



AGENCE RÉGIONALE
**BIODIVERSITÉ
ENVIRONNEMENT**
Naturellement Sud

➤ **La gestion du bois mort en rivière entre risque d'embâcle et source d'habitats : derniers résultats de la recherche et impacts sur les pratiques de gestion de la végétation**

Guillaume PITON

IGE : Institut des Géosciences de l'Environnement, Univ. Grenoble Alpes, INRAE

9 Nov. 2023 – Veynes (05) – Journée ARBE Guide gestion de la végétation rivulaire

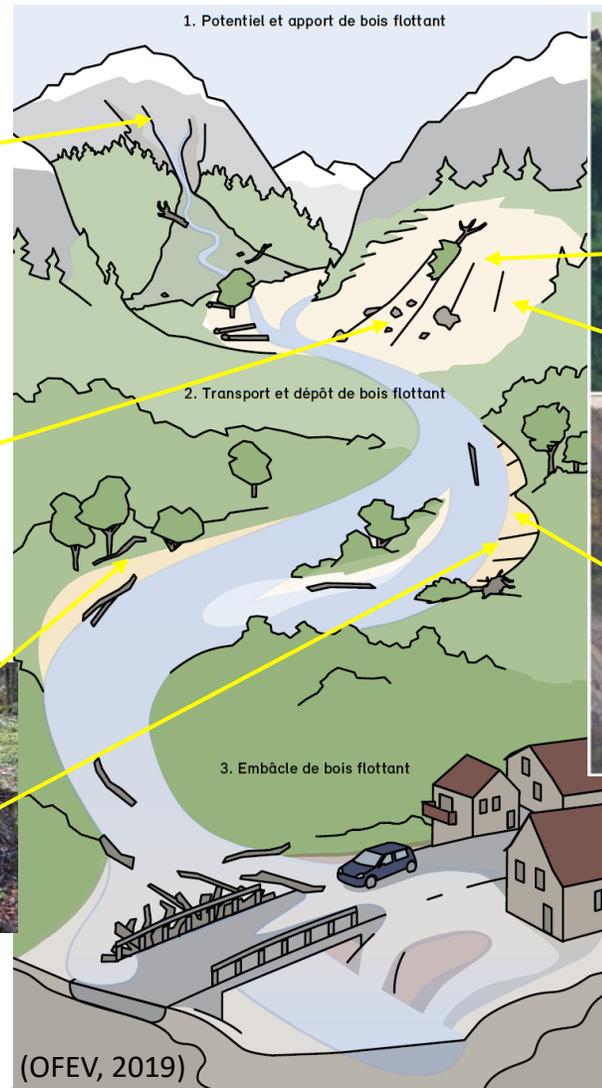
➤ Sommaire

- D'où vient le bois flottant?
- Quelle est sa mobilité?
- Pourquoi s'arrête il?
- Comment gérer ses effets indésirables?



➤ Sources du bois flottant

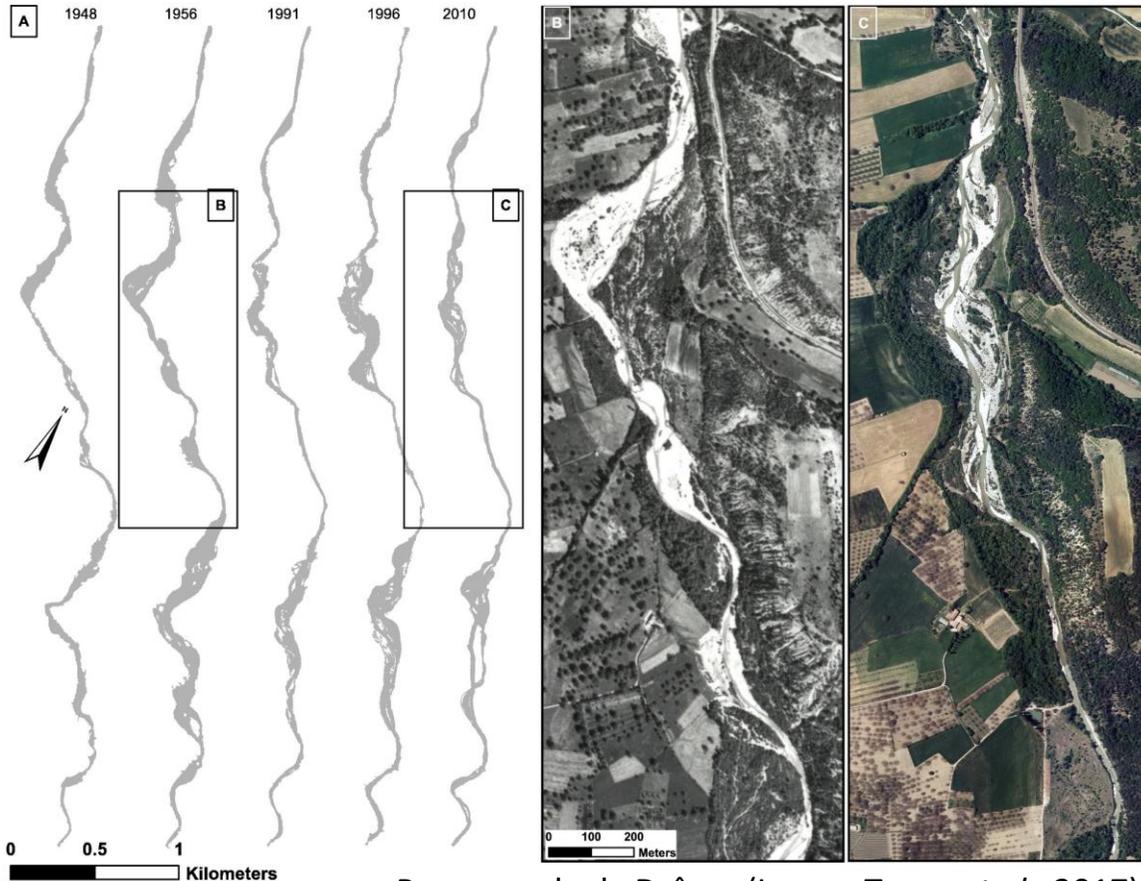
*: processus existant mais ponctuel | **: processus parfois significatif | ***: processus généralement dominant



Photos: (COMITI *et al.*, 2016)

➤ Bois flottant ou bois mort?

On sait bien que les bandes actives des rivières et torrents montrent des cycles de contraction (période de calme hydrologique) et d'expansions (crues morphogènes)



Par exemple: la Drôme (LALLIAS-TACON *et al.*, 2017)

La quantité de bois vivant présent sur les zones érodées pendant les crues morphogènes est >> au bois mort présent dans le lit et recruté dans la zone inondable

➔ La très grande majorité du bois flottant est du bois vivant, frais !
(87%-98% d'après Steeb *et al.* 2023)

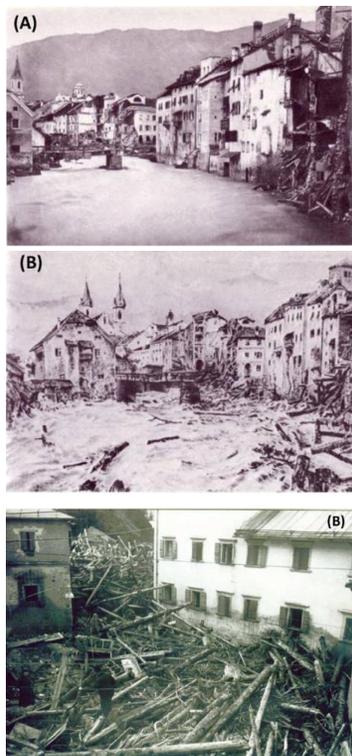


Lit de la Valmasque avant et après la crue de Oct. 2015 (Alpes Maritimes)

Estimation de la production de bois flottant

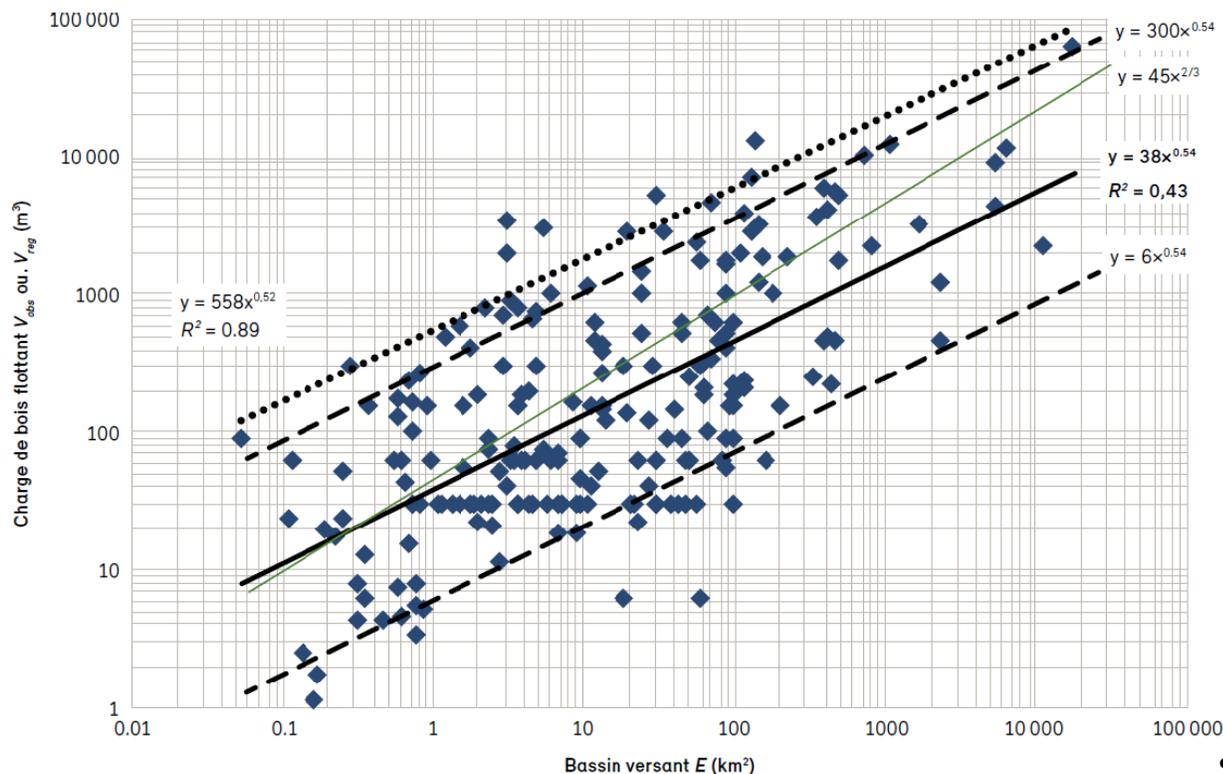
Analyses historiques, formules empiriques et analyses SIG

Archives



(COMITI *et al.*, 2016)

Formules empiriques (hypothèses faible, modérée, forte)



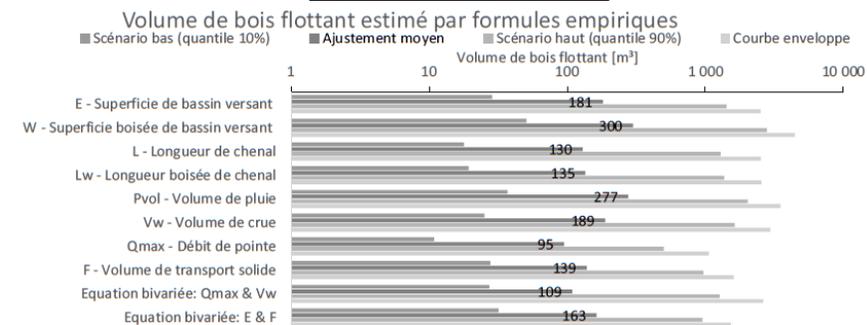
◆ V_{obs} - - - Percentile 90% Scénario extrême
— Fonction puissance - - - Percentile 10% — Rickenmann (1997)

(OFEV, 2019)

Torrent de la Combe de Lancey (38)

Paramètre	Valeur	Unité	Scénario bas (quantile 10%)	Ajustement moyen	Scénario haut (quantile 90%)	Courbe enveloppe
E - Superficie de bassin versant	18	km ²	29	181	1 429	2 508
W - Superficie boisée de bassin versant	11.32	km ²	51	300	2 802	4 458
L - Longueur de chenal	11.56	km	18	130	1 295	2 525
Lw - Longueur boisée de chenal	7.57	km	19	135	1 376	2 545
Pvol - Volume de pluie	2 790 000	m ³	37	277	2 030	3 514
Vw - Volume de crue	900 000	m ³	25	189	1 635	2 963
Qmax - Débit de pointe	22	m ³ /s	11	95	500	1 065
F - Volume de transport solide	23 500	m ³	28	139	971	1 606
Equation bivariée: Qmax & Vw			27	109	1 272	2 629
Equation bivariée: E & F			32	163	953	1 533

Représentation graphique



Source valeurs paramètres

E - Superficie de bassin versant	Cartographie automatique via https://reseau.eaufrance.fr/geotraitements
W - Superficie boisée de bassin versant	Croisement emprise bassin versant et BD Forêt V2 IGN.
L - Longueur de chenal	Tronçons BD Topo
Lw - Longueur boisée de chenal	Croisement tronçon BD Topo et BD Forêt V2 IGN.
Pvol - Volume de pluie	Lame d'eau moyenne de 155 mm: hypothèse haute de ETRM 2021
Vw - Volume de crue	Lame d'eau ruissellée de 50 mm: hypothèse trentennale de ETRM 2021
Qmax - Débit de pointe	Pic de crue 2005 selon Alp'Géorisque 2007
F - Volume de transport solide	Volume total transporté en 2005 selon Alp'Géorisque 2007

- Crue de Août 2005 : 600 m³ de flottants (RTM38)
- scénario bas: 20-40 m³
- scénario moyen: 100-200 m³
- scénario haut: 1000-2000 m³
- Enveloppe: 1500-3000 m³

➤ Estimation de la production de bois flottant

Analyses historiques, formules empiriques et analyses SIG

$$V_{BF} = \sum S_{boisée} \cdot D_{peuplement} \cdot f_T$$

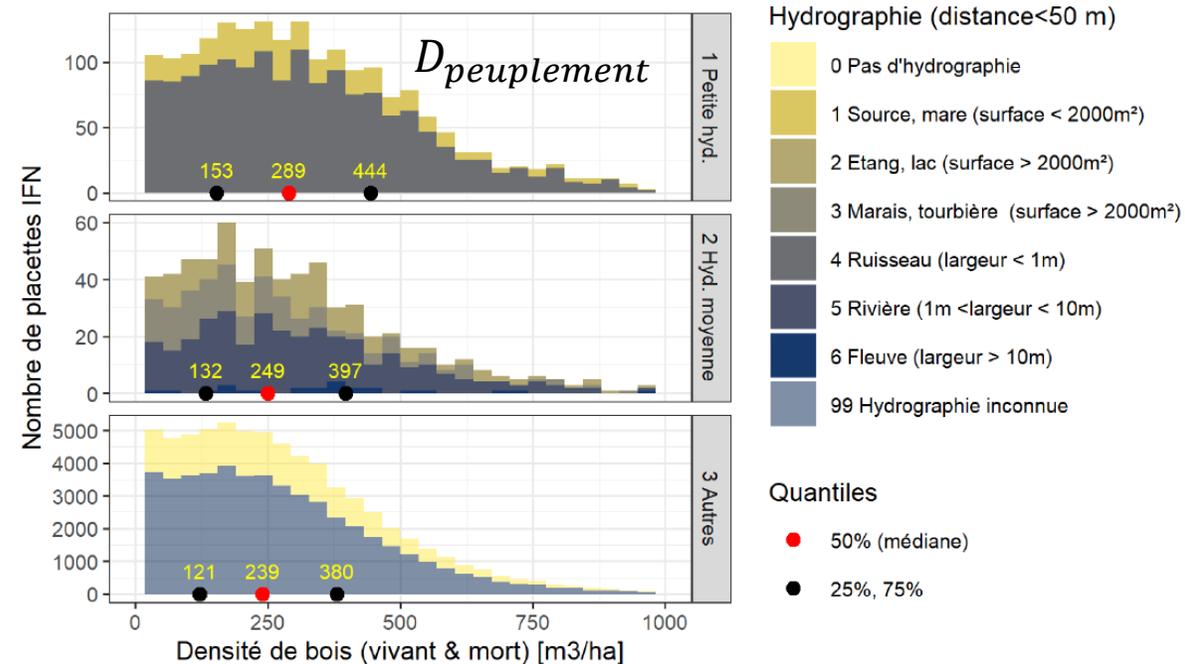
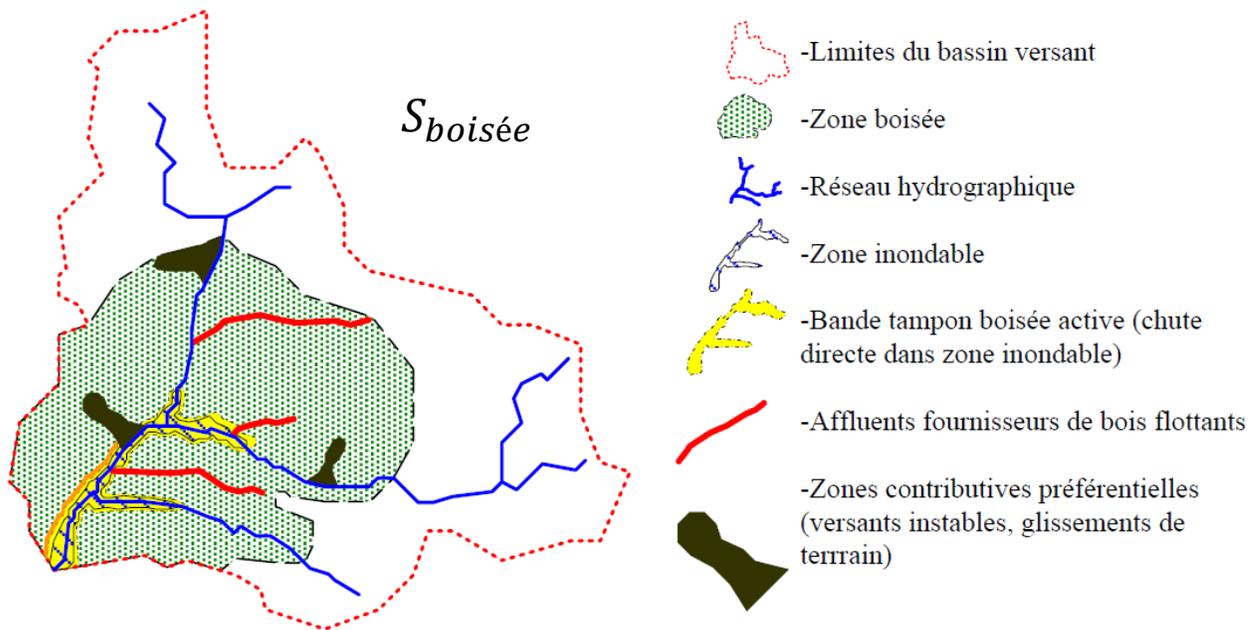


TABLE 1.3: Facteurs de réduction f_T des volumes potentiels représentant le taux de transfert réel selon les types de sources et scénarios de crues

Type de source	Crue fréquente (T±30 ans)	Crue moyenne (T±100 ans)	Crue rare (T±300 ans)	
Bois mort en rivière	0.1	0.3	0.7	<i>f_T</i>
Erosion latérale	0.05	0.1	0.2	
Glissement de terrain	0.01	0.05	0.1	
Lave torrentielle	0.05	0.1	0.3	



INRAE

➤ Un embâcle c'est surtout constitué de bois ... vide!

→ Important d'indiquer si on fourni un volume solide V_{BF} ou volume apparent V_l

Un embâcle est généralement très poreux,

le coefficient de foisonnement $a = \frac{V_l}{V_{BF}} = 2 - 5$, correspond à une porosité $\Phi = \frac{a-1}{a} = 50\% - 80\%$.

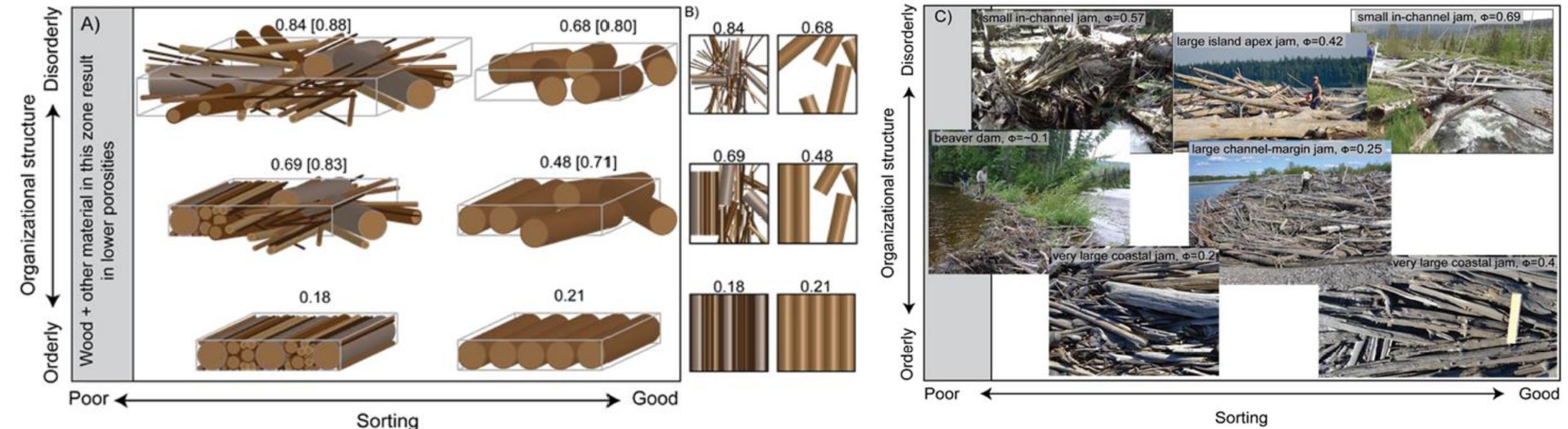


Figure conceptuelle tirée de LIVERS et al. (2020) illustrant la variabilité de la porosité Φ en fonction du caractère trié ("sorting" en anglais) et organisé ("organizational structure") d'accumulations observées en Amérique du Nord. Les chiffres fournis au dessus des accumulations correspondent à la porosité Φ

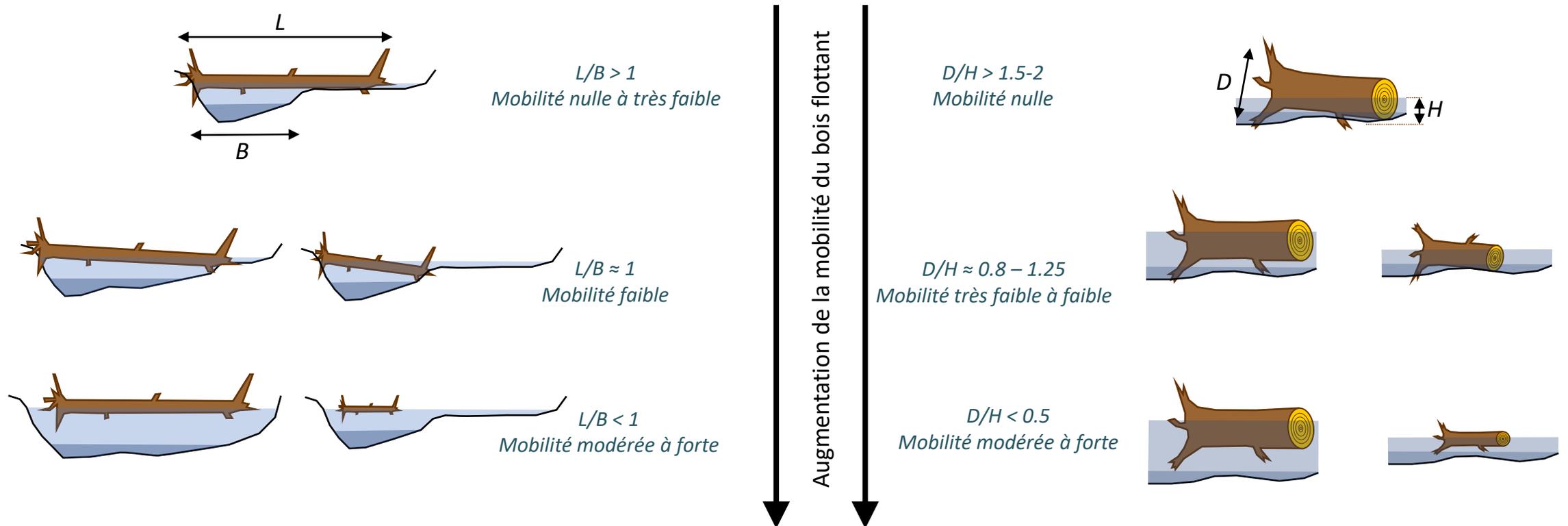
➤ Paramètres principaux contrôlant le transfert des bois flottants

Effets prépondérants des ratios L/B et D/H

La mobilité du bois flottant augmente si:

La largeur du cours d'eau (B) est grande par rapport à la taille des pièces de bois (L)

La hauteur d'eau (H) est importante par rapport au diamètre des pièces de bois (D)

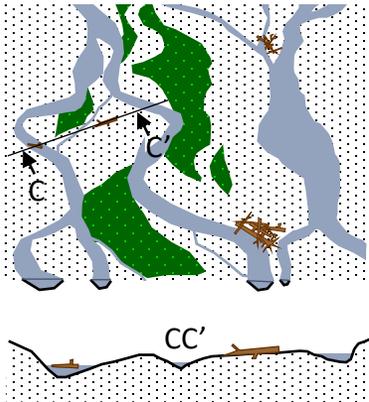


➤ Paramètres principaux contrôlant le transfert des bois flottants

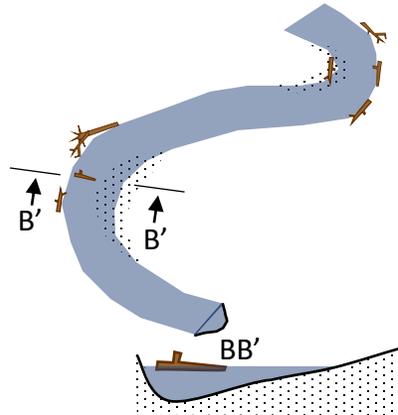
Morphologie et complexité des écoulements et faciès

La mobilité du bois flottant augmente aussi si l'écoulement est homogène et la morphologie du chenal est uniforme

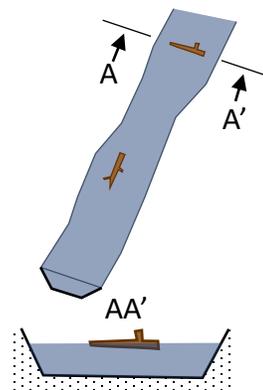
Augmentation de la mobilité du bois flottant →



Mobilité régulièrement perturbée, dépôts préférentiels aux diffluences, aux îles et dans les chenaux secondaires



Mobilité perturbée par des dépôts préférentiels en extrados des méandres



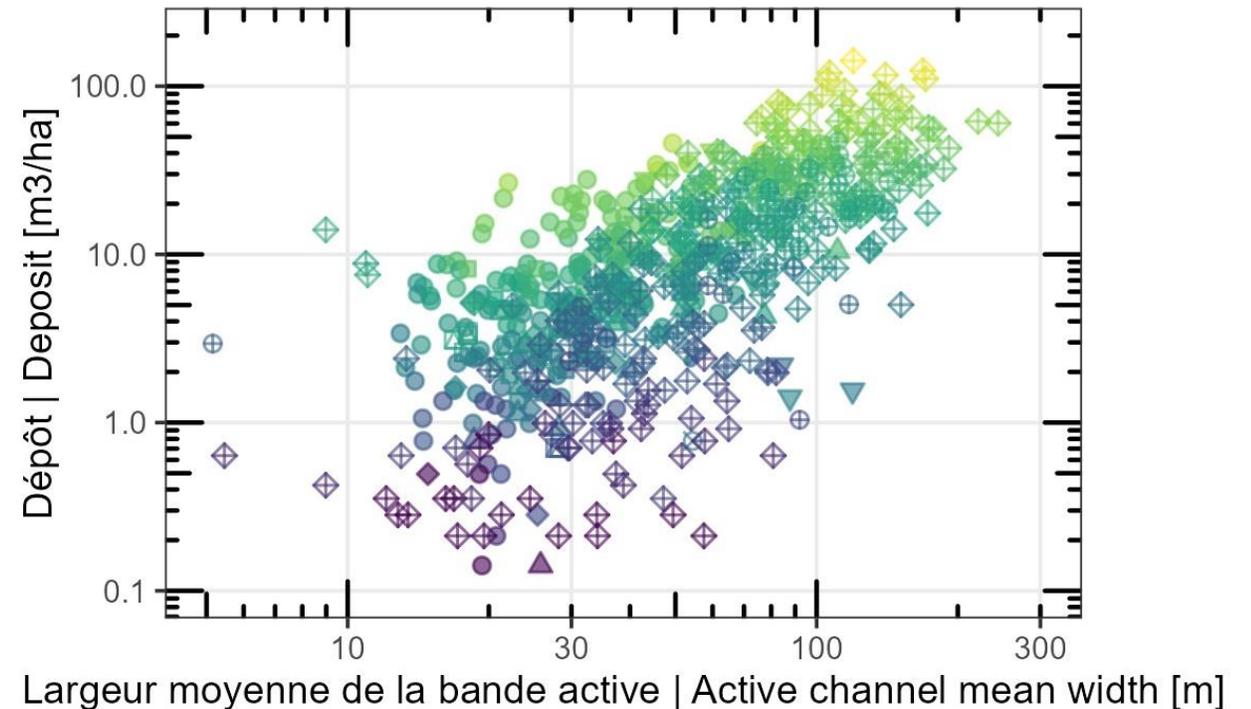
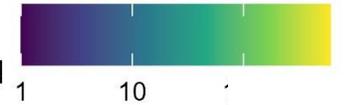
Mobilité très forte, distances de parcours maximales

Cours d'eau | River

- ⊕ Boréon
- Roya amont
- ⊠ vallon de Lavina
- ◇ Lévensa
- △ torrent de Bieugne
- ◊ Vésubie
- Réfrei
- ▽ torrent de Viévola
- Roya
- ⊗ vallon de Cairos

Tempête Alex, analyse de 41 000+ pièces de bois déposées sur 103 km de cours d'eau découpé en 753 tronçons de rivière de 100-200 m

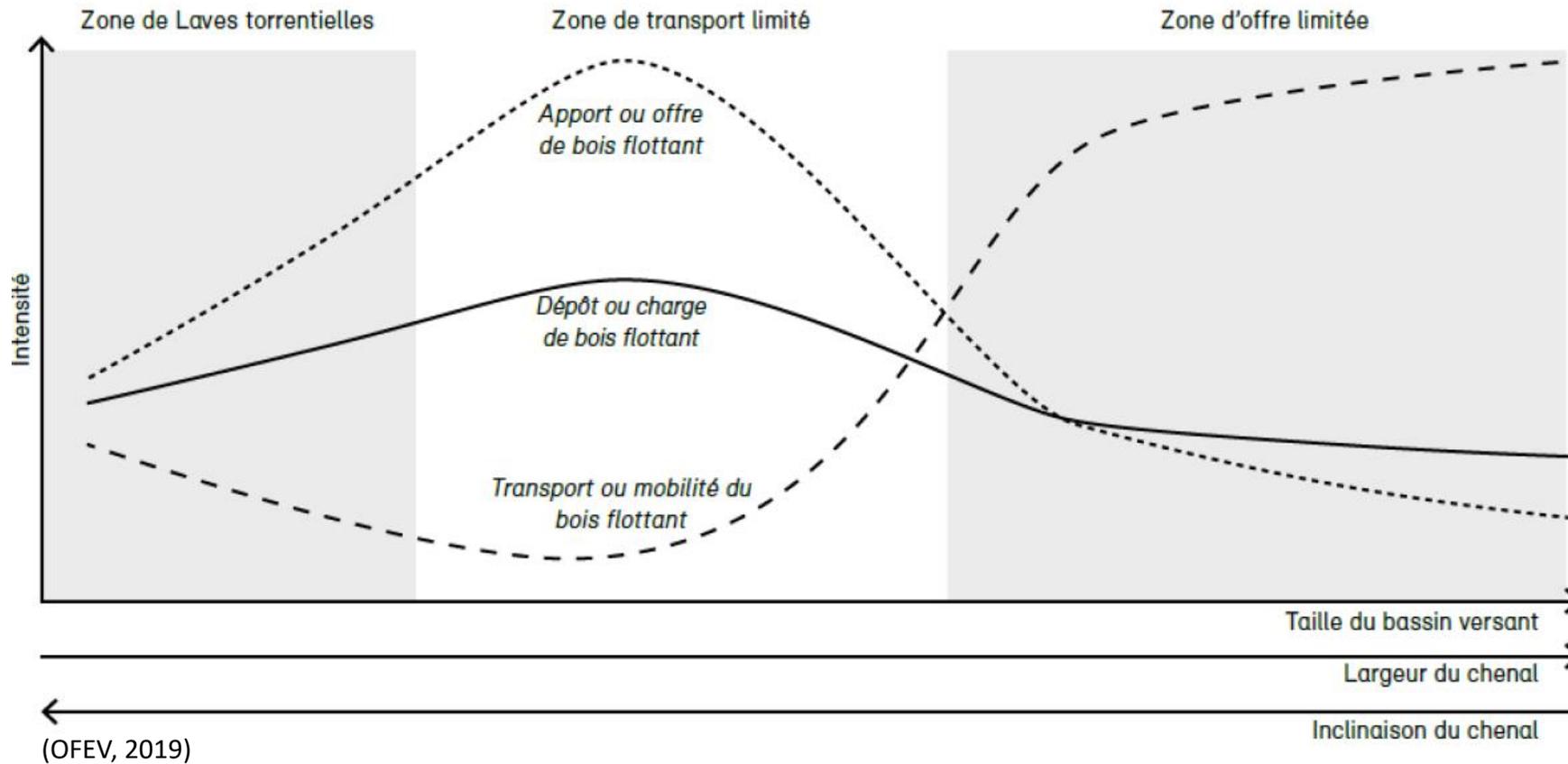
Flottants déposés
Large wood deposited



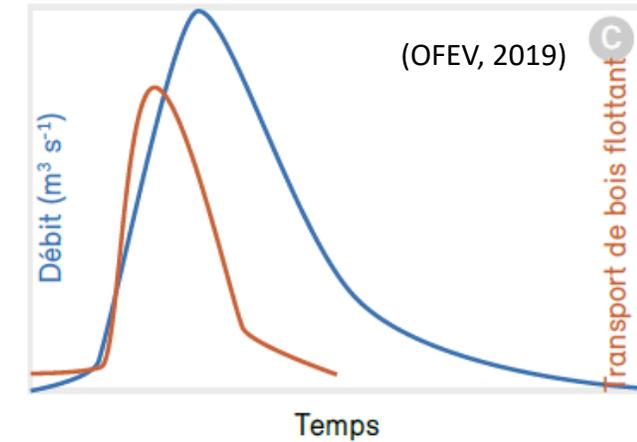
➤ Régimes de fonctionnement

Spatial, temporel et fréquentiste

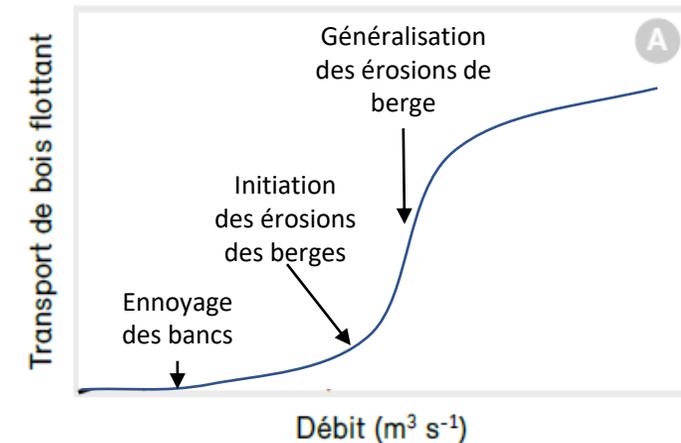
Spatial (tête de bassins / petites rivières / grandes rivières)



Temporel
(avant / après le pic)



Fréquentiste
(hautes eaux jusqu'au plein bord / crue courante / crue morphogène)

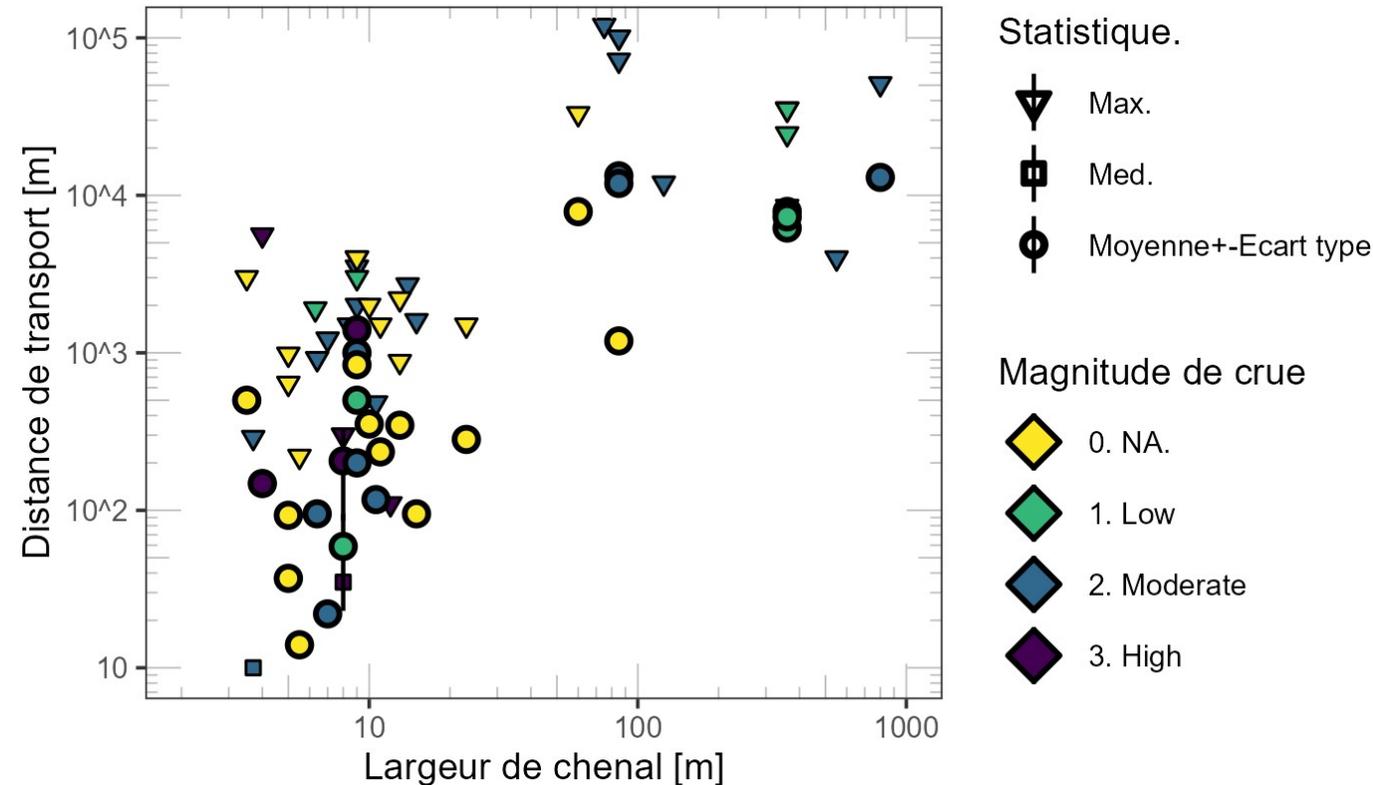


➤ Distance de transport des pièces de bois flottant

Déficit important de données mais mobilité type de l'ordre de quelques centaines de mètres pour les petits rivières et beaucoup plus forte pour les grandes rivières

Deux régimes

- "Petites" rivières (n=29 campagnes de mesure)
 - Largeur de chenal : <25 m
 - Distance de transport (quantiles 5% | 50% | 95%)
 - 5 | 200 | 1000 m (moyenne)
 - 250 | 1500 | 4000 m (pièce la plus mobile)
- Grandes rivières (n=14 campagnes de mesure)
 - Largeur de chenal : 50 – 1000m
 - Distance de transport (quantiles 5% | 50% | 95%)
 - 3 | 8 | 13 km (médiane)
 - 6 | 35 | 110 km (pièce la plus mobile)



Réanalyse de données compilées par
RUIZ-VILLANUEVA *et al.* (2023)

➤ Blocage aux ponts et ouvrages hydrauliques

La probabilité de formation d'embâcles augmente :

Pour de faibles largeurs de chenal B (ouvrage ou simplement chenal étroit)

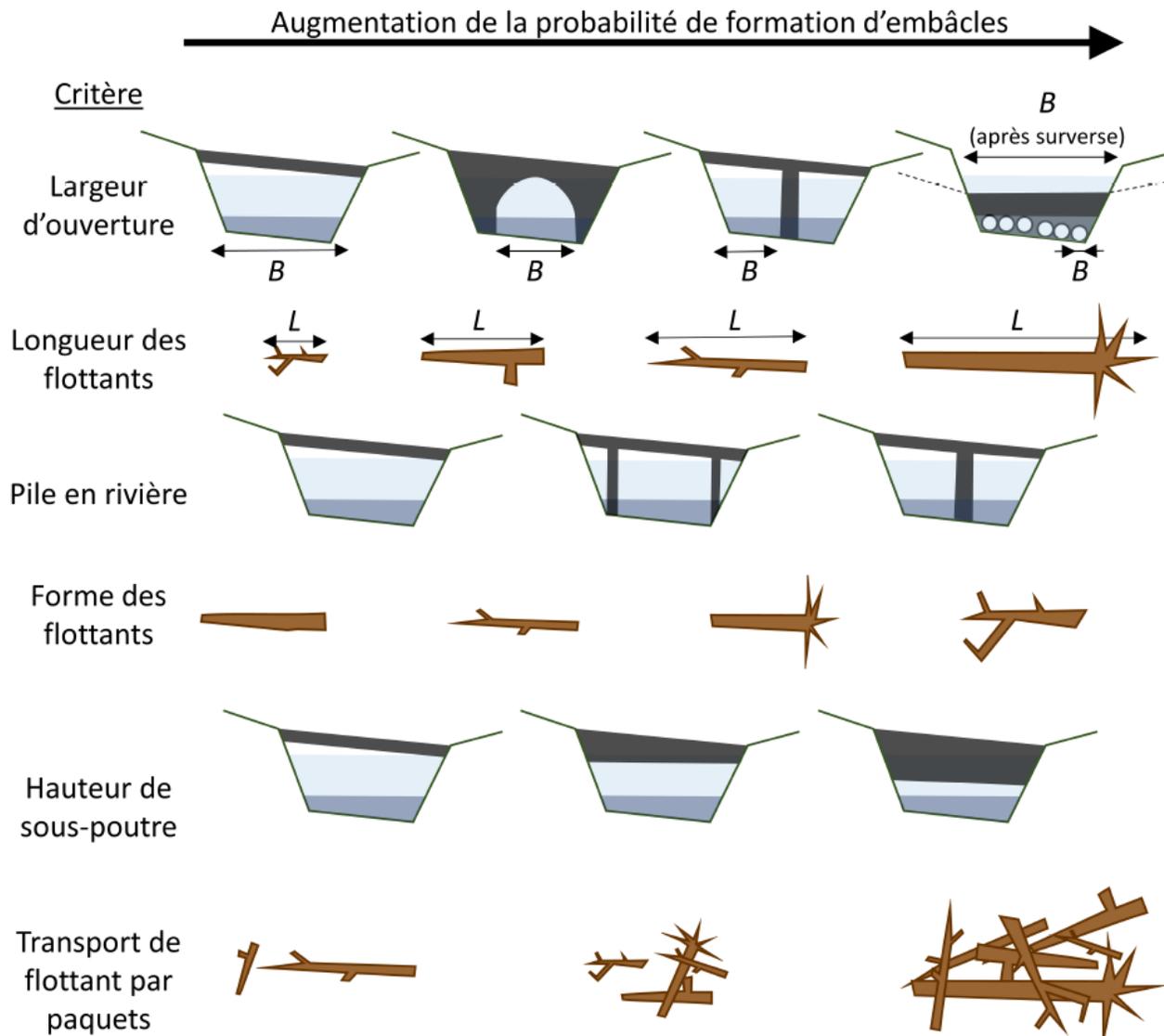
Pour de fortes longueurs de flottants L

En présence de pile(s) en rivières

En présence de troncs pourvus de racines et/ou de branches

Pour les ouvrages de faible hauteur H (faible section de passage), mis en charge plus probablement

Si les flottants sont transportés par "paquets" plutôt que séparément



➤ Protection des ponts et dalots contre les embâcles

Adaptation de l'ouvrage

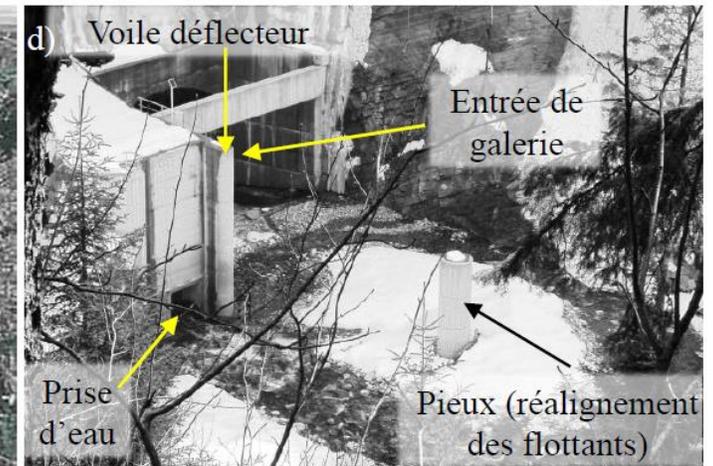
Exemple: Pont Mezet sur l'Isère (Moûtiers, 73) ouvrage à pile centrale remplacé par un pont à travée unique (portée: 24 m, 12 m de large, coût 1 000 000 €HT)



Ajout de déflecteurs sur l'ouvrage

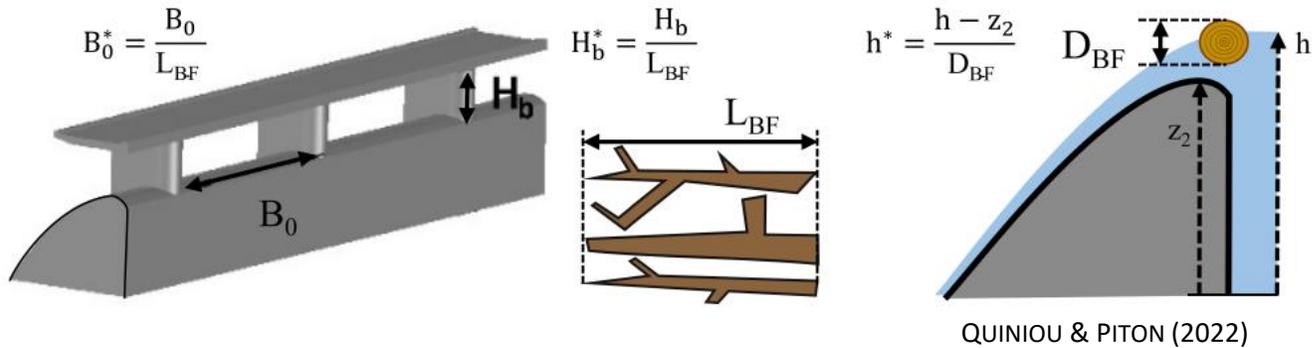
Fonctions:

- Réorienter certaines pièces permettant leur passage dans l'ouvrage
- Augmente la surface d'étalement de l'embâcle, diminuant sa compacité et les pertes de charge associées
- Déporte l'embâcle en amont de l'ouvrage où son retrait est facilité



➤ Effet hydraulique des obstructions de seuils et barrages

Diminution des capacités des évacuateurs de crue



Si seuil large ($B_0^* \gg 1$), relargage des flottants apparaît pour $h^* > 1.7$ et se généralise pour $h^* > 3$

Si un embâcle se forme et reste en place, la perte de débitance de l'ouvrage peut atteindre 33%, mais seulement 5%-10% avec un râtelier maintenant le tapis de flottant en amont



➤ Protection des ponts et dalots contre les embâcles

Adaptation de l'ouvrage

Source images: (CSB, 2017)

Exemple: barrage de Palagnedra (CH) :

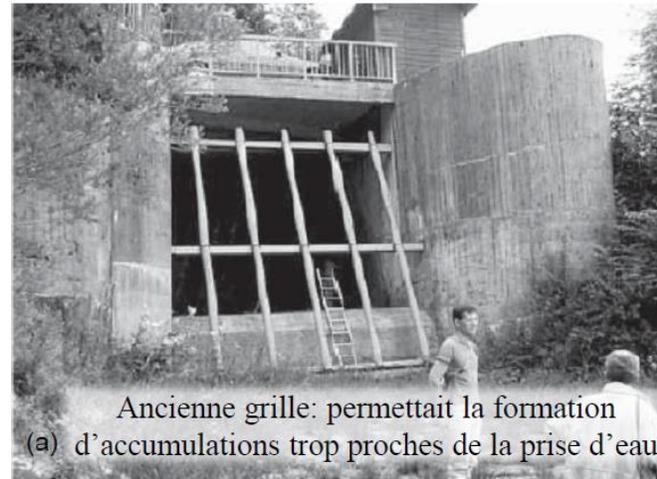
- a) obstruction généralisée en 1978;
- b) nouvelle configuration de l'ouvrage dont les piles ont été découpées



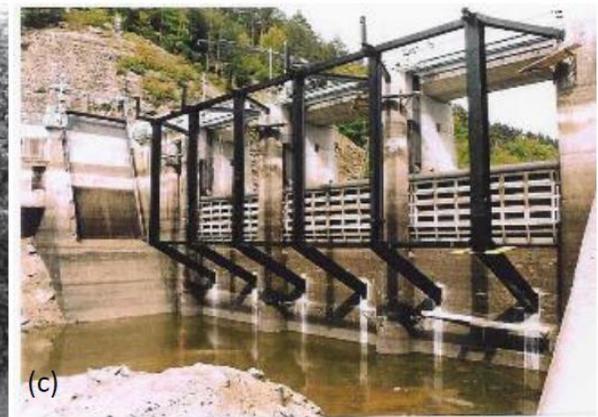
Ajout de râteliers, de siphons ou drome

Fonctions:

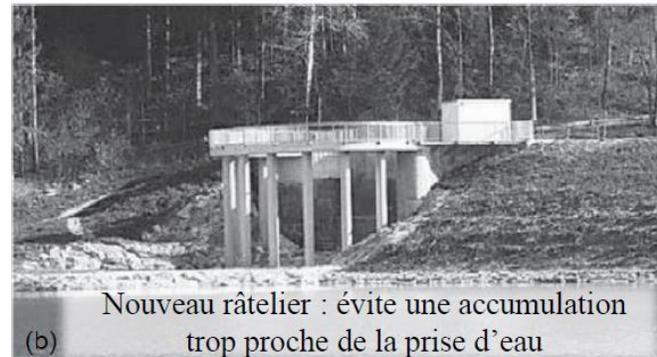
- Réoriente certaines pièces permettant leur passage dans l'ouvrage
- Déporte l'embâcle en amont de l'ouvrage permettant le passage d'une lame d'eau contre la face amont du barrage



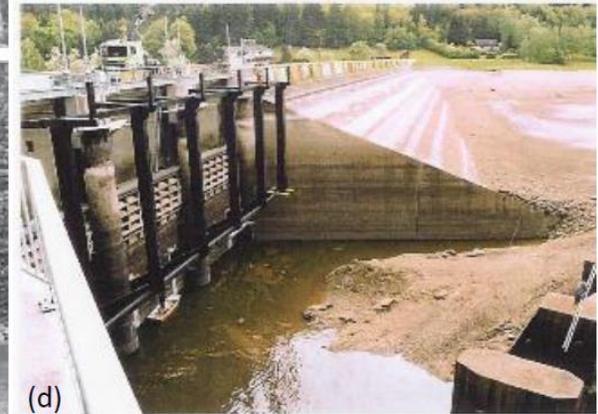
Ancienne grille: permettait la formation d'accumulations trop proches de la prise d'eau (a)



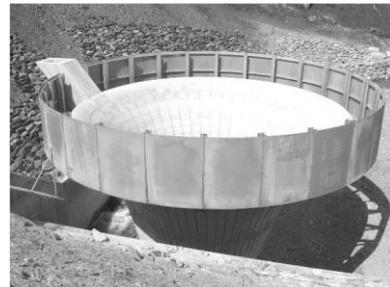
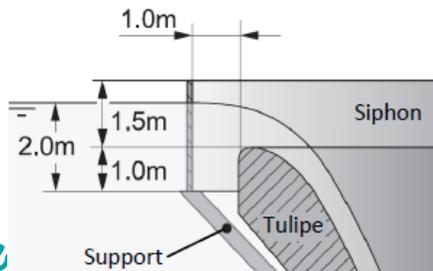
(c)



Nouveau râtelier : évite une accumulation trop proche de la prise d'eau (b)



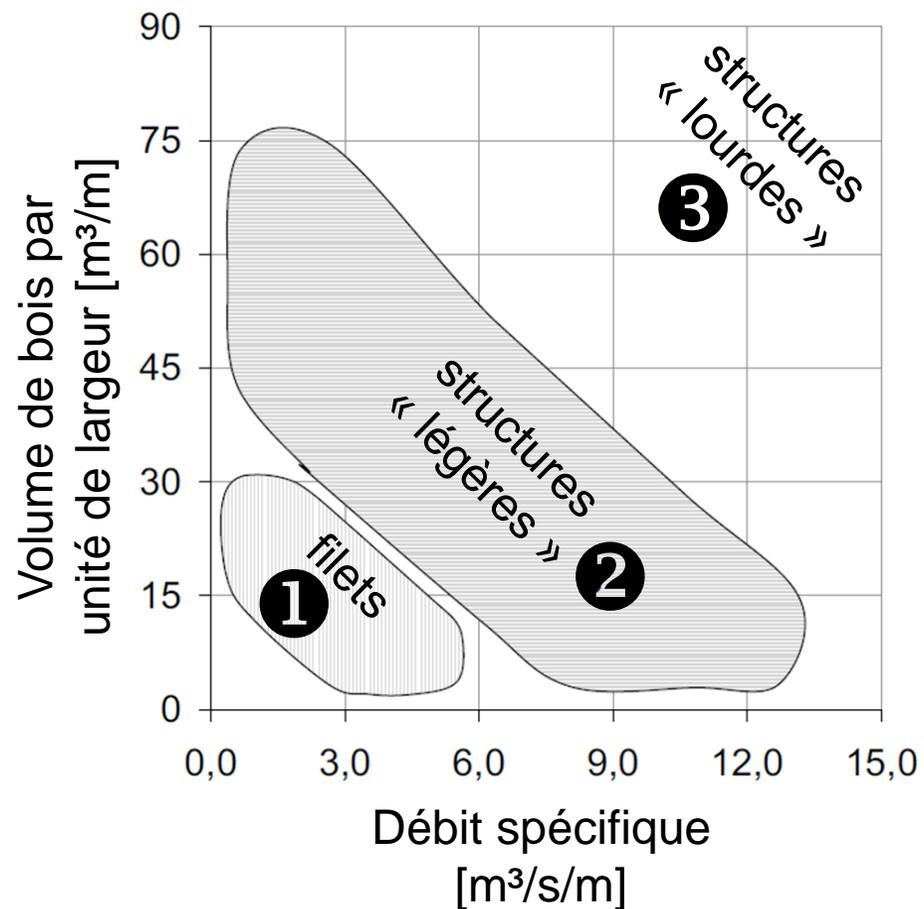
(d)



INRAE

➤ Piégeage du bois flottant

Capacité de piégeage des ouvrages transversaux



(RIMBÖCK, 2004)



(BERGMEISTER *et al.*, 2009 ; PITON *et al.*, 2023) p. 18

➤ Effet de l'implantation

Etaler l'embâcle diminue les rehausses de niveau amont

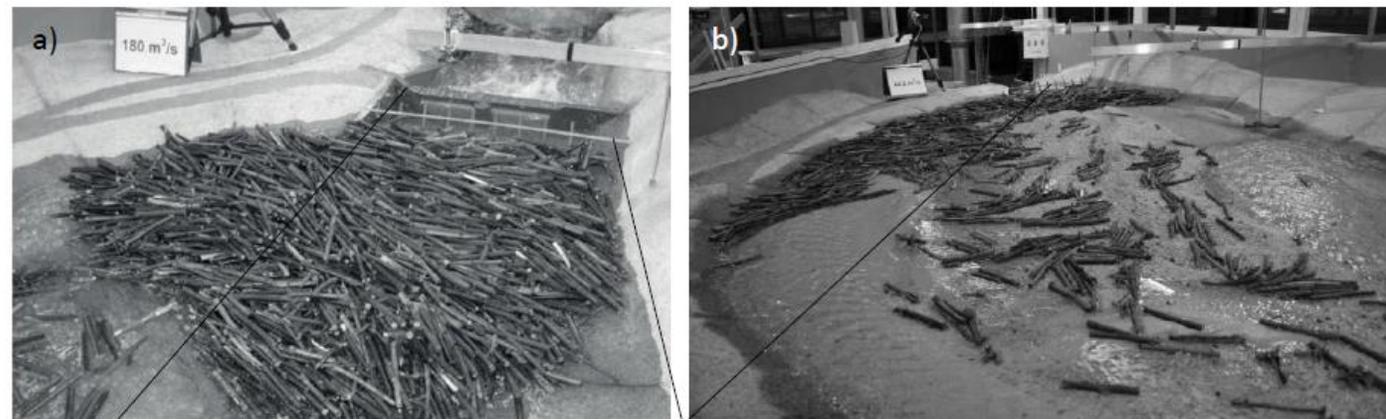
Accumulations de bois flottants sur le modèle physique de la plage de dépôt sur la Chiene à Kien (CH). Conditions d'essais: $120 \text{ m}^3/\text{s}$, apport de bois : 5000 m^3

(a et b) râtelier court (40 m)

(c et d) râtelier long (80 m) ⚡ -3 m au pic!

e) ouvrage construit en 2010 (pieux: $h = 10 \text{ m}$ hors sol), photo après la crue de 2011 (débit de pointe : $110 \text{ m}^3/\text{s}$, apport de bois: 150 m^3 , apport de charriage : $30\,000 \text{ m}^3$)

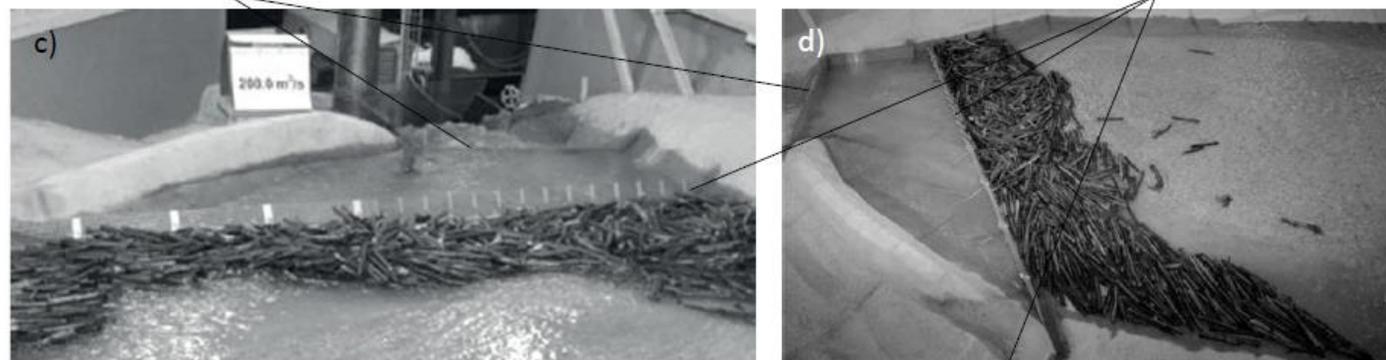
Source: (LAUBER et al., 2016)



Barrage à double pertuis
 $2 \times 0,75 \times 5,0 \text{ (NxHxB)}$

Râtelier pare-flottants
(Variante 1: à proximité du barrage)

Râtelier pare-flottants
(Variante 2: à distance du barrage)



➤ Effet de l'implantation

Dans les rivières de plaine, implanter l'ouvrage hors du lit mineur, en extrados de méandre

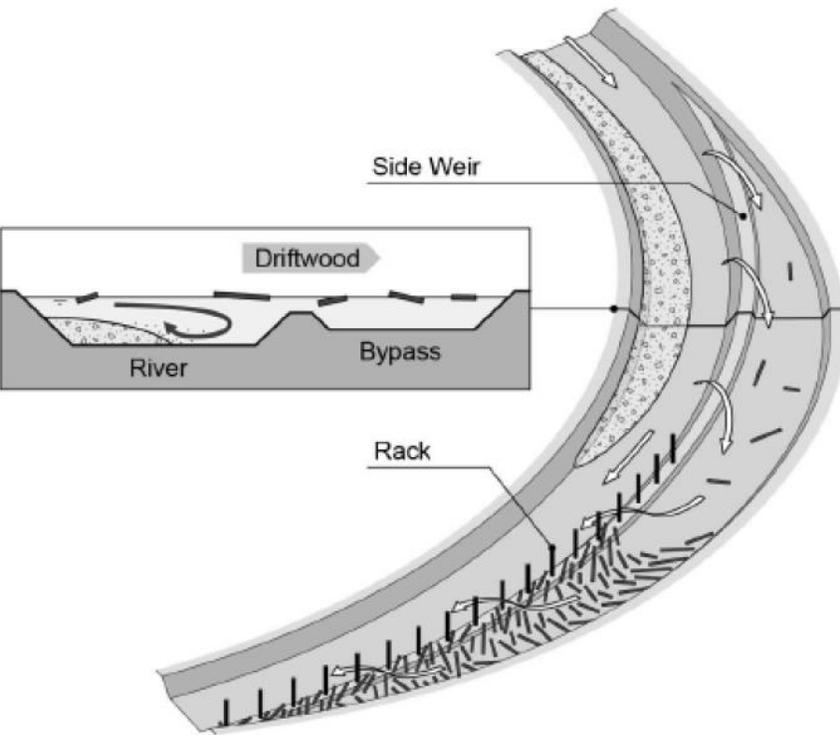


Schéma du concept
(SCHMOCKER & WEITBRECHT, 2013)



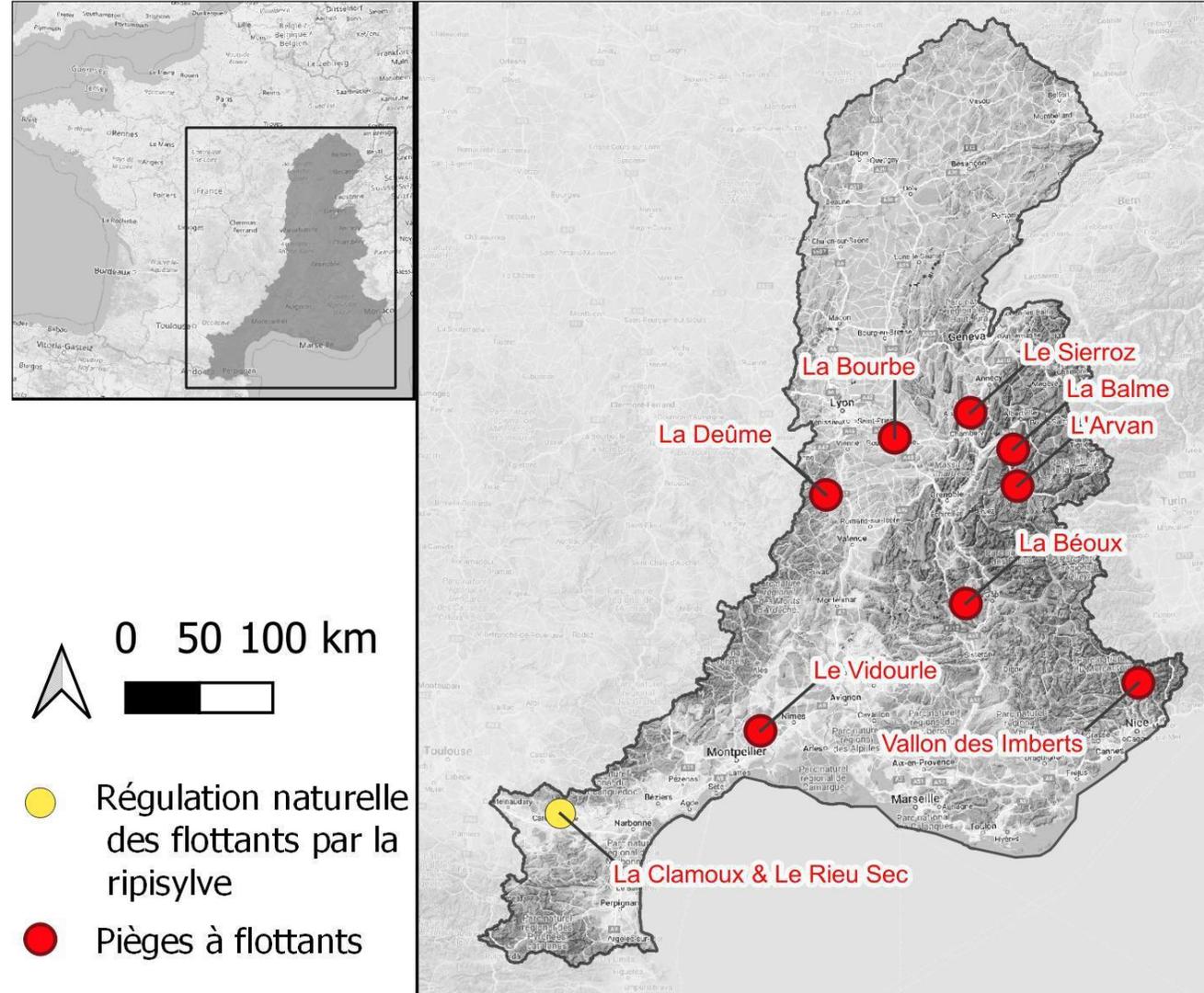
Image et infographie de l'ouvrage construit
(source : GERTSCH-GAUTSCHI, 2019)

➤ Retour d'expérience AE-RMC

Huit ouvrages et deux sites naturels

- Contexte et historique
 - Historique des crues et justification de la mise en place
- Caractéristique du site
 - Conception, plans, construction
- Fonctionnement de l'ouvrage
 - Entretien, fréquence de piégeage
- Budget travaux et financements

➔ Leçon principal: effort d'entretien



(BENAKSAS & PITON, 2023): <https://hal.inrae.fr/hal-03926944>

➤ Suivi de terrain et aide à la décision

Action de recherche Embâcles de INRAE & AE-RMC

Contexte

post-cruie morphogène, nombreux embâcles présent dans le bassin versant, le diagnostic du PPE n'est plus à jour

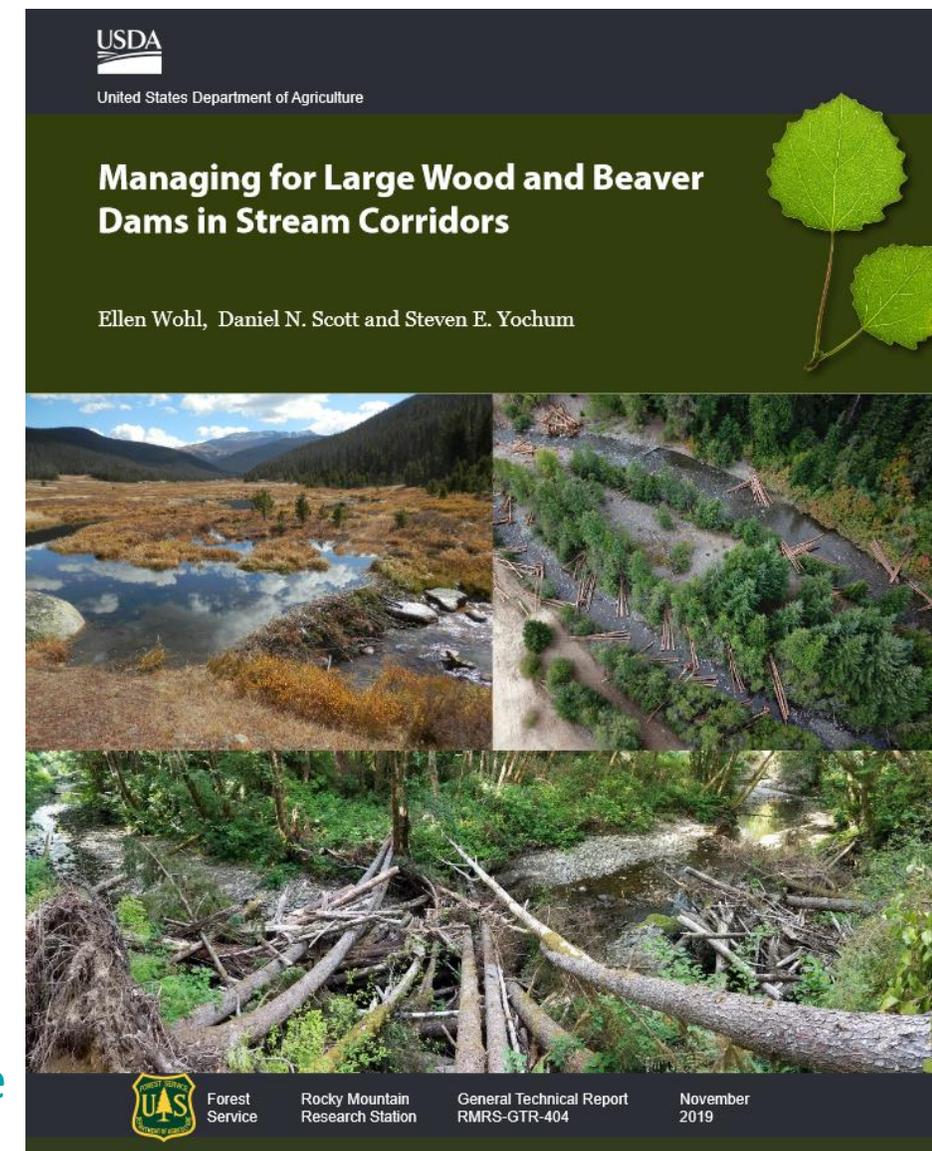
Problèmes à régler

- Clarifier les quantités de bois flottant présentes
- Prioriser les secteurs et définir le mode de gestion
- Justifier de ces choix
- Tirer des leçons pour s'améliorer

Enjeux

- Observations par différents opérateurs menées rapidement, aisément et intercomparables
- Archiver et bancariser les données pour analyse ultérieure

➔ Traduction, test, amendement et application du protocole de Wohl et al. 2019



Wohl et al. 2019

<https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/59331>

➤ Suivi de terrain et aide à la décision

Action de recherche Embâcles de INRAE & AE-RMC

Découpage du réseau hydrographie en tronçons homogènes

Levés de terrain avec appli mobile libre...

Embâcles

Verrous hydrauliques

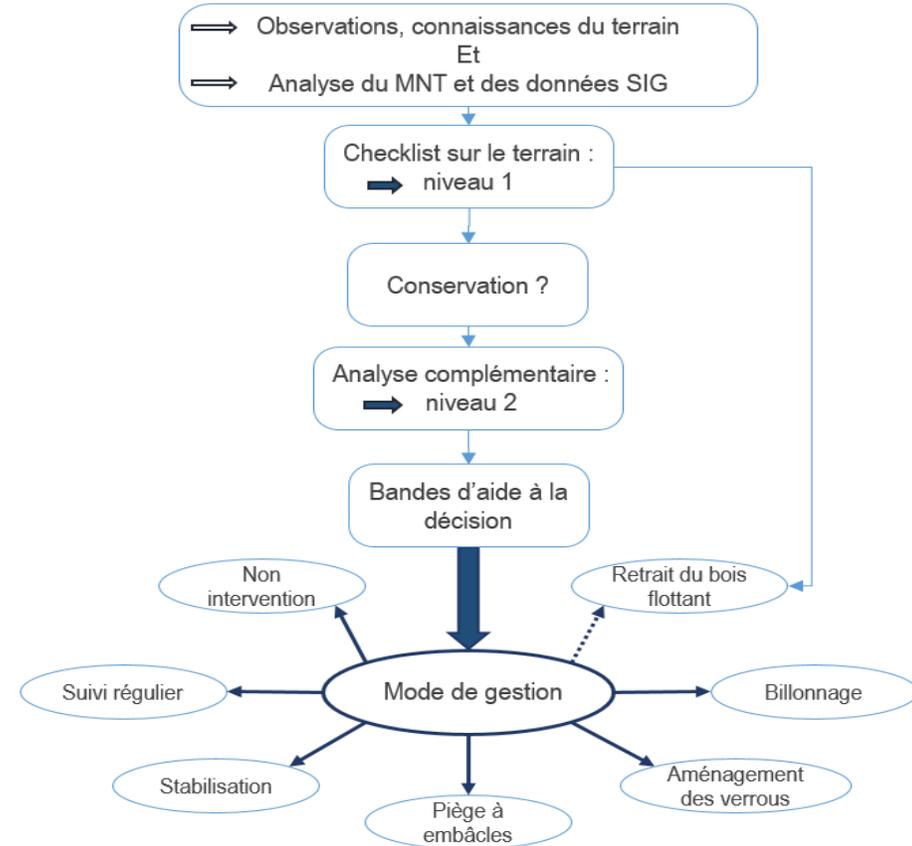


...qui alimentent des documents QGIS

Facilite et homogénéise le post-traitement

Application éventuelle du protocole d'aide à la décision

Sur les secteurs où le doute persiste

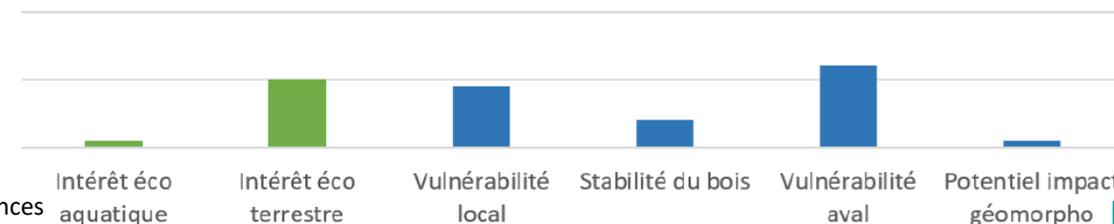


Score des volets sur les risques relatifs aux écosystèmes

	Score
Intérêts écologiques du BF pour le milieu aquatique	10
Intérêts écologiques du BF pour le milieu terrestre	19

Score des volets sur les risques relatifs aux propriétés, infrastructures et sécurité publique

Vulnérabilité des infrastructures et services au droit du tronçon	18
Stabilité du BF et potentiel de déplacement	13
Vulnérabilité des infrastructures et services à l'aval du tronçon	21
Potentielles conséquences géomorphologiques	10



➤ Suivi de terrain et aide à la décision

Action de recherche Embâcles de INRAE & AE-RMC

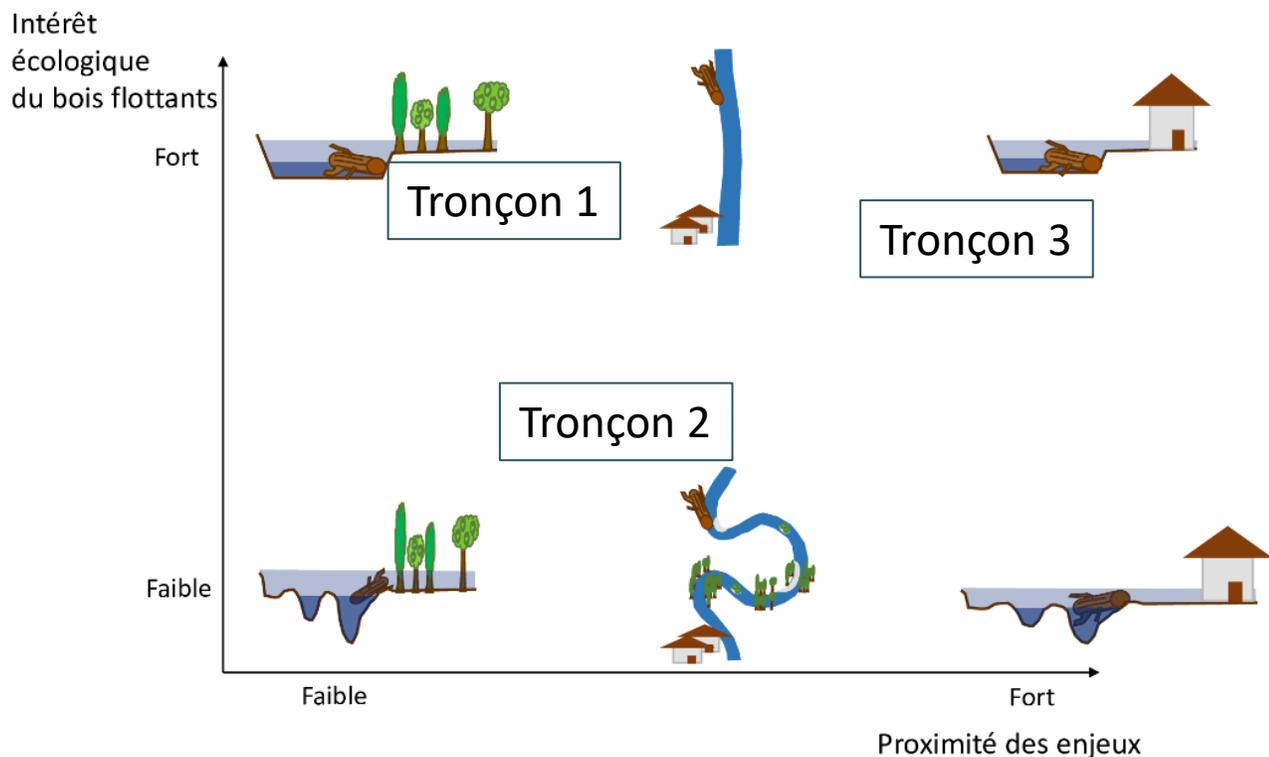


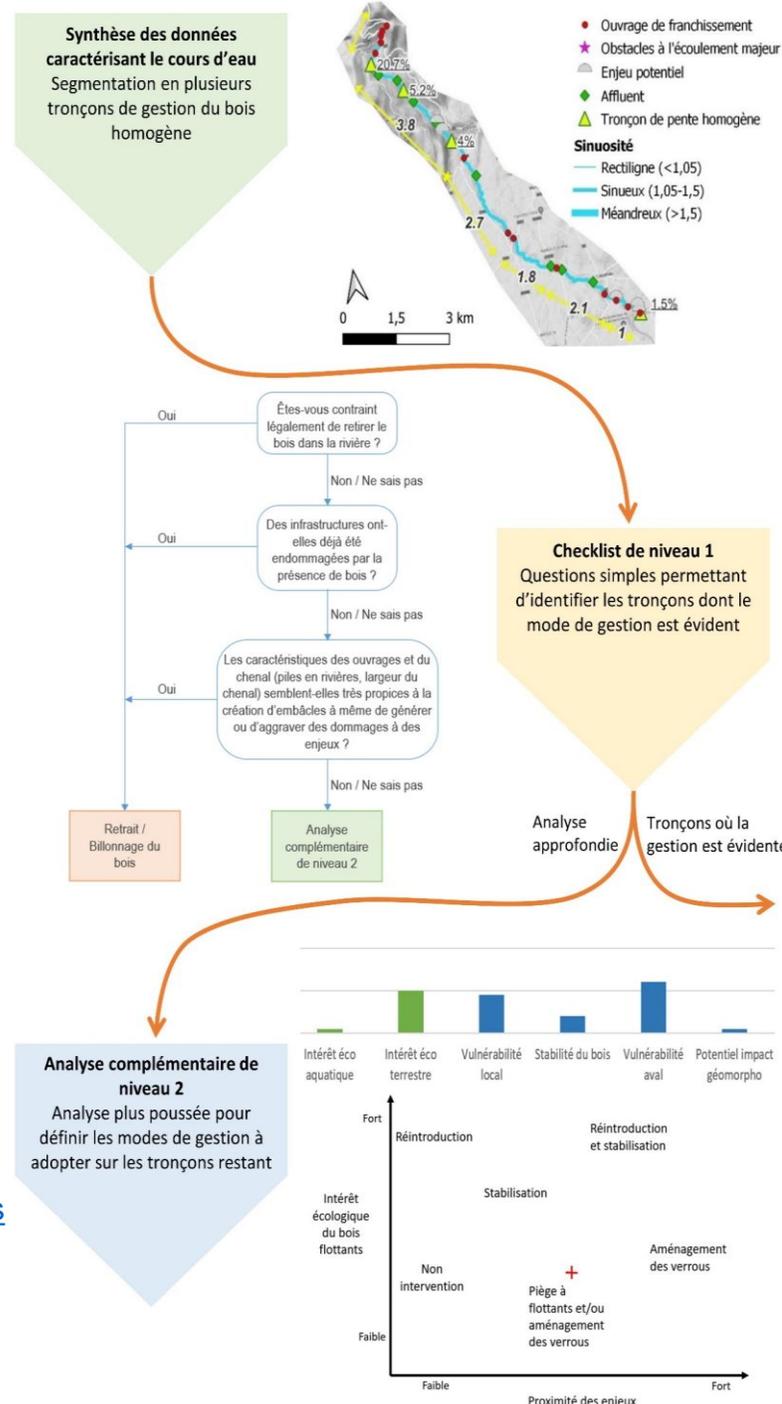
Diagramme conceptuel Proximité des enjeux & Intérêt écologique

- Approche et exemples : (Benaksas & Piton, 2022) <https://hal.inrae.fr/hal-03926838>
- Documents QGIS et tableurs MS EXCEL: <https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataverse/embacles>



La gestion du bois mort en rivière entre risque d'embâcle et source d'habitats : État des connaissances

9 Nov. 2023 – Veynes (05) – Journée ARBE Guide gestion de la végétation rivulaire



➤ Remarques conclusives

- Le bois flottant est principalement issu de l'activité géomorphologique du bassin versant, sa présence est systématique lors des crues morphogènes, il faut vivre avec.
- Le bois flottant est très peu mobile dans les petits cours d'eau, moyennement mobile dans les petites rivières et très mobile dans les grandes rivières.
- Il s'arrête de façon préférentielle si la largeur d'écoulement < longueur des grandes pièces mobiles, si la hauteur d'écoulement < diamètre (y/c les branches et racines) et si les écoulements sont diversifiés et changeant.
- La meilleur de façon d'en limiter les effets indésirable est de maintenir une continuité de son transport, le cas échéant, de choisir les zones de dépôts et de les adapter pour optimiser ce processus.
- Chaque bassin versant étant unique et les données manquants, il est utile de mener des levés lors des visites et de bancariser ces dernières, par exemple via l'appli mobile INRAE & AE-RMC.



➤ Références

- BENAKSAS S., PITON G. 2023. Action Embâcle : sources, risques et mesures associés. Outils et recommandations. Rapport final de la Tâche 4: Retour d'expérience sur les pièges à bois flottant (report). IGE – Institut des Géosciences de l'Environnement.
- BENAKSAS S., PITON G. 2022. Action Embâcle : sources, risques et mesures associés. Outils et recommandations. Rapport final de la Tâche 2: Traduction, adaptation et application du protocole de Wohl et al. (2019) pour la gestion du bois flottant (report). IGE – Institut des Géosciences de l'Environnement.
- BÉNET L., DE CESARE G., PFISTER M. 2021. Reservoir Level Rise under Extreme Driftwood Blockage at Ogee Crest. *Journal of Hydraulic Engineering* 147, 04020086. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001818](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001818)
- BERGMEISTER K., SUDA J., HÜBL J., RUDOLF-MIKLAU F. 2009. Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren: Grundlagen, Entwurf und Bemessung, Beispiele. Ernst \textbackslashtextbackslashtextbackslash Sohn.
- BRADLEY J.B., RICHARDS D.L., BAHNER C.D. 2005. Debris control structures: Evaluation and countermeasures (No. FHWA-PFISTER M., DE CESARE G., BÉNET L. 2019. Effet des bois flottants bloquant un évacuateur de crue sous des conditions extrêmes. Office fédéral de l'énergie OFEN.
- COMITI F., LUCÍA A., RICKENMANN D. 2016. Large wood recruitment and transport during large floods: A review. *Geomorphology* 269, 23-39. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.06.016>
- CSB 2017. Bois Flottant Aux Evacuateurs De Crues Des Barrages [floating Debris at Reservoir Dam Spillways] (techreport). Comité suisse des barrages - Groupe de travail sur le bois flottant aux Evacuateurs de Crues des barrages.
- GASSER E., SCHWARZ M., SIMON A., PERONA P., PHILLIPS C., HÜBL J., DORREN L. 2019. A review of modeling the effects of vegetation on large wood recruitment processes in mountain catchments. *Earth-Science Reviews* 194, 350-373. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.013>
- GERTSCH-GAUTSCHI E. 2019. Le bois flottant dans les rivières suisses - Pratiques de gestion.
- GSCHNITZER T., GEMS B., MAZZORANA B., AUFLER M. 2017. Towards a robust assessment of bridge clogging processes in flood risk management. *Geomorphology* 279, 128-140. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.002>
- HARTLIEB, A. ET P. RUTSCHMANN (2015). SCHWEMMHOIZ IN FLIEßGEWÄSSERN—GEFAHREN UND LÖSUNGSMÖGLICHKEITEN.(ZUGL. HABILITATION). 133. LEHRSTUHL FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT, INGENIEURFAKULTÄT BAU GEO UMWELT, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, P. 171. URL : [HTTPS://WWW.BGU.TUM.DE/FILEADMIN/W00BLL/WB/PUBLIKATIONEN/BERICHTSHEFTE/BAND133.PDF](https://www.bgu.tum.de/fileadmin/w00bll/wb/publikationen/berichtshefte/band133.pdf)
- LALLIAS-TACON S., LIÉBAULT F., PIÉGAY H. 2017. Use of airborne LiDAR and historical aerial photos for characterising the history of braided river floodplain morphology and vegetation responses. *CATENA* 149, 742-759. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.038>
- LANGE D., BEZZOLA G. 2006. Schwemmholz - Probleme und Lösungsansätze [Driftwood - Problems and solutions] (No. 188). Versuchsanstalt für Wasserbau Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule (VAW) Zürich.
- LAUBER G., SPEERLI J., BERTSCHI W., HEMMI A. 2016. Integrated bed-load and driftwood retention in Kien - Findings from model-based testing and the 2011 flood [Geschiebe- und Schwemmholzrückhalt Kien-Erkenntnisse aus den Modellversuchen und dem Hochwasser 2011], in: INTERPRAEVENT Conference proceedings. International Research Society INTERPRAEVENT, Klagenfurt (Austria), p. 708-717.
- LIVERS B., LININGER K.B., KRAMER N., SENDROWSKI A. 2020. Porosity problems: comparing and reviewing methods for estimating porosity and volume of wood jams in the field. *Earth Surface Processes and Landforms* esp.4969. <https://doi.org/10.1002/esp.4969>
- OFEV 2019. Bois flottant dans les cours d'eau (No. Connaissance de l'environnement num 1910). Office fédéral de l'environnement, Berne.
- PITON G., D'AGOSTINO V., HORIGUCHI T., IKEDA A., HÜBL J. 2023. Functional Design of Mitigation Measures: From Design Event Definition to Targeted Process Modifications, in: JAKOB, M., MCDUGALL, S., SANTI, P.M. (Éd.), Advances in Debris-Flow Science and Practice.
- QUINIOU M., PITON G. 2022. Embâcles : concilier gestion des risques et qualité des milieux. Guide de diagnostic et de recommandations. MTE-DGPR, PLVG et de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, Rapport de synthèse ISL Ingénierie - INRAE. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14047.12962>
- RIMBÖCK A. 2004. Design of rope net barriers for woody debris entrapment: introduction of a design concept, in: INTERPRAEVENT Conference Proceedings. International Research Society INTERPRAEVENT, p. 265-276.
- RUIZ-VILLANUEVA V., AARNINK J., GIBAJA DEL HOYO J., FINCH B., HORTOBAGYI B., VUARIDEL M., PIÉGAY H. 2023. Is it all just about sediment in gravel-bed rivers? Current progress in research on instream large wood. *Earth Surface Processes and Landforms* Special Issue Gravel Bed Rivers 9.
- SCHMOCKER L., WEITBRECHT 2013. Driftwood: Risk analysis and engineering measures. *Journal of Hydraulic Engineering* 139, 683-695. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000728](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000728)
- STEEB N., RUIZ-VILLANUEVA V., BADOUX A., RICKLI C., MINI A., STOFFEL M., RICKENMANN D. 2023. Geospatial modelling of large-wood supply to rivers: a state-of-the-art model comparison in Swiss mountain river catchments. *Earth Surface Dynamics* 11, 487-509. <https://doi.org/10.5194/esurf-11-487-2023>
- WOHL E., SCOTT D.N., YOCHUM S.E. 2019. Managing for large wood and beaver dams in stream corridors (No. RMRS-GTR-404). US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO.

➤ Lectures complémentaires



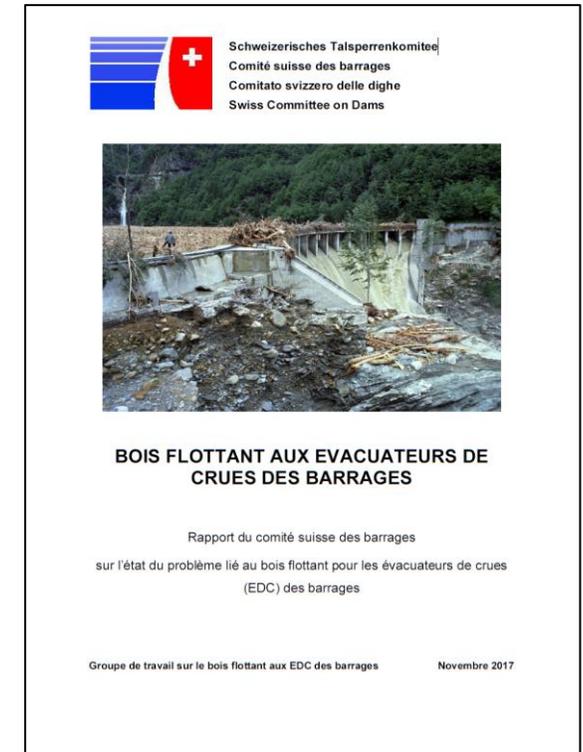
Piton & Benaksas 2022. Notes grand public sur le bois flottant
<https://hal.inrae.fr/hal-04239762>



OFEV. 2019. Bois flottant dans les cours d'eau. Office fédéral de l'environnement, Berne
www.bafu.admin.ch/uw-1910-f



Quiniou M, Piton G. 2022. Embâcles : concilier gestion des risques et qualité des milieux. Guide de diagnostic et de recommandations. Rapport de synthèse ISL Ingénierie – INRAE. 131p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03621373v1>



CSB. 2017. Bois Flottant Aux Evacuateurs De Crues Des Barrages [floating Debris at Reservoir Dam Spillways] . techreport. Comité suisse des barrages - Groupe de travail sur le bois flottant aux Evacuateurs de Crues des barrages. 82 p.
http://www.swissdams.ch/it/publications/publications-csb/20190515_STK_Schwemmholz_Schlussbericht_FR_Final.pdf

INRAE