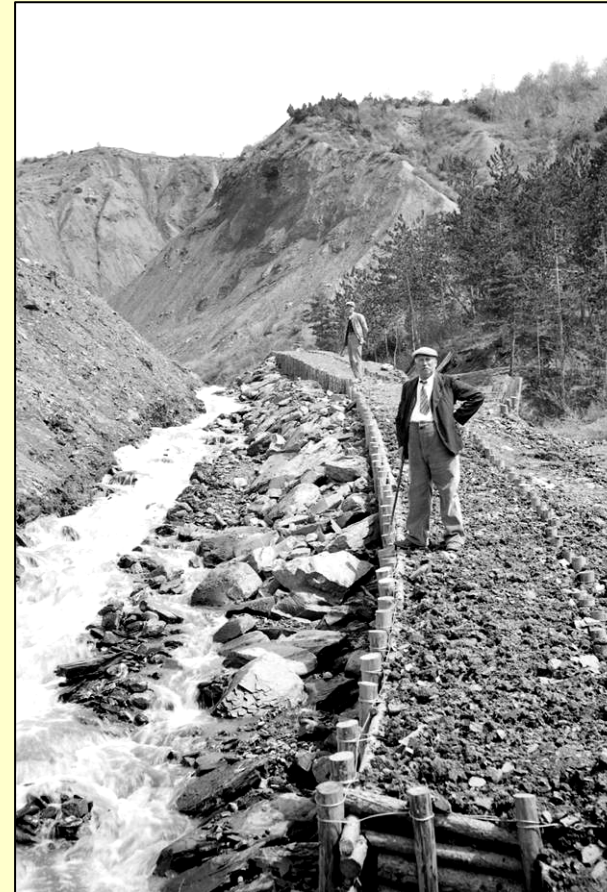
SD de Vars - torrent du Chagnon -barrages en pilotis - 1910



Le bois dans la construction d'ouvrages de génie civil en montagne



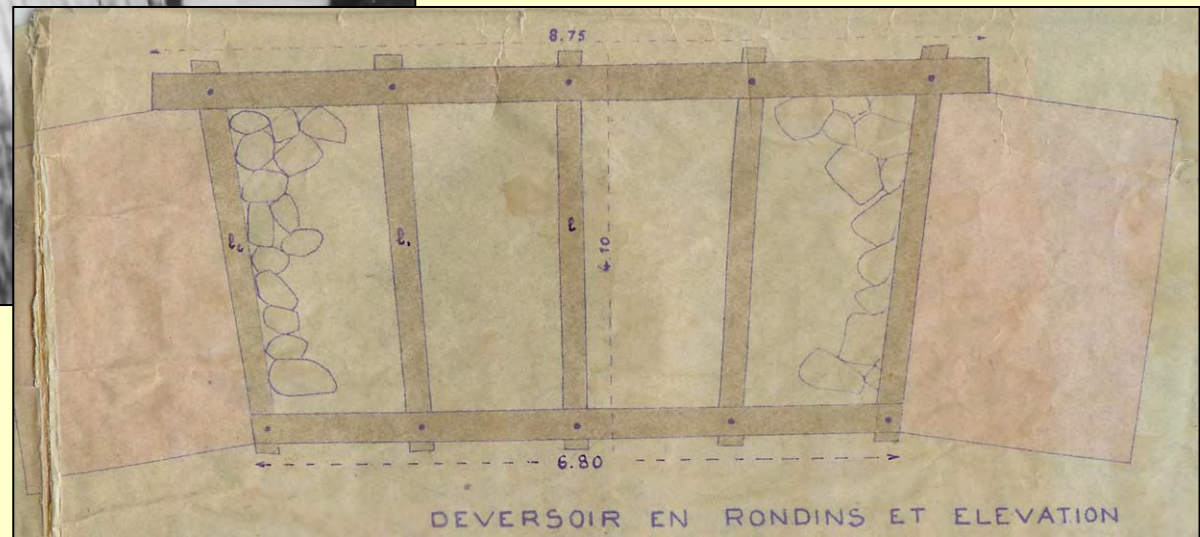
SD d'Embrun - torrent du Sainte Marthe -1933



SD d'Embrun - torrent du Sainte Marthe -1937



Le bois dans la construction d'ouvrages de génie civil en montagne



SD Crots -torrent du Boscodon -barrage Poncet - septembre 1950



Le bois dans la construction d'ouvrages de génie civil en montagne



Crévoux - La Chalp - 22/11/1954



Le bois dans la construction d'ouvrages de génie civil en montagne



SD de Marnaz - (74) - état actuel de barrages de seuils construits en 1923



Le bois dans la construction d'ouvrages de génie civil en montagne



photo juillet 1994

photo 08/10/2003



Commune de Crots - torrent de l'Infernet -
barrage de l'ASA du canal des Rigues



Le renouveau du bois



Rif du Sapé - Exilles - Italie - photo du 26/04/2006



Le bois dans la construction d'ouvrages de génie civil

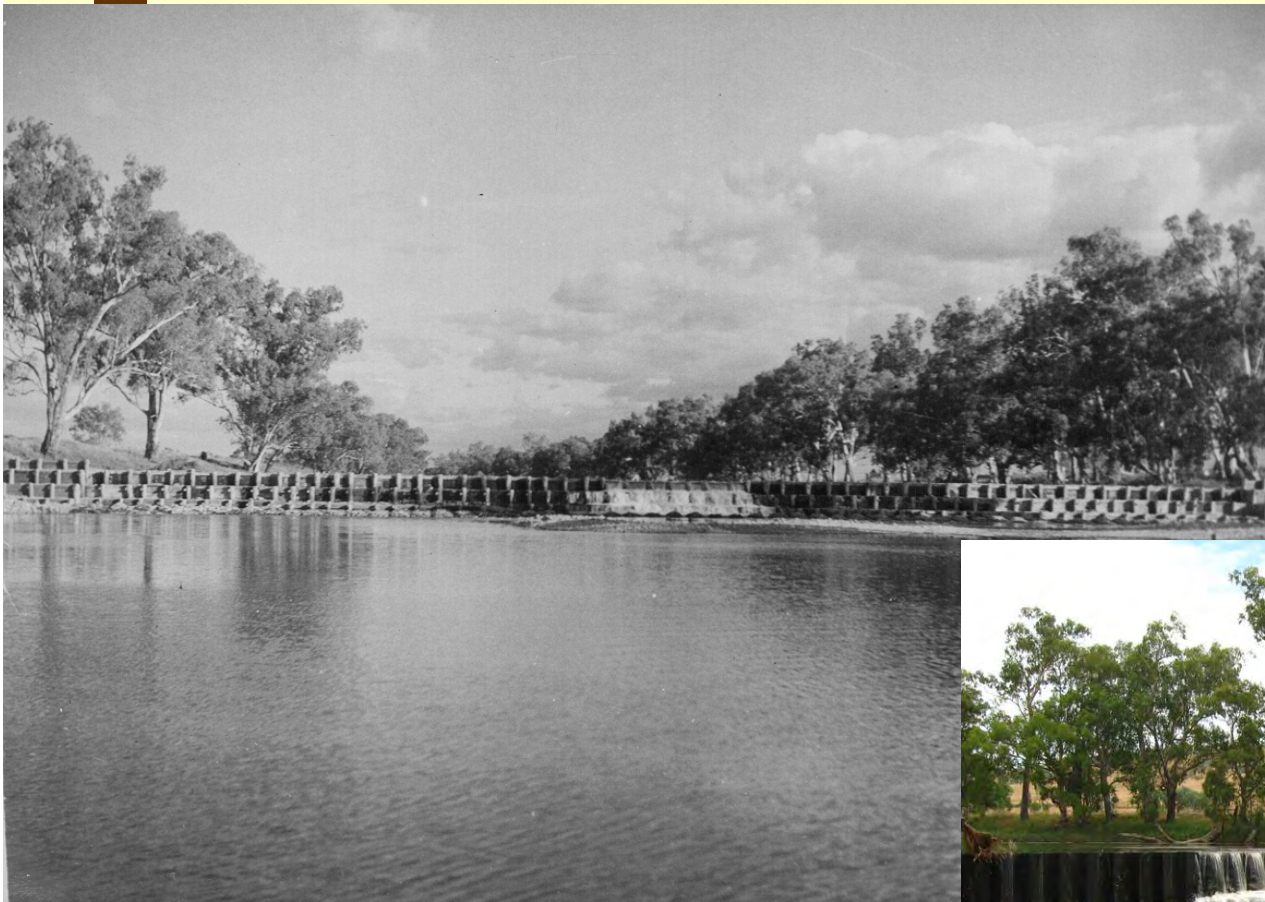


Puicerda – Espagne - 2010



Achevé en 1951, le barrage
l'Inglewood (Queensland,
Australie)





Bonshaw Weir (Queensland, Australie) Sa structure en caisson bois de 3.7 mètres de hauteur et 144.5 m de long était constituée par 4 marches de chacune 0.9 m de haut.
mai 1953





Pourquoi construire en bois dans les cours d'eau ?

Atouts et performances du matériaux bois

■ Performances environnementales et écologiques

- Matériaux naturelle renouvelable
- Contribue à lutter efficacement contre la diminution des gaz à effet de serre dans l'atmosphère en stockant du carbone et en retardant son émission
- Sa transformation nécessite peu d'énergie/autres matériaux de constructions
- Sa transformation est peu consommatrice d'eau
- Sa transformation génère peu de déchets qui peuvent être valorisé en sous-produit
- Matériaux permettant une bonne intégration paysagère des ouvrages
- Matériaux se dégradant naturellement



■ Pourquoi construire en bois dans les cours d'eau ?

Atouts et performances du matériaux bois

■ Performances techniques et mécaniques

- matériaux solide et léger ($d \text{ moy} = 450 \text{ kg/m}^3$, béton $d = 2500 \text{ kg/m}^3$, acier 7800 kg/m^3)
- résistance mécanique élevée par rapport à sa masse
- matériaux résistant aux chocs et déformations
- forme adaptée pour une mise en œuvre nécessitant peu de façonnage
- matériaux inoxydable
- des méthodes de classement et de dimensionnement encadrées par des normes européennes
- des mécanismes de dégradation biologiques connus et maîtrisés encadrés par des normes



■ Pourquoi construire en bois dans les cours d'eau ? *Atouts et performances du matériaux bois*

■ Performances socio-économiques

- valorisation de matière première locale = créateur de richesse et d'emplois locaux
- coût et délais de construction réduits dans le cas des circuits courts
- valeur ajoutée importante (plus de 50% du coût des ouvrages sert à financer la main d'œuvre)



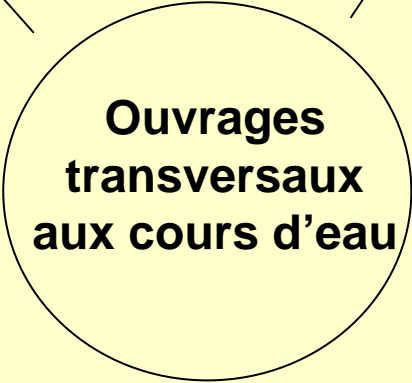
Le renouveau du bois dans nos cours d'eau de montagne...

Quelles utilisations, réalisations et retours d'expériences ?



Barrages à double parois

Seuils à simple paroi



Barrages à simple paroi



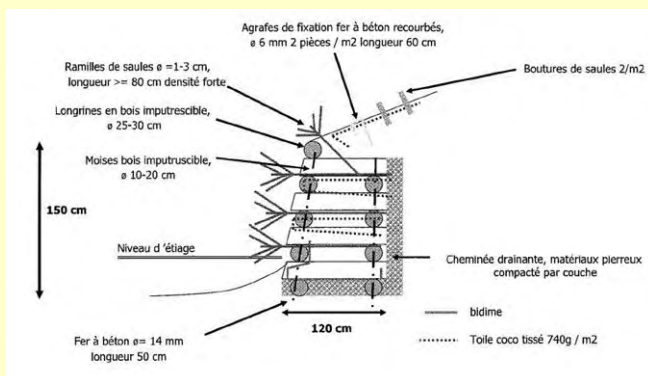
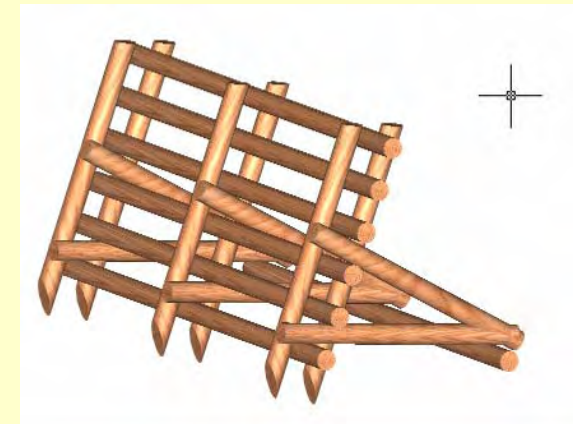


Ouvrages à doubles parois végétalisées

Ouvrages autostables



Ouvrages de soutènement de berges

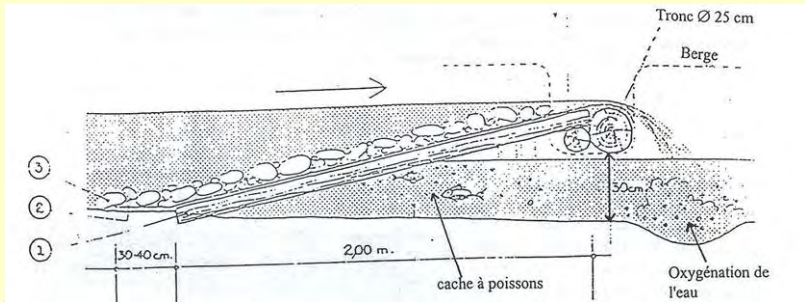




Seuils avec caches à poissons

Passe à poissons

Ouvrages piscicoles



les ouvrages bois



Les ouvrages transversaux et de stabilisation



■ Seuil à simple paroi



Castillon - Alpes-Maritime -10/05/05





■ Seuil à simple paroi à tirant



MONTHEZ - Nant de Choex Suisse - 04/06/2008





Seuil à simple paroi à tirant

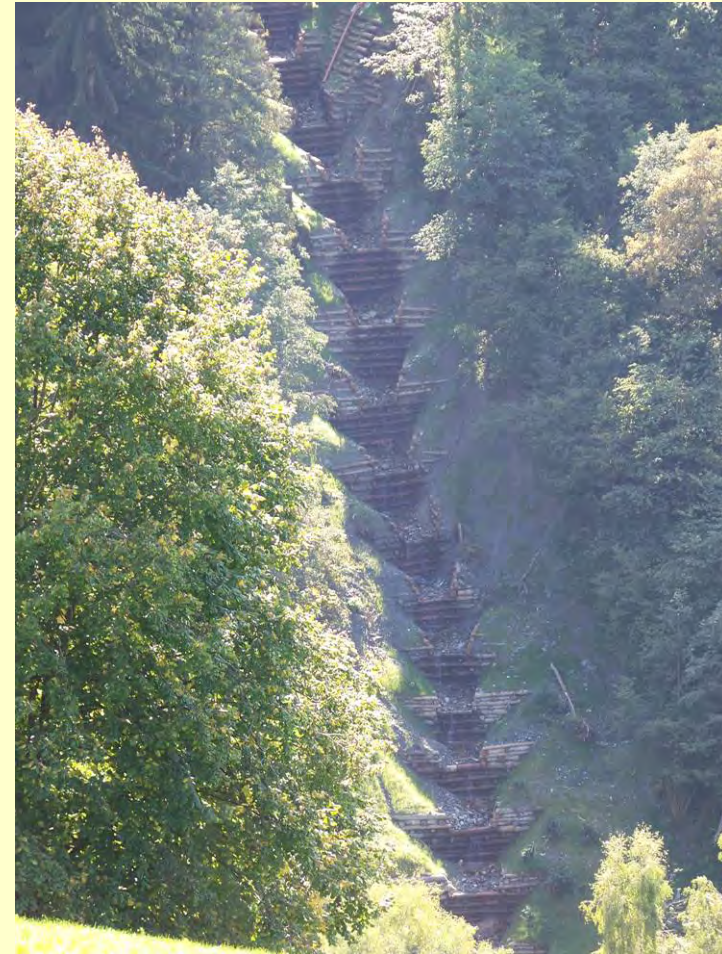


SD Crots - site de Bragousse - S04

25/09/2009



Barrages à double parois



SD Monetier les Bains - torrent de Saint Joseph - photo 23/05/2003

Insbruck (Autriche) 2010



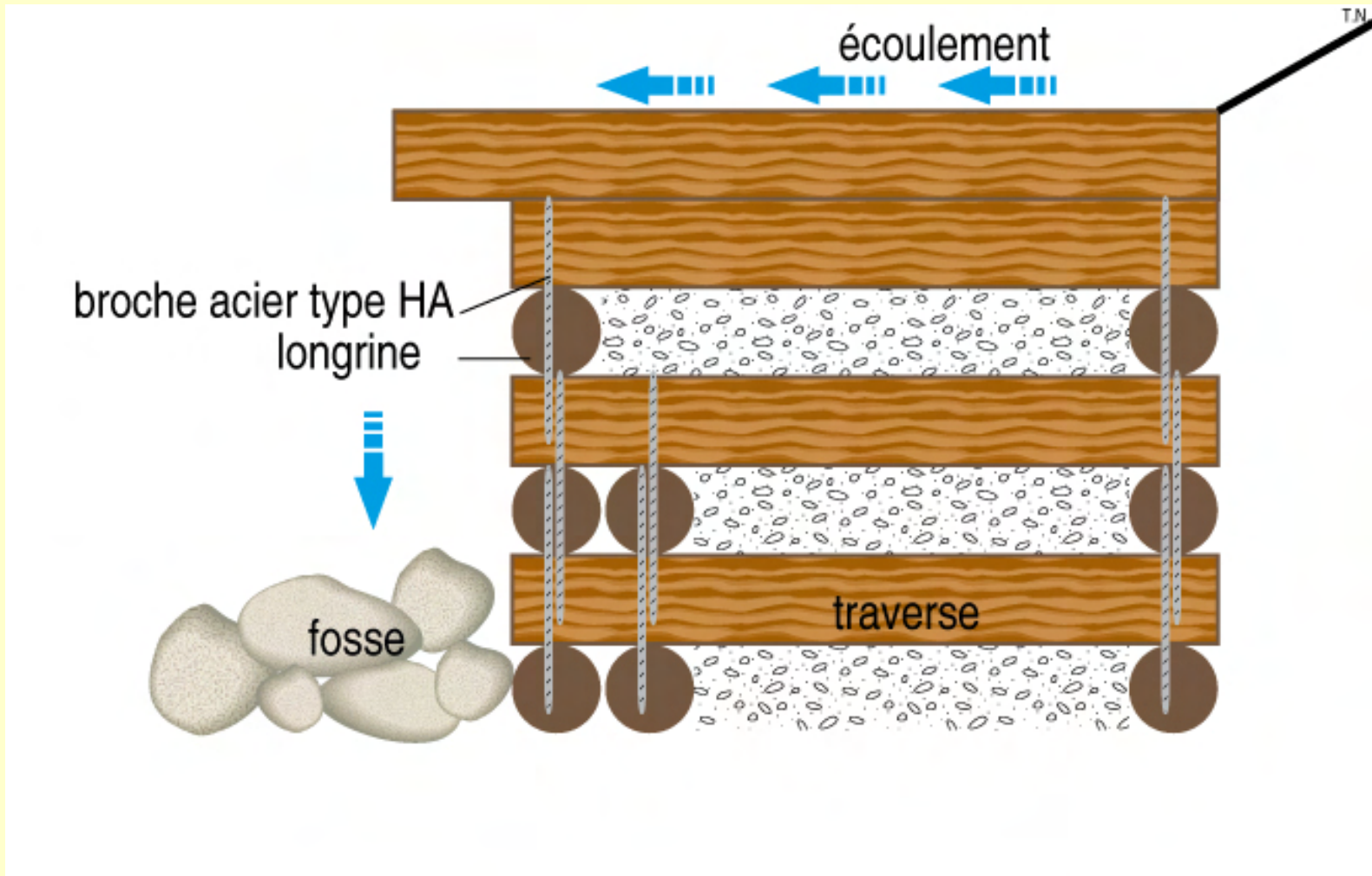
Vocabulaire

Bois
longitudinaux
= longerons
= longrines



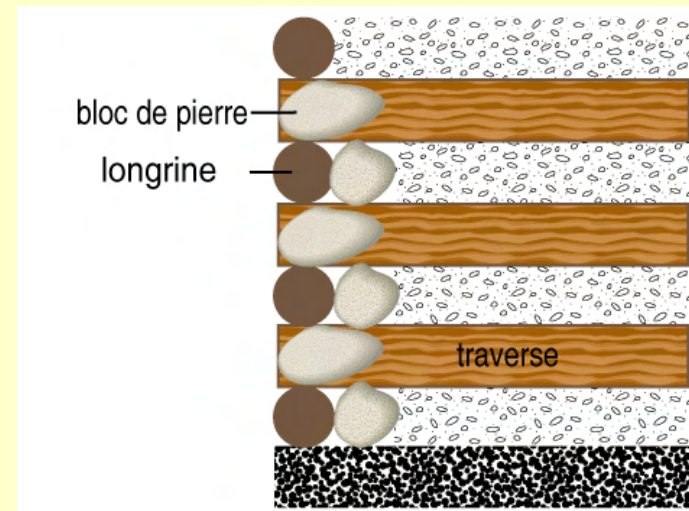
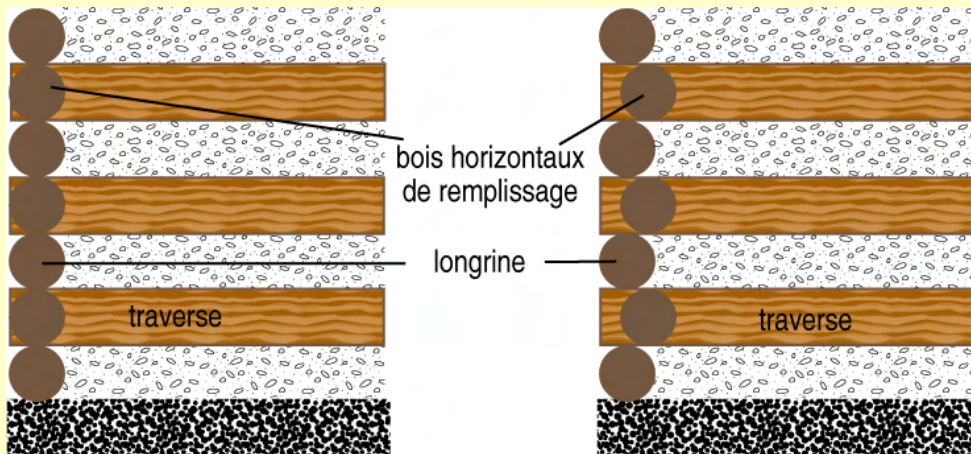
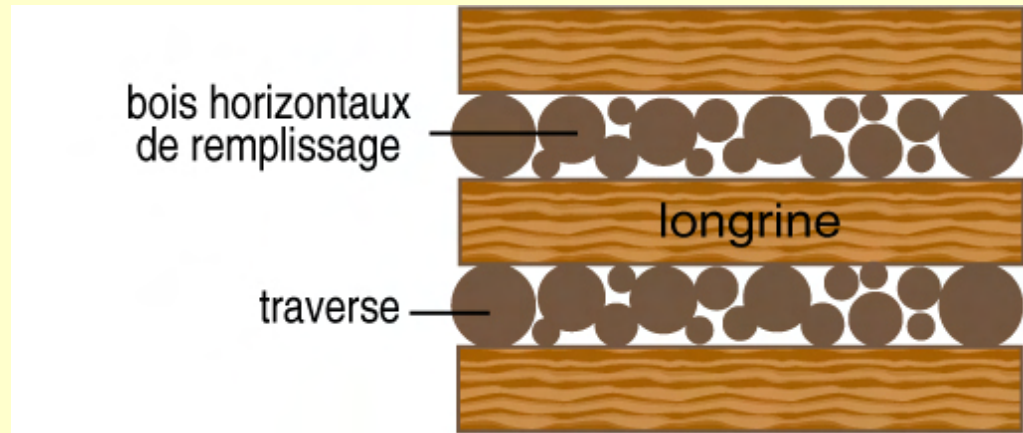
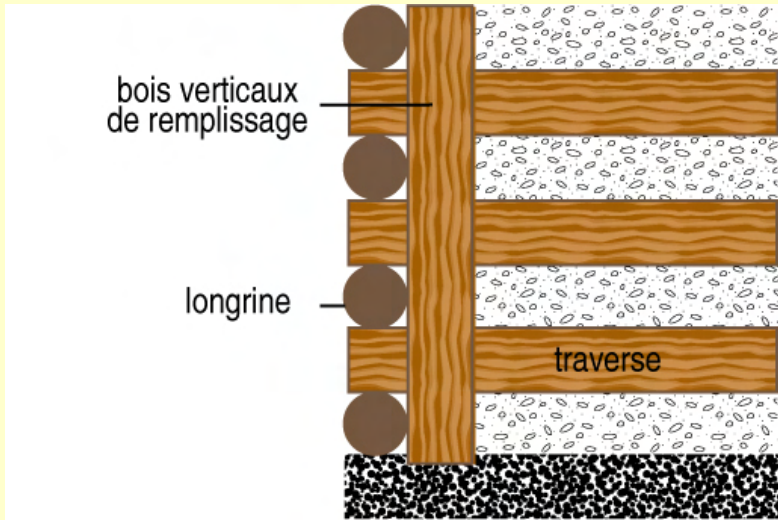
Bois transversaux
= traverses
= pincés
= tirants

SD Crots -site de l'Infernet - photo 17/11/2003





Les parements





■ Seuil & barrage à double parois – parement en pierre



Italie , Val d'Aoste 2008



SD Vars Torrent du Chagnon Barrage Poncet 13/05/2005



■ Seuil à double parois – parement en bois



Figure 28 : parement bois parallèle aux longerons : fiche 05-07 (cliché RUOLT, 2005)



Écully (69) / Département du Rhône / Brigade verte



Seuil à double parois – parement en bois



FD St EYNARD (38) / Ecorchiers / Parement châtaignier avec bouches trous 2012



Cne La Terrasse (38) Parement en châtaignier avec bouches trous bois 2012 31



■ Barrage à double paroi - voile en rondin



Uvernet (04)



Riou Bourdou (RTM04) 2009



Barrage à double paroi - ailes incorporées



ONF D ROMAN Sestrière Italie 2011



Autriche



SD Monetier les Bains - Torrent de Saint Joseph - 2004



Barrage à double paroi - ailes poids



SD Saint Clément - torrent des Arvettes - photo mai 2005



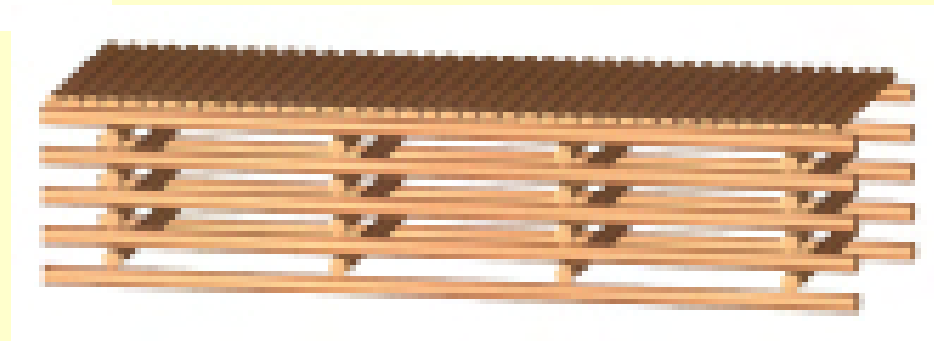
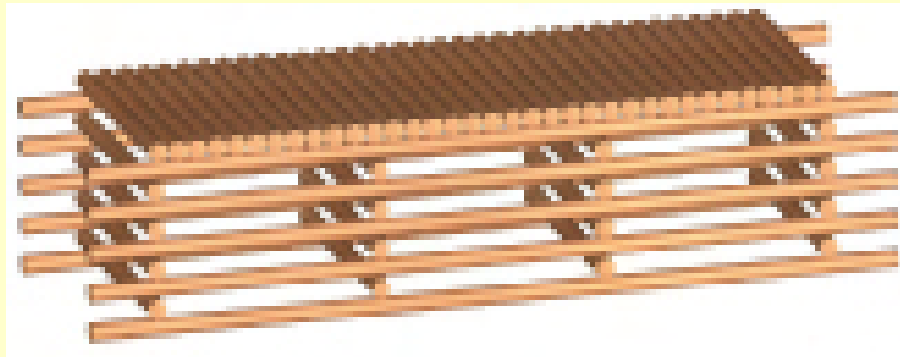
Barrage à double paroi ailes simple paroi



SD Crots - site de l'Infernet - photo mai 2005



■ Les platelages bois





Barrage à double paroi cuvette en rondin de bois



Commune di Chiesa Pesio (CN)



Barrage à double paroi cuvette en rondin



SD Crots - torrent de Boscodon - Barrage Poncet - 1950



Barrage grille



Suisse - Martigny



Les ouvrages de protection de berges de cours d'eau



Caisson végétalisé de soutènement de berge

Projet interreg Géni'Alp (FD de St Hugon) Chapelle du Bard (38)







Caisson végétalisé de soutènement de berge

Projet interreg Géni'Alp (FD de St Hugon) Chapelle du Bard (38)





Caisson végétalisé de soutènement de berge

Projet interreg Géni'Alp (FD de St Hugon) Chapelle du Bard (38)





Caisson végétalisé de soutènement de berge

Projet interreg Géni'Alp (FD de St Hugon) Chapelle du Bard (38)





Le matériaux bois dans la construction : caractéristiques mécaniques et durabilité



Le matériau bois

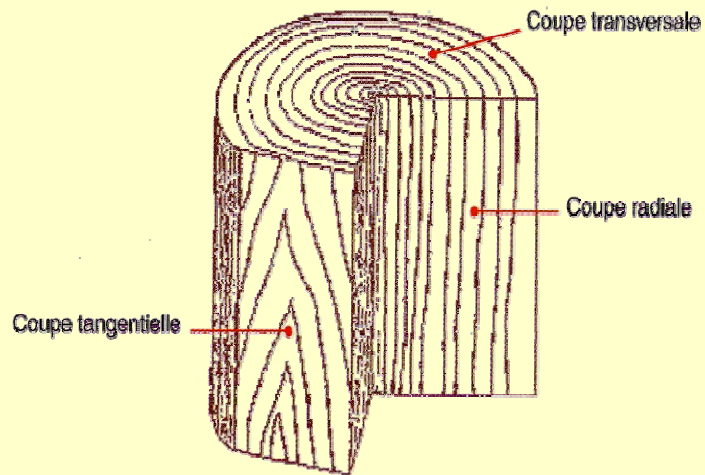


Figure 1 - Coupe d'une bille de bois et représentation des trois directions principales.

matériau anisotrope

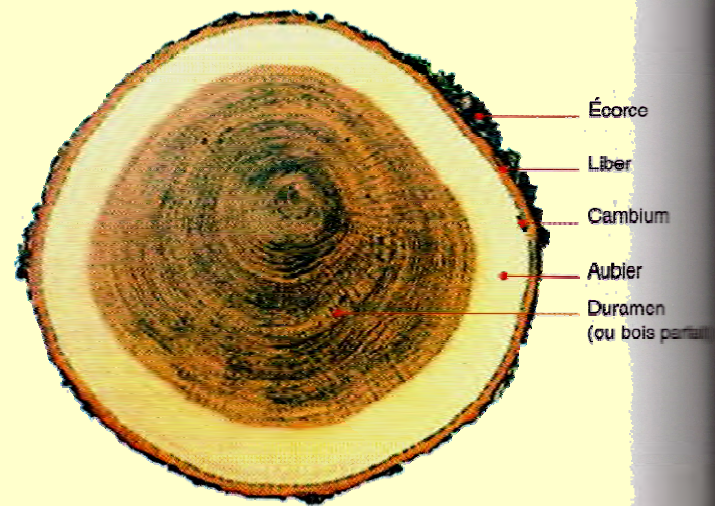


Figure 2 - Coupe transversale d'un chêne.

matériau hétérogène

Recommandations pour l'inspection des ouvrages en bois - LCPC - 2008



Le matériau bois - classement visuel

1.5 Classement visuel des bois : D'après la norme NF-B-52-001 de décembre 1998

Classe :		ST-I	ST-II	ST-III
Critère		<i>meilleur bois</i>	<i>charpente</i>	
Cernes d'accroissements (mm)		≤ 6 mm	≤ 8 mm	≤ 10 mm
Diamètre des nœuds	Sur la face	$\phi \leq 1/6$ de l et ≤ 30 mm	$\phi \leq 1/2$ de l et ≤ 50 mm	$\phi \leq 3/4$ de l et ≤ 100 mm
	Sur la rive	$\phi \leq 2/3$ de l'épaisseur de la rive et ≤ 40 mm		
Fentes	Traversantes	Longueur ≤ 2 * la largeur de la pièce		Longueur ≤ 600 mm
	Non traversantes	Longueur ≤ 0.5 * longueur de la pièce		Non limitée
Grosses poches de résine		Non admise	Admise si < 80 mm	
Entre écorce		Non admise		
Pente de fil	Locale	1 : 10	1 : 4	
	Générale	1 : 14	1 : 6	
Flaches	Longueur	Non admises	< 1/3 de la longueur de la pièce et < 100 mm	
	Largeur		< 1/3 de l'épaisseur de la rive	
Altérations biologiques	Bleu - Trace de gui	Admis		
	Piqûres noires	Admis si elles apparaissent sur une seule face		
	Echauffure	Non admise		
Déformations maximale <small>en mm pour une longueur de 2 m</small>	Flèche de face	< 10		< 20
	Flèche de rive	< 8		< 12
	Gauchissement	1 mm / 25 mm de largeur		2 mm / 25 mm de largeur
	Tuilage	Pas de restriction		

Il aboutit à 3 classes ST-I, ST-II, ST-III (anciennement catégories 1, 2 et 3)

Ces classes permettront d'obtenir les résistances pour le dimensionnement des structures



Le matériau bois - classe de résistance

1.6 Conversion classes visuelles – classes de résistance

Classes visuelles NF-B52 001-4			
Essences	ST III	ST II	ST I
Sapin, Epicéa	C22	C24	C30
Douglas	C22	C24	C30
Pin noir, Pin laricio	C18	C18	C27
Pin Maritime	C18	-	-
Peuplier	C22	-	C27

Où C18, C22, C24, C27, C30 correspondent à des classes de résistance européennes pour lesquelles on a les résistances caractéristiques pour les différentes sollicitations (voir plus loin).



EC5 Classement mécanique des bois

Résistances caractéristiques réglementaires (EC5)

Valeurs caractéristiques en Bois Massif (BM) résineux

		C18	C22	C24	C27	C30
Propriétés de résistance en MPa						
Flexion	$f_{m,d}$	18	22	24	27	30
Traction Axiale	$f_{t,d}$	11	13	14	16	18
Traction transversale	$f_{t,90,d}$	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
Compression axiale	$f_{c,d}$	18	20	21	22	23
Compression transversale	$f_{c,90,d}$	4.8	5.1	5.3	5.6	5.7
Cisaillement	$f_{v,d}$	2.0	2.4	2.5	2.8	3.0
Propriétés de rigidité en Mpa						
Module moyen d'élasticité axiale	$E_{0,moyen}$	9000	10000	11000	12000	12000
Module d'élasticité axiale au fractile de 5%	$E_{0,05}$	6000	6700	7400	8000	8000
Module moyen d'élasticité transversale	$E_{90,moyen}$	300	330	370	400	400
Module moyen de cisaillement	G_{moyen}	560	630	690	750	750
Masse Volumique en kg/m³						
Masse volumique au fractile de 5%	ρ_k	320	340	350	370	380
Masse volumique moyenne	ρ_{moyen}	380	410	420	450	460

← flexion

Pour mémoire les résultats des essais ont donnés pour du bois C24:

Compression axiale

37,8 MPa,

Traction Axiale :

80 MPa,

Flexion

75 MPa

Résistance béton 350 kg/m³ :

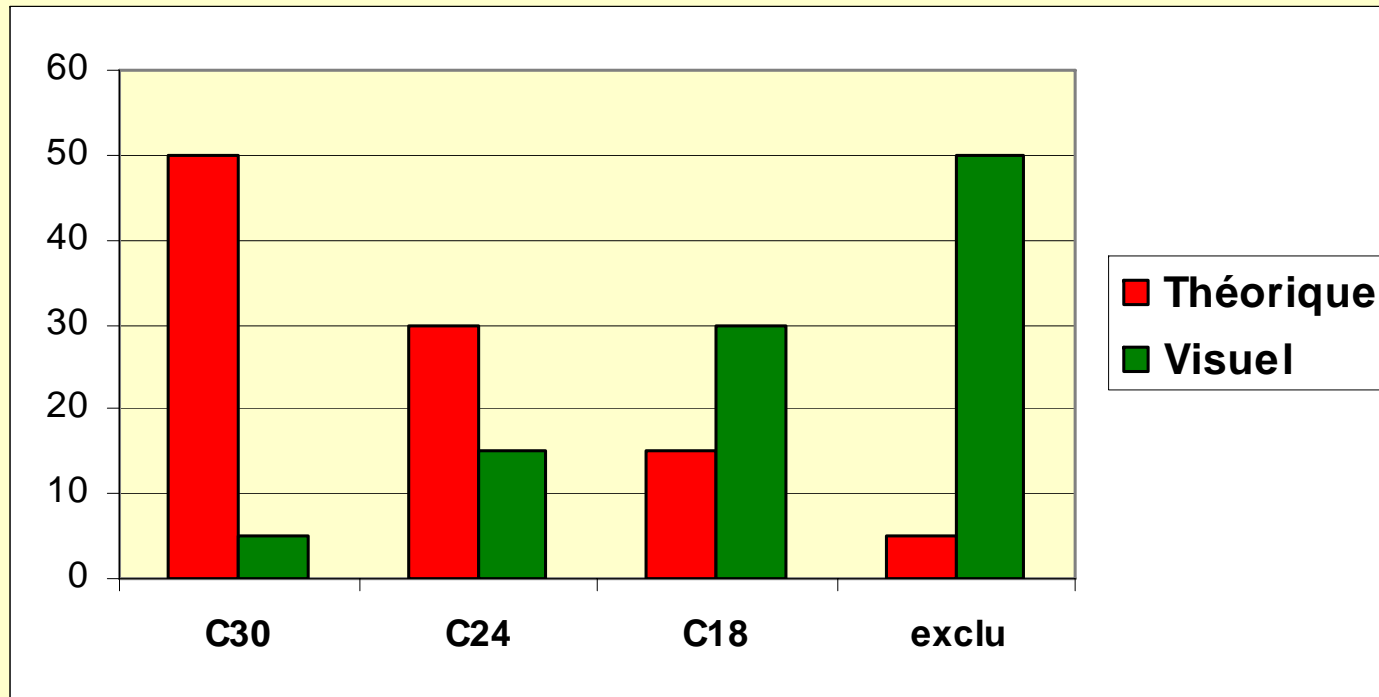
19,5 MPa à 7 jours

30 MPa à 28 jours

Pression : 1 MPa = 1 kg / cm² = 10 t / m²



Le matériau bois - résistance



Pas de machine certifiée en France aujourd'hui

Classement visuel très pessimiste, très dégradant par rapport aux performances mécaniques réelles



La durabilité du bois

Les agresseurs du matériaux bois

Les insectes

- à larve xylophage : ex le capricorne
- xylophages : ex les termites

Les champignons

- le plus fréquent et le plus dangereux : la mэрule
- humidité du bois $> 20\%$, $20^\circ > t > 26^\circ$, O^2



■ La durabilité du bois

- varie en fonction des espèces
- varie entre les arbres de la même espèce
- varie en fonction de la position sur le tronc
 - durabilité diminue vers le cœur (maxi à l'interface aubier-duramen)
 - durabilité diminue avec la hauteur de l'arbre (maxi à la base)



La durabilité du bois

Classes de risques

Norme européenne EN 335

Classes	Situation en service	Exemples d'emplois	Zone « sensible »	Risque biologique
1	Bois toujours sec Humidité des bois toujours inférieure à 18 %	Menuiseries intérieures à l'abri de l'humidité : parquets, escaliers intérieurs...	2 mm	<ul style="list-style-type: none"> - Insectes - Termites dans les régions infestées
2	Bois sec dont la surface est humidifiée temporairement ou accidentellement Humidité des bois en moyenne inférieure à 18 %	Charpente, ossatures correctement ventilées en service	2 mm	<ul style="list-style-type: none"> - Insectes - Champignons de surface - Termites dans les régions infestées
3	Bois soumis à des alternances humidité/sécheresse	Toutes pièces de construction ou menuiseries extérieures verticales soumises à la pluie : bardages, fenêtres... Pièces abritées mais en atmosphère condensante	Toute la partie humidifiable de la zone non durable naturellement	<ul style="list-style-type: none"> - Pourriture - Insectes - Termites dans les régions infestées
4	Bois d'humidité toujours supérieure à 20 %, en tout ou partie de son volume	Bois horizontaux en extérieur (balcons, coursives...) et bois en contact avec le sol ou une source d'humidification prolongée ou permanente	Toute la zone non durable naturellement	<ul style="list-style-type: none"> - Pourriture - Insectes y compris termites
5	Bois en contact permanent avec l'eau de mer	Piliers, pontons, bois immergés	Toute la zone non durable naturellement	<ul style="list-style-type: none"> - Pourriture, - Insectes - Térébrants marins

ST : Sans traitement : Bois parfait désaubiéré (durabilité naturelle)



La durabilité du bois

Durabilité naturelle des bois
Norme européenne EN 350-1

ST : Sans traitement : Bois parfait désaubiéré (durabilité naturelle)

AT : Avec traitement : Ensemble bois parfait et aubier traité (durabilité conférée)

*ESSENCES RÉSINEUSES
ORIGINAIRES DES ZONES TEMPÉRÉES*

Essences	Classes de risques							
	1		2		3		4	
	ST	AT	ST	AT	ST	AT	ST	AT
DOUGLAS	oui	oui	oui	oui	non	oui *	non	non **
ÉPICÉA	non	oui	non	oui	non	oui *	non	non **
HEMLOCK	non	oui	non	oui	non	oui	non	oui
MÉLÈZE	oui	oui	oui	oui	non	oui	non	oui *
PIN MARITIME	oui	oui	oui	oui	non	oui	non	oui
PIN NOIR	oui	oui	oui	oui	non	oui	non	oui
PIN SYLVESTRE	oui	oui	oui	oui	non	oui	non	oui
PITCHPINS	oui	oui	oui	oui	non	oui	non	oui *
SAPIN	non	oui	non	oui	non	oui	non	oui *
RED CEDAR	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non

(*) Sous réserve d'adaptation du procédé pour obtenir une concentration efficace dans le bois.

(**) Il est cependant possible d'avoir recours à des procédés complémentaires, mécaniques ou physiques, destinés à permettre une imprégnation suffisante mais avec des modifications d'aspect parfois importantes (fendillements, créosotage, incisions avant



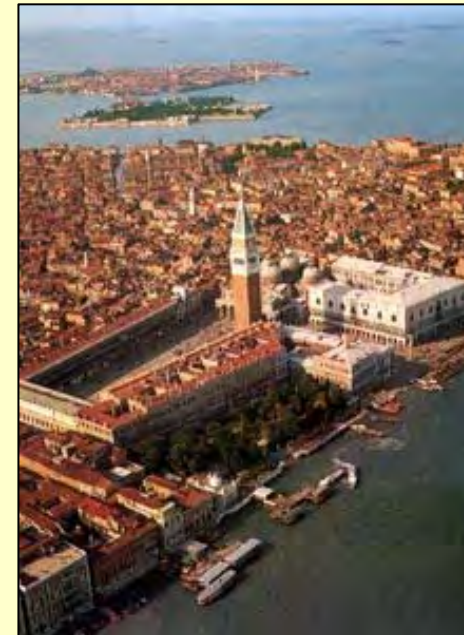
La durabilité du bois

Risque d'attaque de champignons si :
20% < Humidité du bois < 80%

Pas assez d'eau



Pas assez d'oxygène





La durabilité du bois



Fustes en mélèze
Villargaudin - Queyras - 05



Bardeaux en châtaignier
Clocher de l'église
Evaux les Bains - 23



Les conditions à l'emplacement de l'ouvrage



Attaque par les champignons

- température
- humidité de l'air
- précipitation
- rayonnement du soleil



Les conditions à l'emplacement de l'ouvrage



Ouvrages bois double paroi construits en 2003- Bordhigerra (I) - photo 10/03/2009





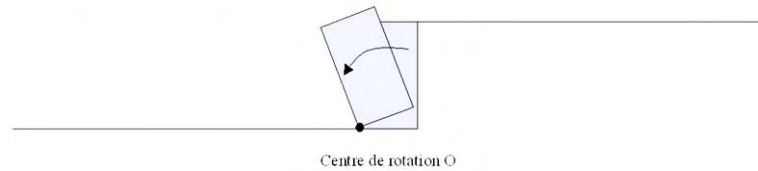


Dimensionnement et mise en œuvre des ouvrages



Principe de fonctionnement des caissons-bois - stabilité externe

1 – la stabilité au renversement

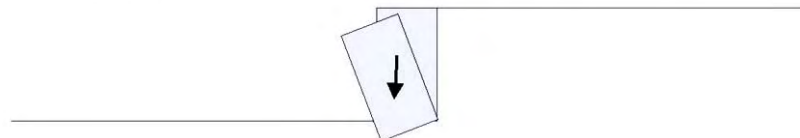


2 – la stabilité au glissement



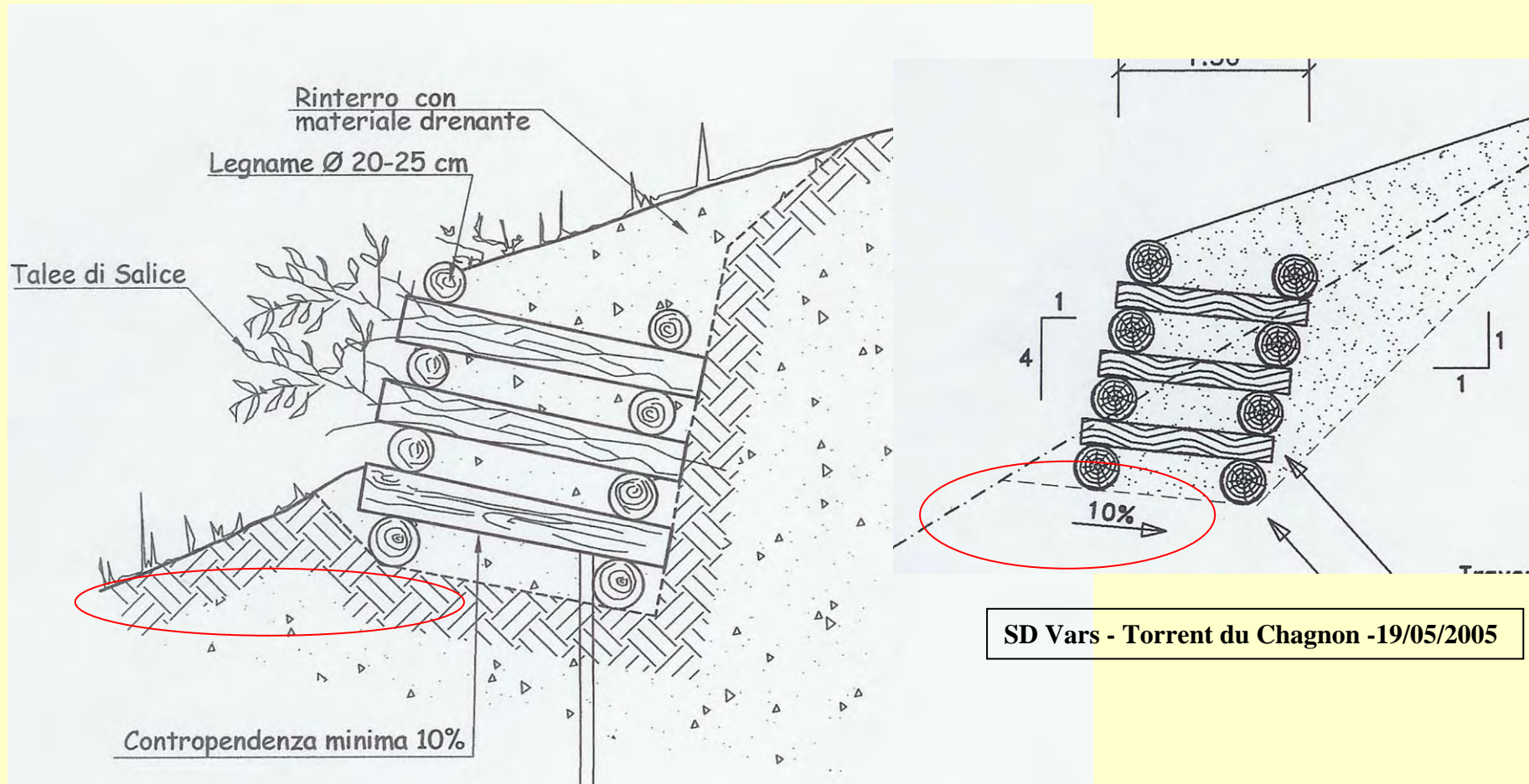
$$\Sigma \text{efforts de frottement} / \Sigma \text{efforts horizontaux} \geq 1.3$$

3 – poinçonnement du sol de fondation (portance insuffisante)



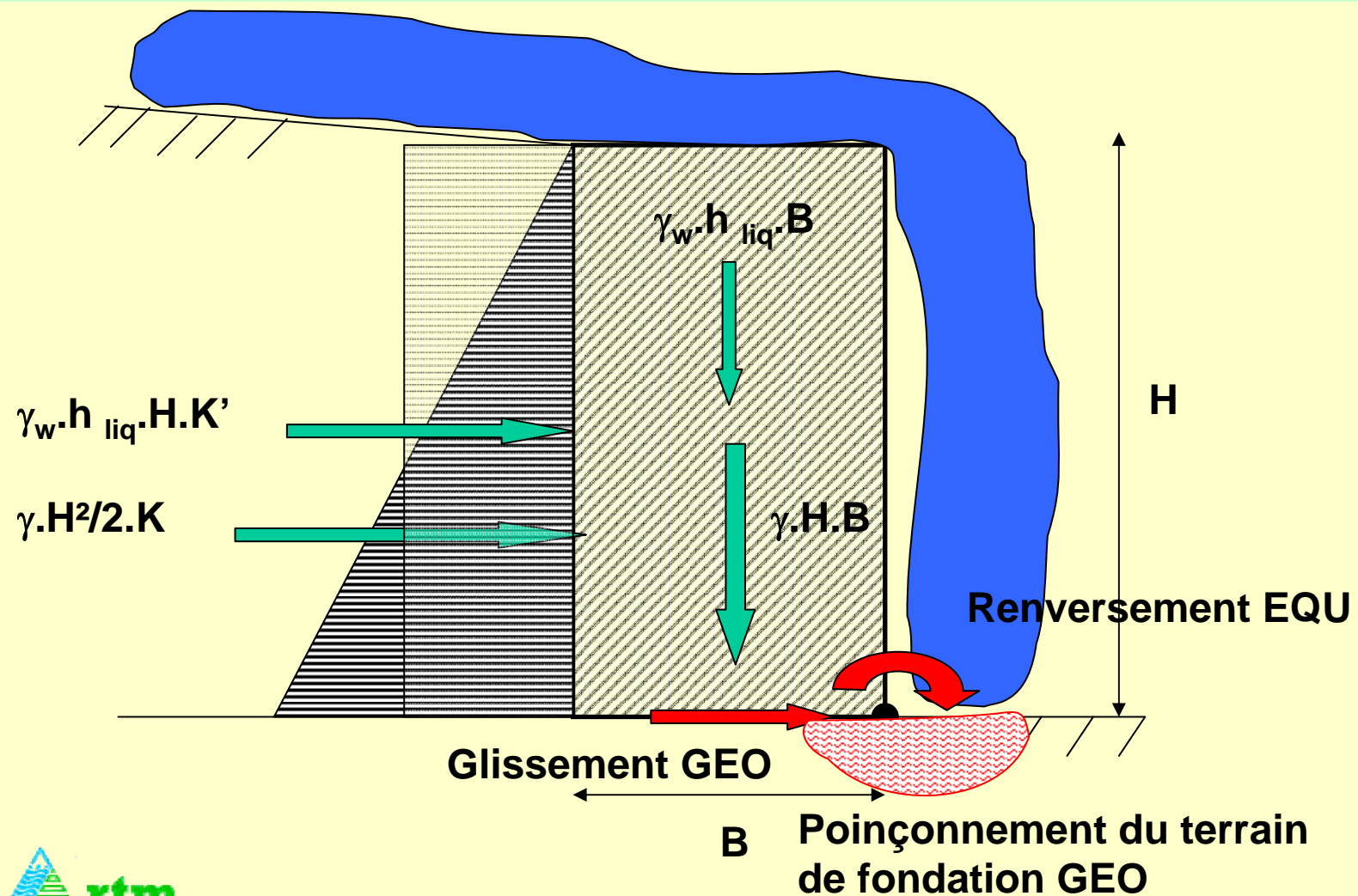


La mise en œuvre - le fruit du terrassement pour les ouvrages de soutènement



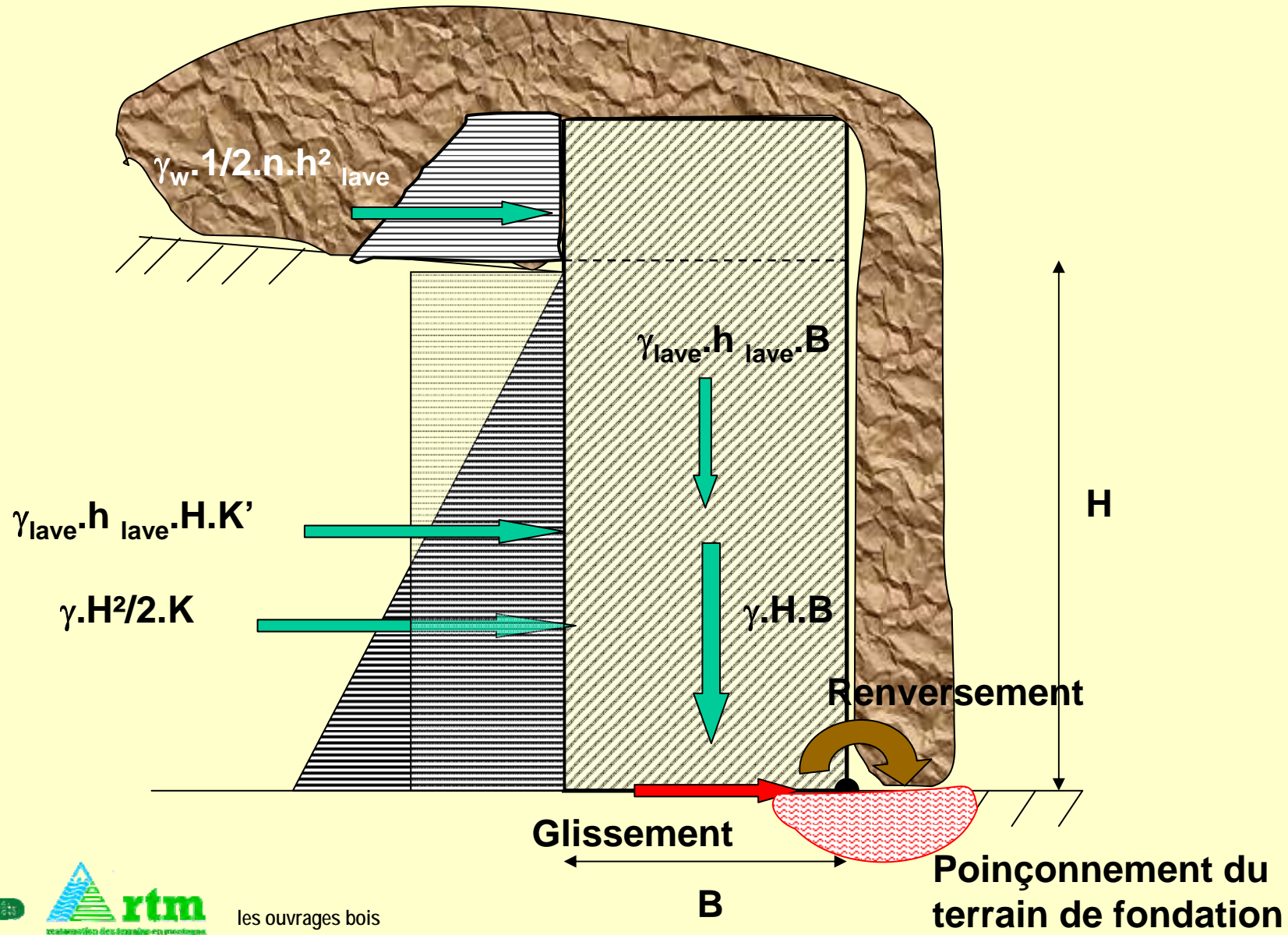


Dimensionnement d'un ouvrage à double parois : équilibre externe / cuvette



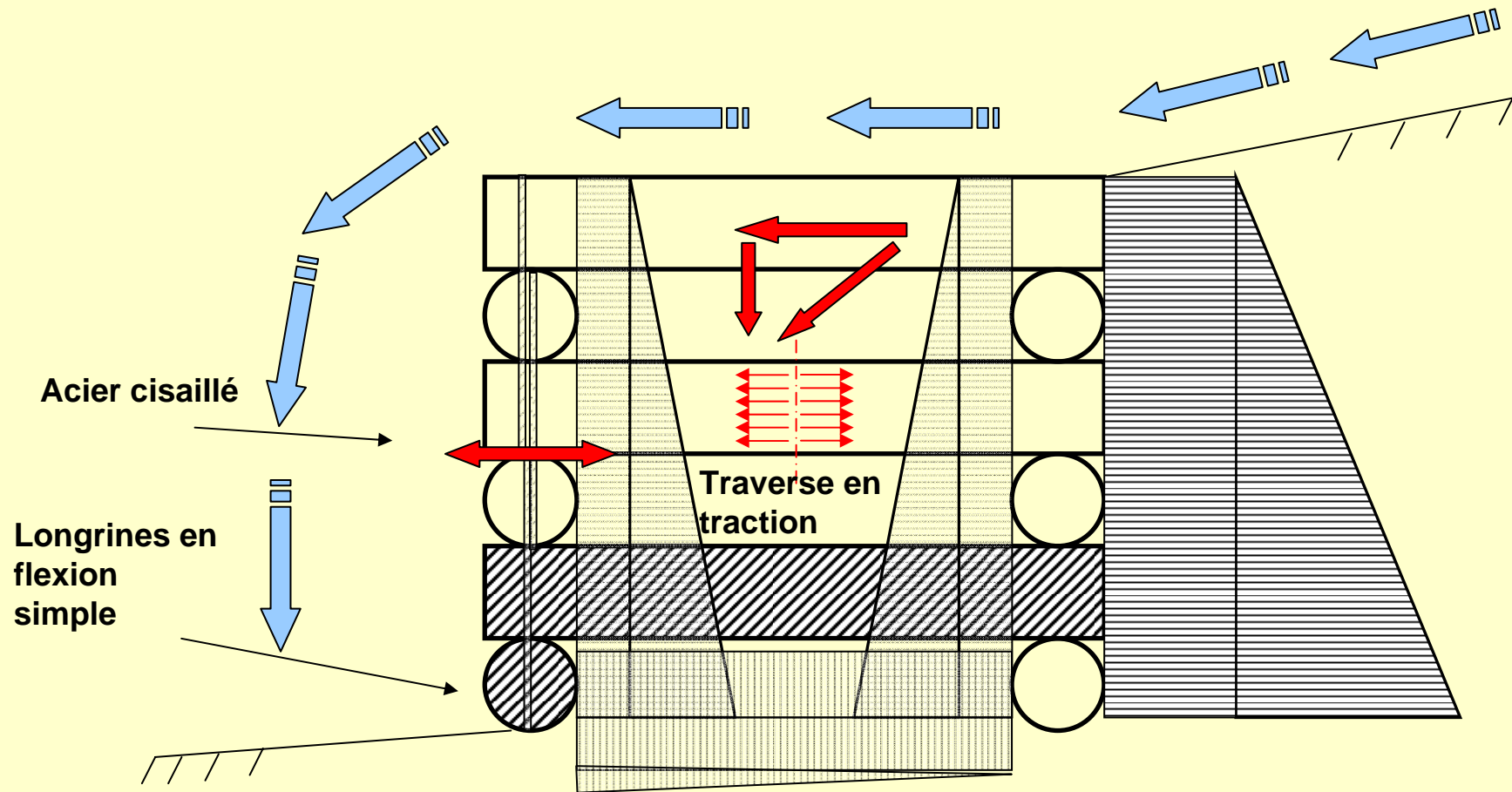


Dimensionnement d'un ouvrage à double parois : équilibre externe / aile



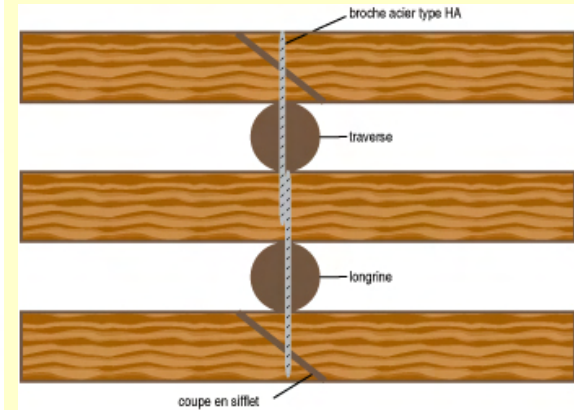
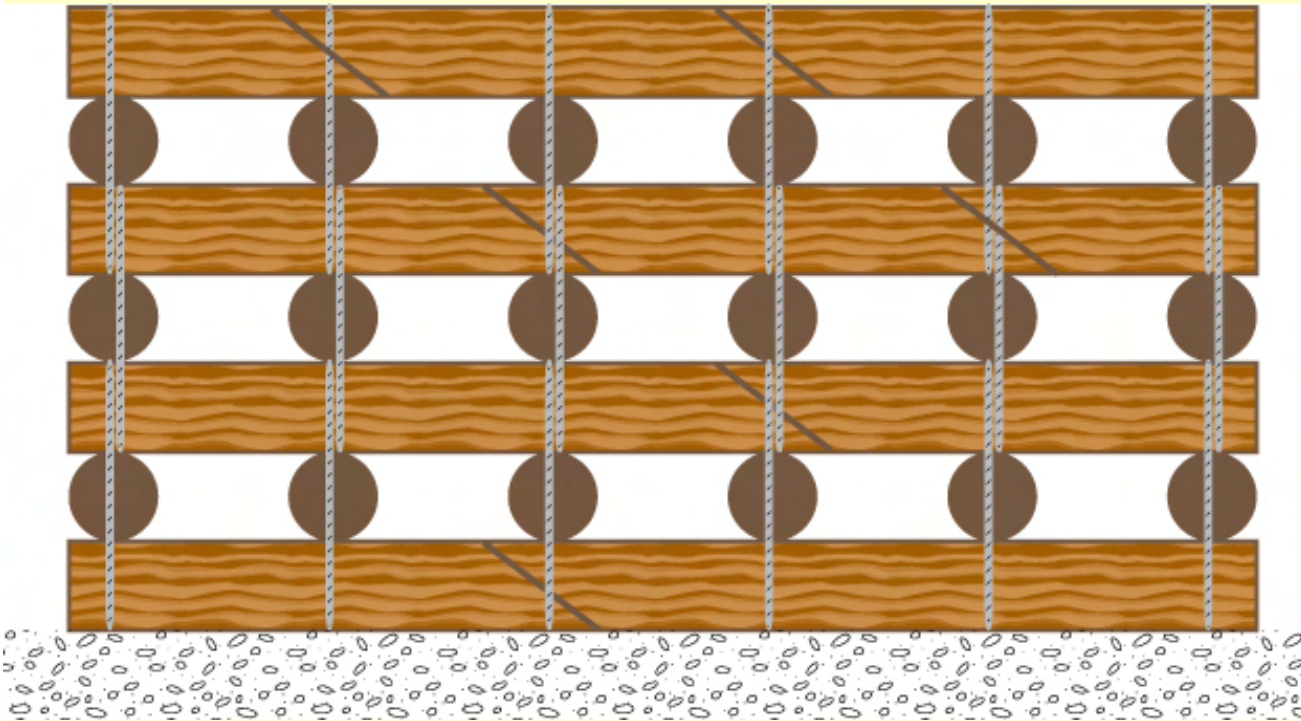


Dimensionnement d'un ouvrage à double parois : équilibre interne (STR)



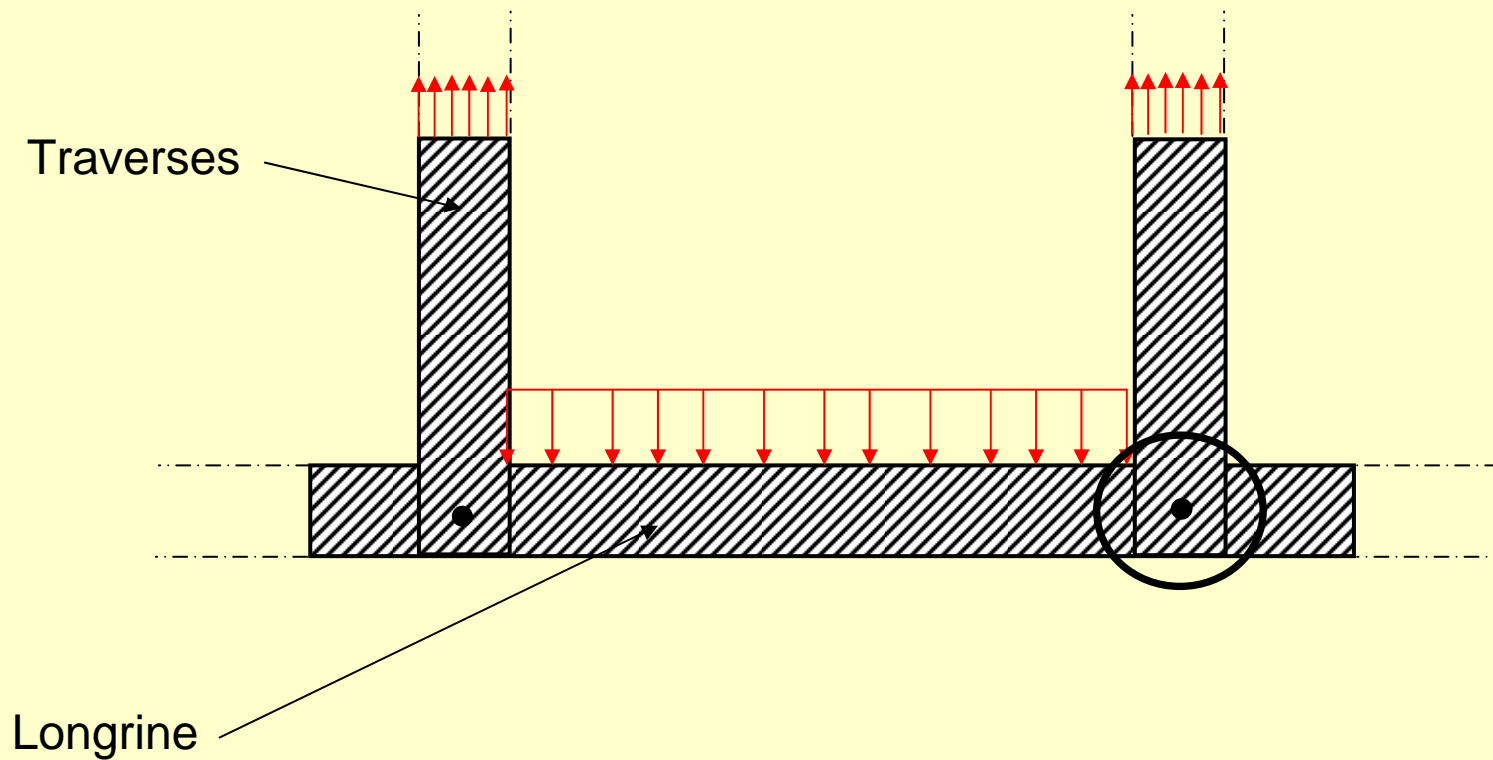


Les assemblages



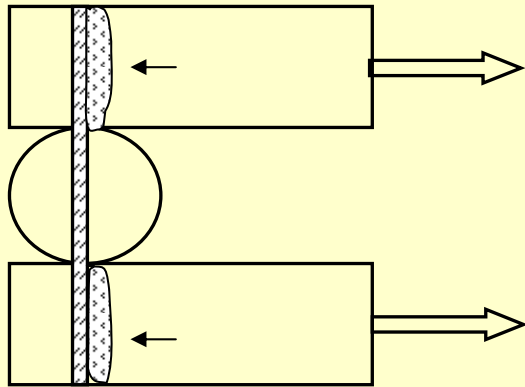


Dimensionnement d'un ouvrage à double parois : équilibre interne de la longrine (STR)

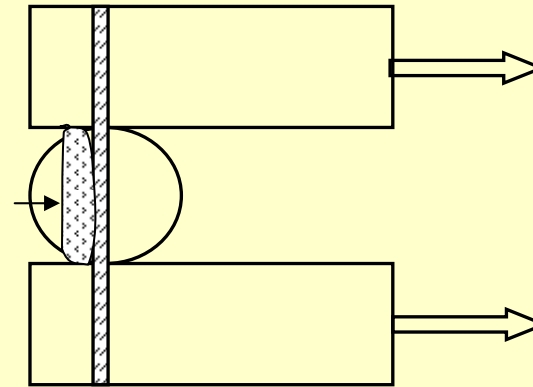




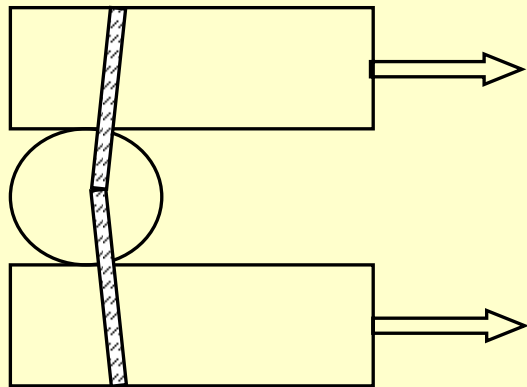
Dimensionnement d'un ouvrage à double parois : équilibre interne des assemblages (STR)



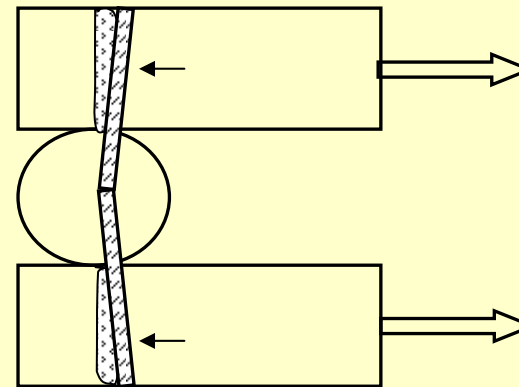
Rupture du bois dans les deux traverses



Rupture du bois dans la longrine



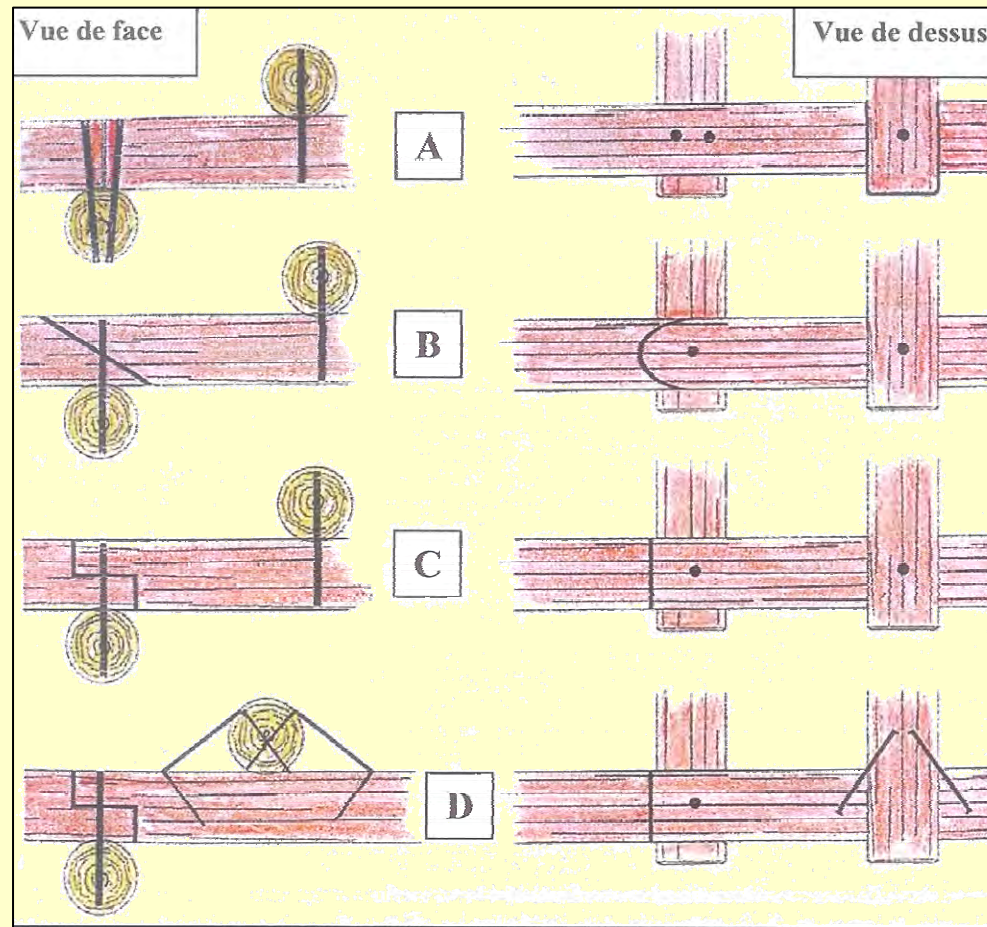
Rupture de la tige



Rupture du bois dans les traverses et rupture de la tige



La mise en œuvre – les types d'assemblages



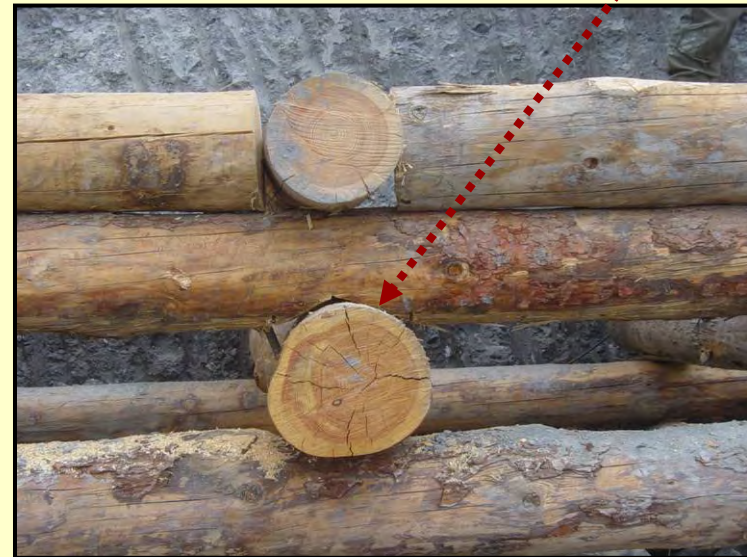


La mise en œuvre – les assemblages



Plus résistant lorsqu'il n'y a pas d'encoche

A éviter



SD Crots - site de l'Infernet - 12/05/2005



La mise en œuvre – les types d'assemblages





La mise en œuvre – les types d'assemblages



SD Crots - Inernet - 18/09/2009



Risoul - Torrent de Peyre Folle - 23/09/2009



La mise en œuvre – la visserie pour les assemblages

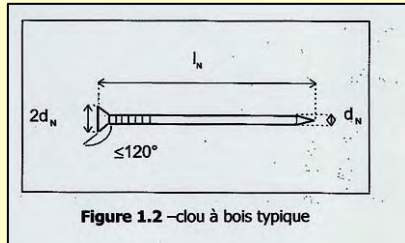


Figure 1.2 – clou à bois typique

- clous



- clameaux ou agrafes

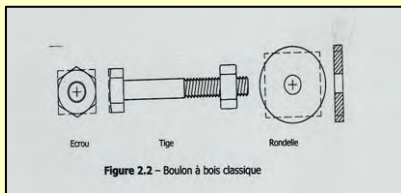


Figure 2.2 – Boulon à bois classique

- boulons à bois



- fers à béton



La mise en œuvre – quelques défauts d'assemblage



Le Sapet - Salbertrand (I) - 26/04/2006

Rollieres (I) - 26/04/2006





La mise en œuvre – la côte de pince



Tige d'assemblage

Côte de pince = $7d$ (si pré-percé)

Côte de pince = $15d$ (sans pré-perçage)







■ La mise en œuvre – le pré perçage



Évite l'éclatement du bois



La mise en œuvre – utilisation des clameaux

Figura 52



Source : Région Piemonte

SD Vars - le Chagnon - photo 12/12/2005
chantier Dynamic Environnement



La mise en œuvre - les premières grumes : les longrines



Rif du Sapé (To) - Italie - 04/09/2008

La mise en œuvre – mise en place des longrines



SD Monetier - torrent de Saint Joseph - 2001



Bibliographie sommaire sur les ouvrages bois soutènement et correction torrentielle

- « Ouvrages bois : soutènement et correction torrentielle »

Florian Ruolt - stagiaire ONF/RTM - juin 2005

- « Les ouvrages en bois dans l'aménagement des torrents de montagne »

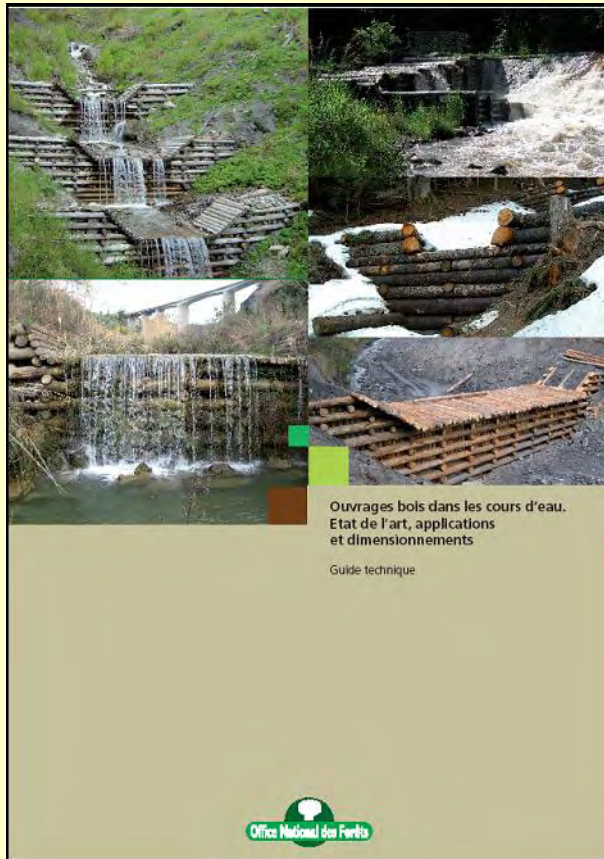
Agence Régionale pour le Prévention et la Protection de l'Environnement de la Vénétie (I)

- « Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di Ingegneria Naturalistica »

REGIONE PIEMONTE - 2003



Bibliographie sommaire sur les ouvrages bois soutènement et correction torrentielle



Ouvrages bois dans les cours d'eau

Guide technique ONF

Damien Roman



Merci de votre attention