



**HAL**  
open science

**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**  
Swann Benaksas, Guillaume Piton

► **To cite this version:**

Swann Benaksas, Guillaume Piton. 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. IGE – Institut des Géosciences de l'Environnement. 2023, pp.83. hal-03926838

**HAL Id: hal-03926838**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03926838>**

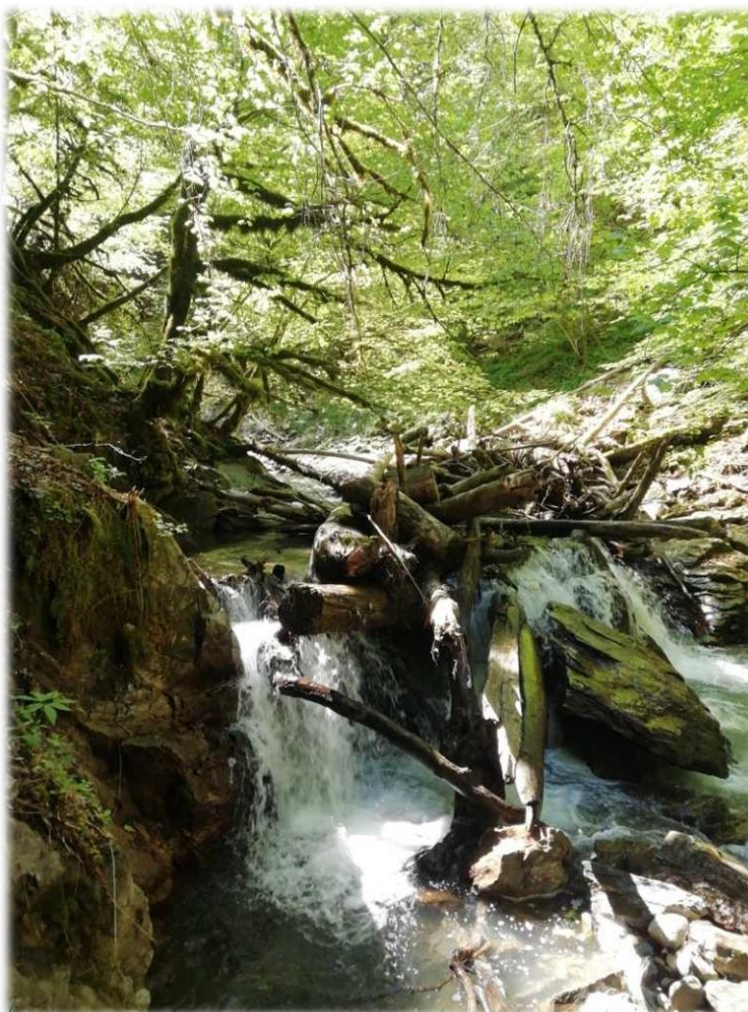
Submitted on 16 Jun 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



## **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

Rapport V1 - Décembre 2022

Swann BENAKSAS et Guillaume PITON

Accord cadre Agence de l'Eau Rhône – Méditerranée Corse / INRAE

# Table des matières

Citation .....	3
Données complémentaires disponibles en ligne .....	3
Financement.....	3
<b>Résumé non technique .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Introduction .....</b>	<b>6</b>
1.1 Contexte .....	6
1.2 Objectifs du protocole .....	7
<b>2 Protocole .....</b>	<b>7</b>
2.1 Démarche suivie .....	7
2.2 Articulation générale du protocole.....	7
2.3 Segmentation du réseau hydrographique .....	9
2.4 Analyse de niveau 1 (Checklist).....	11
2.5 Analyse de niveau 2 (Multicritères).....	13
2.5.1 Concept de l'approche.....	13
2.5.1.1 Six volets d'analyse : un par critère principal .....	13
2.5.1.2 Sous-critères et agrégation pour former les critères .....	14
2.5.2 Mise en œuvre pratique.....	15
2.5.2.1 Principe de base et adaptations proposées.....	15
2.5.2.2 Analyse des données et interprétations.....	16
<b>3 Des résultats du protocole au choix du mode de gestion à privilégier.....</b>	<b>18</b>
3.1 Les modes de gestion du bois flottants.....	18
3.2 Quel mode de gestion pour quel contexte ? .....	20
<b>4 Application du protocole sur un bassin versant français .....</b>	<b>23</b>
4.1 Caractéristiques et choix des sites d'étude.....	23
4.2 Leçons principales des sites d'application .....	24
4.3 Exemple détaillé d'application du protocole au Ruisseau du Lagamas (34).....	25
4.3.1 Présentation du bassin versant .....	25
4.3.2 Segmentation du cours d'eau .....	25
4.3.3 Résultats de la checklist de niveau 1 du protocole.....	27
4.3.4 Résultats de l'analyse de niveau 2 du protocole .....	27
4.3.5 Modes de gestion à privilégier .....	29
<b>5 Bilan .....</b>	<b>30</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>31</b>
<b>Annexe A. Fondements scientifiques des critères et indicateurs de notation.....</b>	<b>33</b>
A. Volet A : Risques pour les écosystèmes aquatiques associés au fait de retirer du bois flottant.....	33
B. Volet B « Risques pour les écosystèmes terrestres associés au fait de retirer du BF » .....	34
C. Volet C : Risques d'élévation du niveau d'eau sur les berges et le lit majeur .....	35
D. Volet D : Stabilité du BF et potentiel déplacement .....	35
E. Volet E : Proximité et risques sur les structures en aval, services et infrastructure .....	36
F. Volet F : Potentiel pour avoir des conséquences géomorphologiques involontaires .....	37
<b>Annexe B. Compléter les formulaires EPICOLLECT5 sur le terrain .....</b>	<b>38</b>
A. Ouvrir les formulaires .....	38
B. Remplir le formulaire « Releve bois flottants riviere » .....	38
C. Comment remplir le formulaire « Releve Verrous Hydrauliques » .....	40
D. Remplir le formulaire « Relevé Enjeux Potentiellement Vulnérables » .....	42
E. Comment remplir le formulaire « Protocole de gestion du bois flottants » .....	43
<b>Annexe C. Importer et interpréter les relevés de terrain pour assigner des scores aux</b>	

## sous-critères 46

A. Préambule .....	46
B. Visualisation cartographiques des résultats sous Epicollect5 .....	46
C. Export des fichiers .csv depuis le site Epicollect5 ( <a href="https://five.epicollect.net/">https://five.epicollect.net/</a> ) .....	47
D. Création des Shapefiles à partir des fichiers .csv .....	47
E. Analyses des données, remplissage des scores du formulaire .....	48
F. Remplissage des scores dans le fichier « 3ResultatsProtocole_epicollecte.xlsx » .....	48

## Annexe D. Suggestion d'assignation des poids relatifs des sous-critères ..... 58

Principe .....	58
A. Volet A : Risques associés au fait de retirer du BF sur les écosystèmes aquatiques .....	58
B. Volet B : Risques associés au fait de retirer du BF sur les écosystèmes terrestres .....	59
C. Volet C : Risques d'élévation du niveau d'eau sur les berges et le lit majeur .....	60
D. Volet D : Stabilité du bois flottant et potentiel déplacement .....	61
E. Volet E : Proximité et risques sur les structures en aval, services et infrastructures .....	62
F. Volet F : Effets géomorphologiques indésirables .....	62

## Annexe E. Application du protocole à cinq autres bassins versants ..... 64

A. Bréda .....	64
B. Bresson .....	69
C. Alloix .....	72
D. Brague .....	75
E. Clamoux .....	79

## Citation



Le présent rapport est publié sous licence CC-BY 4.0 et peut être cité de la façon suivante :

Swann Benaksas, Guillaume Piton. 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. IGE – Institut des Géosciences de l'Environnement. 2023, pp.83. ([hal-03926838](https://hal-03926838))

## Données complémentaires disponibles en ligne

Une collection de données librement accessibles peut être consultée au lien suivant :

<https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataverse/embacles>

Elle contient des fichiers informatiques préparés sous les logiciels Epicollect 5, QGIS et Microsoft Excel :

- Permettant de répéter le type d'analyse décrite dans ce rapport, des fichiers modèles en quelques sorte,
- Issues du travail des auteurs et qui ont été utilisés pour les cas d'étude décrits dans ce rapport.

Nous espérons qu'ils seront utiles aux lecteurs souhaitant répéter ou améliorer nos analyses.

## Financement

Le travail ayant permis de préparer le présent rapport a été financé par le projet suivant :

- Accord Cadre INRAE / AE-RMC 2021 - Action 79 -Embâcles: sources, risques et mesures associées. Outils et recommandations

## Résumé non technique

Lors de crues morphogènes, des volumes importants de bois peuvent être transportés par les flots et engendrer des accumulations (embâcles) au niveau de verrous hydrauliques (ponts, barrages, sections étroites). Ces embâcles peuvent entraîner un risque lorsqu'ils ont lieu au droit de zones à enjeux. Pour réduire ce risque, les modes de gestion les plus pratiqués à l'heure actuelle en France sont le retrait, le billonnage ou le broyage du bois mort présent dans le corridor fluvial (**bois tombé sur place, bois déposé par l'homme et bois ayant été transporté par les flots : nous considérons l'ensemble de ces éléments sous le terme générique de « bois flottant »**). Cependant, il a été largement démontré que la présence de ce bois apportait un grand nombre de bénéfices écosystémiques : stabilisation du lit et des berges, écrêtement des crues, sources de nutriments, source d'habitats et de refuges pour de nombreuses espèces aquatiques et terrestres, amélioration de la qualité de l'eau, etc. Il est d'ailleurs intéressant d'avoir en tête que toutes les espèces du milieu aquatique et terrestre se sont développés durant des centaines de milliers d'années dans un milieu où le bois mort était omniprésent. Ce n'est que très récemment (depuis quelques centaines d'années) que l'homme a commencé à le retirer massivement pour le chauffage, la construction, ou le risque d'embâcle. Il a également été prouvé que les modes de gestion du bois flottants actuelles montraient une efficacité limitée. En effet, parmi le bois retrouvé au sein des embâcles après une crue de forte magnitude, la majeure partie est issu d'arbres sains recrutés par les flots via des érosions de berges, le bois mort ne comptant que pour une petite fraction. N'agir que sur cette faible fraction de bois mort ne répondra nécessairement qu'à une petite partie du problème. Un changement de paradigme a commencé à s'opérer à ce sujet, et afin d'accélérer ce changement d'approche, il est nécessaire d'élaborer des documents pédagogiques s'adressant aux différents acteurs concernés. **Le présent rapport vise à aider les techniciens de rivières à établir un diagnostic du bois flottant sur leur territoire, afin de définir les modes de gestion à adopter dans le cas d'une certaine urgence** (par exemple, s'il manque de temps pour réaliser un plan de gestion détaillé).

Plus précisément, ce rapport décrit un protocole permettant de (i) faciliter le diagnostic des stocks de bois flottants présents dans la zone arpentée, (ii) réaliser une analyse sommaire mais objective de l'effet du bois flottant sur les aspects environnementaux et risques inondations, pour (iii) déboucher sur des options de gestions tel que le retrait, mais aussi le billonnage, l'ancrage, le suivi, la non-intervention ou la mise en œuvre d'actions structurales plus lourdes (modifications des ponts, pièges à embâcles). L'articulation du protocole est tout d'abord détaillée, puis des exemples concrets d'applications à six cours d'eau sont présentés en guise d'illustration.

La première étape du protocole consiste à rassembler les informations qui vont permettre de mener à bien les analyses ultérieures. A l'aide de ces données récoltées, le cours d'eau est segmenté en tronçon pour lesquels on envisage de mener un mode de gestion homogène du bois flottant. Cette étape permet d'avoir une vision claire de l'architecture générale du réseau hydrographique et de la localisation (i) des verrous sensibles au bois flottant, (ii) des zones vulnérables aux inondations et érosions de berges et (iii) des ruptures dans la morphologie influençant le transport des flottants. Des grands tronçons homogènes sont définis sur la base de ces critères.

Dans un second temps, trois questions simples permettent d'identifier rapidement les tronçons sur lesquels il faut de manière évidente retirer/billonner le bois, ou bien ne pas intervenir. Si cette évidence n'est pas démontrée, l'étape qui suit permet d'établir un diagnostic de chacun des tronçons restant.

La troisième étape consiste donc en un diagnostic objectif des effets du bois flottant dans le tronçon à l'aide d'une analyse multicritère : pour chaque tronçon, des scores sont attribués à plusieurs volets thématiques afin de comparer les différents effets, bénéfiques ou dommageables, du bois flottant entre eux. Pour attribuer ces scores, chaque volet est décomposé en plusieurs sous-critères auxquels sont attribués une note et un poids représentant l'importance relative de ce sous-critère. Pour aider l'utilisateur à choisir la note adéquate, des indicateurs simples basés sur des recherches scientifiques et des observations de terrain sont proposés. Des formulaires disponibles sur smartphone sont ensuite proposés pour relever l'ensemble des bois flottants, verrous hydrauliques et enjeux potentiels rencontrés, afin de pouvoir compléter cette étape au bureau avec un jeu de données fiable et complet.

Enfin, des modes de gestion alternatifs au retrait/billonage quasi-systématique sont dans un premier temps présentés avec leurs intérêts et limites. Puis selon le contexte, c'est-à-dire selon les scores obtenus à l'étape précédente, des recommandations de mode de gestion sont proposées.

Ce protocole a été appliqué à plusieurs bassins versant du territoire Rhône-Méditerranée-Corse afin de le tester et l'ajuster, et pour vérifier la cohérence des résultats sur des tronçons où le mode gestion à adopter semblait évident. Le cours d'eau Le Lagamas (34) est présenté en tant qu'exemple dans ce rapport, en en détaillant chaque étape du protocole. Cinq autres bassins versant étudiés sont présentés en annexes.

La Figure 1 est une synthèse graphique de l'approche proposée dans le présent rapport.

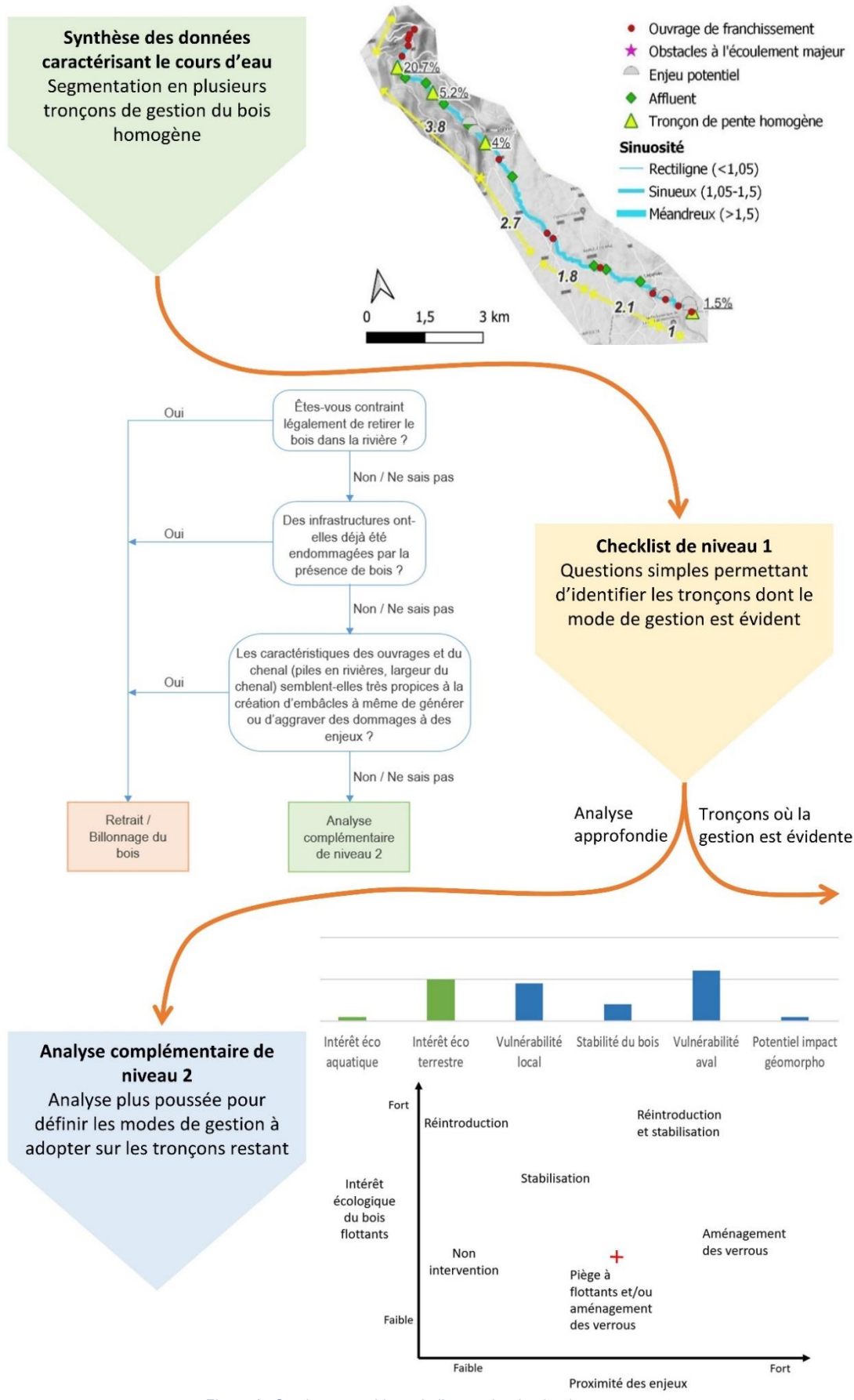


Figure 1 : Synthèse graphique de l'approche décrite dans ce rapport

# 1 Introduction

## 1.1 Contexte

Pendant les crues des rivières, le bois mort situé dans le lit mineur et dans le lit majeur peut être recruté par les flots et transporté vers des zones à enjeux. **A travers ce rapport nous utilisons le terme générique de « bois flottant » pour désigner le bois ayant été transporté par les flots mais aussi le bois tombé sur place, et le bois déposé par l'homme dans les zones inondables qui pourraient tous deux être potentiellement emportés pour des crues de forte magnitude.** Les volumes de bois flottant augmentent en général significativement si la crue est morphogène, c'est-à-dire qu'elle génère des érosions de berges, ou que des processus extérieurs fournissent du bois au cours d'eau (glissements de terrains par exemple). Au droit de verrous hydraulique (ponts, barrages, sections étroites), le bois flottant forme éventuellement des embâcles.

L'entretien des ripisylves reste de nos jours très orienté vers la réduction du risque d'embâcle. Les modes de gestions les plus fréquents sont basés sur des pratiques telles que le retrait des arbres menaçant de tomber dans le lit mineur et le traitement du bois mort par enlèvement, broyage ou, à minima, billonnage (tronçonnage des éléments d'une grande longueur pour en réduire la taille). Ce mode de gestion pose question pour différentes raisons :

- Il a un coût très élevé (des dizaines de millions d'euros à l'échelle du bassin Rhône Méditerranée Corse) ;
- Il est jugé prioritaire par ses opérateurs, ne laissant que peu de temps pour les opérations plus qualitatives (régénération des peuplements, restauration des milieux) ;
- Il génère une altération forte des milieux : l'intérêt biologique, écologique et géomorphologique d'une ripisylve diversifiée, d'arbres sénescents et de la présence de bois mort dans le lit mineur et dans le lit majeur fait consensus dans toutes les communautés scientifiques (Wohl et al., 2019). Il est donc assez contradictoire avec les logiques d'atteinte du bon état et des espaces de bon fonctionnement.
- Il a une efficacité très discutée sur la réduction du risque. En effet des travaux scientifiques récents ont montré qu'*il est fondamentalement faux de croire que les embâcles sont formés principalement de bois mort et d'arbres instables, 75% à 95% des embâcles sont formés d'arbres sains arrachés à l'échelle de la crue* (ex. Oct. 2015 sur la Brague à Biot (06) : 3000 arbres arrachés et 8 ponts obstrués malgré 20 ans d'entretien).

Un changement de paradigme dans la gestion des ripisylves doit avoir lieu.

Les travaux scientifiques récents montrent qu'il est préférable de ne pas intervenir dans les zones sans enjeux, d'adapter les tronçons sensibles aux embâcles pour les rendre transparents ou de mettre en place des pièges à embâcles en amont de ces derniers et de réorienter l'effort d'entretien vers les zones critiques et les ouvrages de piégeage. Ce changement de paradigme a un double intérêt : il permet une plus grande efficacité de protection contre les risques associés aux embâcles, tout en permettant d'améliorer la qualité des milieux en diminuant l'altération liée au retrait du bois mort.

Les modes de gestion actuelles des ripisylves sont pratiqués depuis des années et sont ainsi ancrées dans la culture de la communauté. Pour faciliter le changement de paradigme, il est nécessaire de produire des documents pédagogiques, orientés vers les praticiens tout en étant fondés sur des bases scientifiques solides. Ces documents doivent à la fois mettre en lumière les défauts des modes de gestions actuelles mais aussi proposer les solutions alternatives pour en changer.

Un guide technique dédié au bois flottant est paru récemment (Quiniou et Piton, 2022). Plutôt à destination d'une audience de chargés de mission et d'ingénieurs, il fait la synthèse des connaissances techniques sur la fourniture en bois flottants, sur son intérêt écologique, sur son transport et ses interactions avec les ouvrages (pont et barrages) et sur les techniques de gestion de ce dernier. Il peut donc aider à caractériser les risques associés au transport de bois flottant et à planifier des modes de gestions.

Toutefois, sur le terrain, la mise en œuvre effective des opérations de désembâclement et de gestion du bois flottant est menée par les techniciens de rivière. Ces derniers doivent, souvent dans l'urgence, disposer d'une vision à l'échelle de leur territoire des stocks de bois flottants en place et des modes de gestions à mettre en œuvre sur les différents tronçons de cours d'eau. **Le présent rapport vise à aider les techniciens de rivière à cette étape.**

## 1.2 Objectifs du protocole

L'objectif de ce protocole est de fournir un outil standardisé et simple pour aider à définir les modes de gestions des bois flottants à adopter lorsque l'urgence ne permet pas d'attendre la réalisation d'un plan de gestion et d'entretien de la ripisylve qui nécessite des études approfondies. En effet, lorsqu'il n'y a pas de plan de gestion ou que le diagnostic de l'état de référence de celui-ci devient obsolète (par exemple après une crue particulièrement morphogène), il est parfois nécessaire d'agir rapidement.

Le but des travaux de recherche présentés dans ce rapport est de fournir une aide complémentaire pour définir le mode de gestion le plus adapté lorsque la situation le nécessite. **Cet outil est à l'intention des gestionnaires de cours d'eau**, et il vise à :

- (i) Faciliter le diagnostic des stocks de bois flottants présents dans la zone arpentée,
- (ii) Réaliser une analyse sommaire mais objective de l'effet du bois flottant sur les aspects environnementaux et risques inondations,
- (iii) Pour déboucher sur des options de gestions tel que le retrait, mais aussi le billonnage, l'ancrage, le suivi, la non-intervention ou la mise en œuvre d'actions structurales plus lourdes (modifications des ponts, pièges à embâcles).

## 2 Protocole

### 2.1 Démarche suivie

Le protocole proposé est en premier lieu inspiré d'un protocole développé par Ellen Wohl et ses collaborateurs au Colorado (Wohl *et al.*, 2016). Ce protocole avait été amendé dans son guide de 2019 (Wohl *et al.*, 2019). Dans le cadre du présent travail, la version de 2019 a été traduite et testée sur des cours d'eau. Il nous a semblé que les critères utilisés couvraient bien un large panel des effets du bois flottant sur les cours d'eau. Toutefois l'attribution d'un score à chaque critère était très subjective : quasiment aucun indicateur n'était défini pour évaluer les différents critères et sous-critères.

Un travail de bibliographie a alors été entrepris pour ajouter au protocole de Wohl *et al.* des indicateurs plus clairs permettant d'évaluer chaque sous-critère. Les fondements scientifiques des différents critères et sous-critères sont ainsi décrits dans l'Annexe A. L'approche se voulant aussi rapide que possible à mettre en œuvre, nous avons choisi des indicateurs simples et donc simplistes. Le protocole proposé ne remplace en aucun cas une bonne étude de préparation d'un plan pluriannuel d'entretien ni une étude de la restauration d'un milieu. Il a plutôt comme ambition de permettre d'inventorier la quantité de bois flottant situé dans le corridor d'une rivière et d'aider de façon multifactorielle à la décision des modes de gestion adaptés. L'application de la version consolidée du protocole à six bassins versant nous a permis d'en explorer quelque peu le potentiel et les limites (cf. §4).

Notons que d'autres approches peuvent être suivies pour définir des modes de gestion pertinents. Le guide de Boivin *et al.* (2019) est un bon exemple de synthèse très complète qui propose de plus un outils d'aide à la décision alternatif à celui proposé dans le présent rapport. Faute de temps, nous n'avons pas pu confronter les deux approches. L'intérêt de l'approche proposée par Boivin *et al.* (2019) est qu'elle intègre des critères décrivant la dynamique géomorphologique du cours d'eau. Cette dernière contrôlant au premier ordre la fourniture en bois flottant, il est en effet intéressant de l'intégrer à l'outil. Le protocole de Wohl *et al.* n'intègre pas directement de tels indicateurs. Considérant qu'il est très commun de nos jours pour les gestionnaires de cours d'eau de déjà disposer d'éléments de connaissance sur la dynamique géomorphologique de leurs cours d'eau mais que la dynamique du bois flottant est méconnue, l'idée que nous avons suivie est plutôt de se focaliser sur ce second élément. C'est en définitive au stade de la décision que d'autres éléments que les résultats du protocole doivent être pris en considérations, y compris les connaissances empiriques et techniques de la dynamique du cours d'eau, mais aussi sur les crues passées, la vulnérabilité du territoire et l'état des cours d'eau.

### 2.2 Articulation générale du protocole

Dans sa forme originale, le protocole a été construit pour être appliqué à l'échelle d'un embâcle, d'une accumulation de bois flottant. Wohl *et al.* (2019) pointent toutefois dans leur rapport original qu'une application plus large, à l'échelle d'un tronçon homogène, est aussi possible. Cette seconde option a été privilégiée dans notre approche afin d'alléger son application. La gestion des embâcles est en effet naturellement plutôt menée de façon homogène à l'échelle de tronçons de rivières. La définition des tronçons à l'échelle desquels il est anticipé de mener à bien un mode de gestion



homogène est donc un préalable à l'utilisation de la méthode (cette étape de préparation est présentée en §2.3). Les visites de terrains permettent de confirmer et de corriger éventuellement l'étendue des tronçons (voir §4.3).

Des supports d'aide à la décision sont complétés à l'aide d'observations de terrain et d'une analyse cartographique SIG. Le protocole d'aide à la décision est ensuite organisé en deux niveaux de détail croissant (Figure 2). Au niveau de détail le plus sommaire, une courte liste de questions simples permet tout d'abord d'évaluer si certains critères permettent de définir le mode de gestion du bois flottant de façon évidente. Ces modes de gestions couvrent un large spectre des actions possibles qui vont typiquement de laisser en place les flottants jusqu'à envisager d'en réintroduire en passant par leur éventuel retrait. L'idée générale est de permettre d'interroger la pratique en place qui correspond souvent à une non-intervention dans des secteurs très sauvages et au retrait systématique sans considération de la pertinence et de l'utilité de cette approche sur le reste du réseau hydrographique. Le protocole reconnaît toutefois que là où procéder à ce mode de gestion (ou un autre) est justifié par de bonnes raisons évidentes, il est inutile d'utiliser un outil d'aide à la décision détaillé. Cette analyse de niveau 1 est présentée en §2.4. L'attention sera portée sur les risques pour la sécurité publique et les infrastructures et sur les obligations légales des praticiens vis à vis de la gestion du bois flottant.

Sur les sites où la définition du mode de gestion n'est pas une évidence, des outils d'aide à la décision multicritères sont proposés. Il est sous-entendu que les modes de gestions historiques et habitudes sont exclus de la catégorie des "évidences" : comme indiqué en Introduction, le mode de gestion historique du retrait systématique doit être remis en question. Cette analyse de niveau 2 est présentée en §2.5. Elle vise à fournir une estimation multicritère des différents effets du bois flottant sur la qualité des milieux aquatiques et terrestre et sur les risques d'inondation locale, plus en aval ou d'effets géomorphologiques indésirables. Un critère de stabilité relative des flottants est aussi estimé et complète ces analyses. L'ensemble de ces éléments permettent dans un second temps de guider le gestionnaire vers un mode de gestion (les alternatives et liens entre le diagnostic de niveau 2 et les modes de gestion qu'il suggère sont esquissés dans le §3).

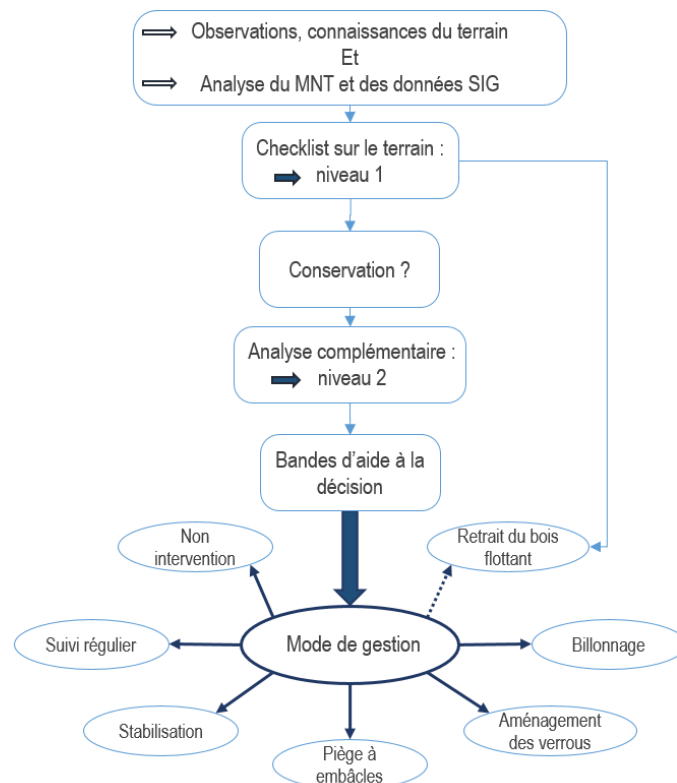


Figure 2 : Schéma du processus à choix multiples pour évaluer l'intérêt ou les risques des bois flottants sur un tronçon

Dans sa version originale, le protocole de Wohl et al. intégrait aussi des critères portant sur la sécurité des usagers des cours d'eau (sports d'eau vives, pêche). Faut de temps et parce que les sites d'études n'étaient pas propices à ces activités, nous n'avons pas pu tester la pertinence de ces critères et affiner la définition de ces derniers. Un autre argument qui nous a poussé à concentrer l'effort de travail sur les composantes environnement et risque est que ces dernières sont au cœur de la compétence GEMAPI, tandis que les activités récréatives en cours d'eau ne sont que plus rarement de la compétence des entités en charge de l'entretien du cours d'eau. L'ensemble du protocole de Wohl et al. est traduit dans le chapitre 4 du guide de Quiniou et Piton (2022). Les utilisateurs intéressés par ces composantes de sport d'eau vive peuvent consulter cette traduction.

## 2.3 Segmentation du réseau hydrographique

Cette section détaille les analyses préalables que nous avons mené afin de préparer les campagnes de terrain et l'utilisation du protocole. Le but est de préparer les informations qui vont permettre d'identifier les tronçons de rivière à l'échelle desquels on envisage de mener une analyse homogène.

Rappelons que le transport de bois flottant est un phénomène parfaitement naturel qui est le signe d'un cours d'eau en bon état écologique. Si ce transport de bois flottant est perçu comme un problème, c'est parce que les infrastructures que sont les ponts et les barrages n'ont en règle générale pas été conçus en considérant qu'il fallait laisser passer le bois flottant transporté par les crues, d'où l'obstruction de ces ouvrages et des désordres associés. Une analyse de la dynamique du bois flottant dans un bassin versant doit donc se baser sur une vision claire de la localisation et des caractéristiques de ces verrous hydrauliques où des problèmes associés à la présence de bois flottant pourraient émerger.

Les connaissances de terrain des praticiens sont précieuses à cette étape (localisation et caractéristiques des ouvrages en rivières, historiques des crues et des dommages, comportement du cours d'eau en fonction des différents sites). Une analyse cartographique sommaire permet de mettre en lumière la localisation de ces verrous et des zones à enjeux. Certaines caractéristiques du réseau hydrographique qui influencent le transport de bois flottant peuvent être cartographiées à cette phase d'analyse amont : distances, sinuosités, topographie.

Dans la mesure où les modes de gestions vont être en premier lieu influencés par la proximité des verrous hydrauliques et des zones à enjeux, la segmentation du cours d'eau est très influencée par ces éléments. D'autres caractéristiques géomorphologiques des cours d'eau influencent le transport du bois flottant et justifient de potentiellement changer de mode de gestion. Les variations majeures de ces facteurs permettront de délimiter des segments homogènes. A chaque changement drastique d'un des facteurs présentés ci-dessous, nous avons en général associé une transition entre deux tronçons :

- La morphologie :
  - Selon le confinement du lit mineur (largeur de la bande active / largeur du fond de vallée), un cours d'eau peut être divisé en plusieurs tronçons : si un cours d'eau présente une section avec un lit mineur encaissé puis une section avec un lit majeur connecté très large, alors il peut être sectionné en deux tronçons homogènes car la dynamique du bois flottant aura vraisemblablement tendance à être différente entre les deux secteurs (par exemple, dépôt de bois plus probable si présence de lit majeur).
  - La variation importante de la largeur du lit mineur peut être un autre facteur de délimitation de tronçon : si le cours d'eau a une largeur moyenne relativement homogène de 5 m, puis que cette largeur augmente jusqu'à 10 m sur une distance suffisante, alors le cours d'eau peut être segmenté en deux tronçons à partir de cette variation de largeur du lit mineur.
- La pente :
  - Un cours d'eau peut être segmenté en tronçons de pente homogène, délimitant des typologies de rivières différentes : par exemple, un cours d'eau peut avoir une pente moyenne élevée sur sa partie amont montagneuse, puis avoir une pente moyenne plus faible sur sa partie médiane de piedmont, pour avoir enfin une pente faible sur sa partie aval en plaine.  
Des ruptures ponctuelles de pentes peuvent être également à l'origine d'une modification majeure de la dynamique du bois : par exemple, un tronçon de pente moyenne 10% au sein duquel une portion suffisamment longue où la pente devient très faible est présente, aura une variation de sa dynamique du bois flottant, il est donc nécessaire de séparer les tronçons au niveau de cette rupture de pente.
- Les affluents principaux : les changements significatifs de débits, d'apports solides et d'apports de bois induits par la présence d'affluents majeurs, justifient aussi la segmentation d'un cours d'eau.
- Les différentes occupations du lit majeur : pour un tronçon jugé homogène d'après les autres facteurs, si l'occupation du sol du lit majeur change significativement, cela induira très probablement une variation de la gestion du bois flottant. Par exemple, pour un cours d'eau de morphologie et de pente homogène, sans verrou hydraulique (dans le cas de ponts surdimensionnés), dont le lit majeur est naturel sur son bassin versant amont puis urbanisé sur sa partie aval, la gestion du bois sera très vraisemblablement différente entre la partie amont et aval de ce cours d'eau.
- Les verrous hydrauliques : les ouvrages artificiels ou formations naturelles présentant des caractéristiques propices à l'obstruction par le bois flottant sont considérés comme des verrous hydrauliques. Par exemple, les éléments suivants sont considérés comme des verrous hydrauliques : ponts (sauf si surdimensionné), barrages, seuils (sauf si transparent pour le bois en crue), canyons. Si un tel verrou est présent, cela a un impact potentiel sur la dynamique du bois flottant et sur la gestion qui sera appliqué entre l'amont et l'aval.

Pour cette raison, un tronçon jugé homogène d'après les autres facteurs et coupé par un verrou, sera segmenté en deux à trois tronçons. Par exemple, un cours d'eau se trouvant entièrement en zone boisée, sans variation géomorphologique majeure et avec un verrou hydraulique au milieu, aura vraisemblablement des modes de gestion homogène : (i) à l'aval du verrou ; (ii) un autre mode de gestion juste à l'amont de l'ouvrage, sur une distance où le bois est susceptible d'être transporté jusqu'au verrou ; et (iii) un dernier mode de gestion sur sa section bien à l'amont de l'ouvrage où le bois est peu susceptible d'être transporté jusqu'au verrou.

**Remarque :** Lorsque plusieurs verrous hydrauliques sont présents de manière successives et relativement rapprochés (distance inter-verrous de l'ordre de quelques centaines à mille mètres, voire plus sur des cours d'eau larges), la gestion du bois sur tout le linéaire concerné sera vraisemblablement similaire, considérer un seul tronçon est recommandé dans ces cas-là.

Dans le protocole, la distance de transport des bois flottant est donc une caractéristique clé pour segmenter les tronçons. Ces distances de transport sont mal connues. Dans le cas de grandes rivières (largeur >> longueur de bois flottants), comme l'Isère, l'Ain et le Rhône, les suivis scientifiques laissent penser que les distances de transport peuvent être très grandes, de l'ordre de dizaines de kilomètres. Pour les cours d'eau de plus faible largeur, les données sont très rares.

Des analyses empiriques laissent penser que les distances de transports moyennes sont relativement faibles, de l'ordre de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres selon les dimensions des flottants relativement à la largeur du lit et la morphologie et sinuosité du cours d'eau. Mireille Boyer du bureau d'étude Aquabio Conseil, spécialiste du sujet, a établi à dire d'expert un tableau de distances de transport « types » qui permet de se donner des ordres de grandeurs (Tableau 1). Des témoignages historiques ponctuels font état d'anecdotes sur des pièces de bois marquées ou des arbres entiers ayant été transporté sur des longueurs bien supérieures mais aussi bien inférieures. Le phénomène de transport de bois flottant est en effet intrinsèquement très aléatoire, variable selon une part de hasard et une part dépendante des caractéristiques des pièces transportées, des écoulements qui les transportent et du milieu dans lequel elles sont transportées. **Les valeurs fournies dans le Tableau 1 sont des ordres de grandeurs.** Elles peuvent évidemment être localement très différentes de valeurs observées, mais elles sont cohérentes avec les tendances du phénomène très mal connu du transport de bois flottant. De telles valeurs sont utiles pour avoir des ordres de grandeurs des zones à considérer et aussi à comparer de nombreux secteurs sur une base homogène.

Tableau 1 : Méthode d'estimation de la distance de transport du bois flottant (source : feuille de calcul de Mireille BOYER, AQUABIO Conseil)

Morphologie	Lit unique stable						Lit divaguant ou en tresses
	Bois flottants courts (Longueur < 0.5 largeur chenal)			Bois flottants moyens et plus longs (Longueur > 0.5 largeur chenal)			
Longueur flottant	Rectiligne <1.05	Sinueux 1.05-1.5	Méandreux >1.5	Rectiligne <1.05	Sinueux 1.05 - 1.5	Méandreux >1.5	
Sinuosité							
Largeur chenal	Distance de transport type des bois flottant						
0-2 m	500 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	>> 5000 m (non limitée)
3-5 m	2000 m	1000 m	500 m	800 m	400 m		
6-12 m	2000 m	1000 m	500 m	800 m	400 m	200 m	
13-20 m	3000 m	2000 m	1000 m	2000 m	1000 m	500 m	
>20 m	>> 5000 m (non limitée)						

Deux exemples concrets d'application du protocole sur des bassins versants du territoire Rhône-Méditerranée-Corse sont présentés dans la section 4. La façon dont nous avons procédé à la segmentation des cours d'eau y est détaillée.

**En synthèse :** l'objectif de cette étape de segmentation est d'avoir une vision claire de l'architecture générale du réseau hydrographique et de la localisation (i) des verrous sensibles au bois flottant, (ii) des zones vulnérables aux inondations et érosions de berges et (iii) des ruptures dans la morphologie influençant le transport des flottants. Des grands tronçons homogènes sont définis sur la base de ces critères (Figure 3)

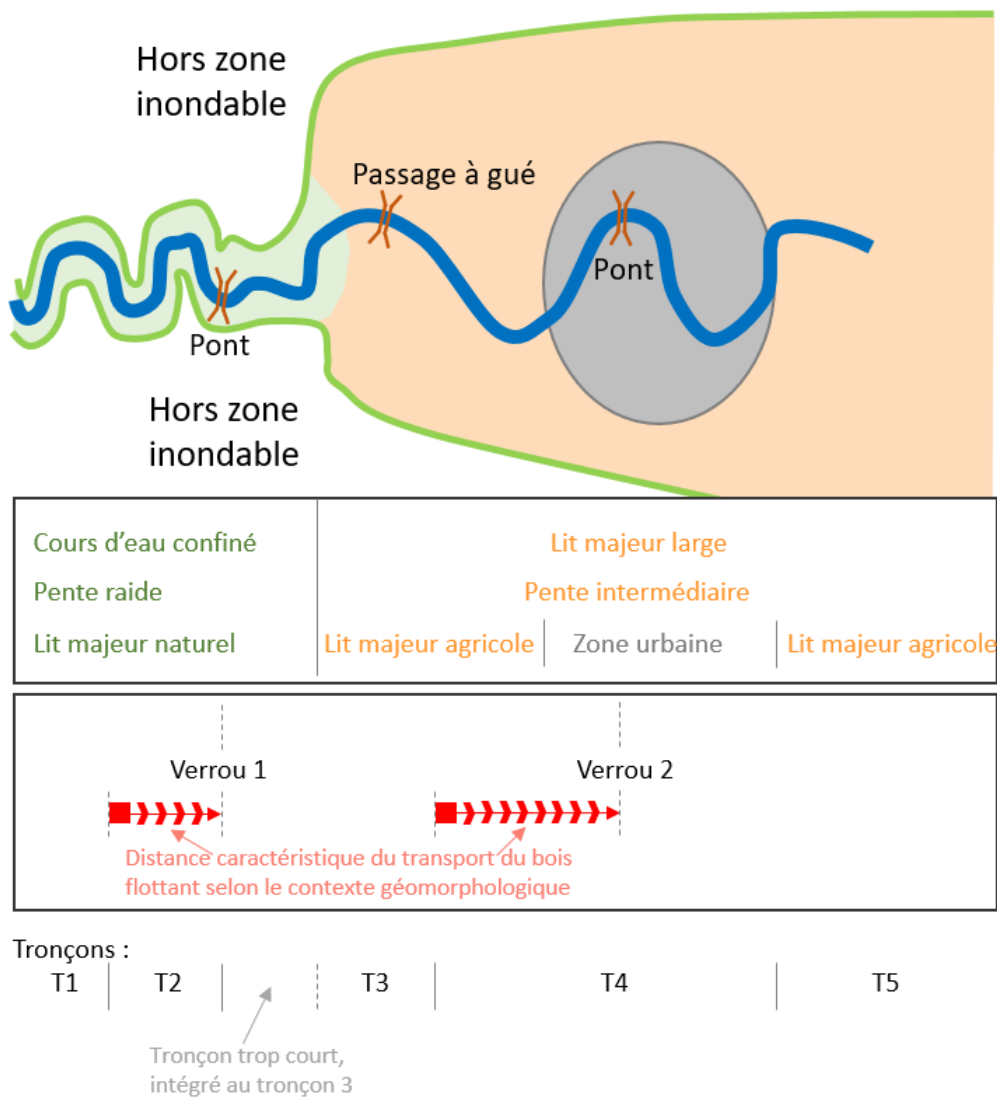


Figure 3 : Représentation conceptuelle de l'étape préalable de segmentation du réseau hydrographique

Cette segmentation doit être menée avec une finesse adaptée au cas d'étude. Dans les étapes suivantes du protocole, chaque tronçon fera l'objet d'une analyse de niveau 1 et éventuellement de niveau 2 si le mode de gestion n'est pas évident. Une sur-segmentation en tronçons homogènes trop courts alourdirait le protocole pour un gain marginal de finesse d'analyse. Dans nos applications aux cas de terrains, les tronçons homogènes avaient souvent une longueur de l'ordre de un à quelques kilomètres.

## 2.4 Analyse de niveau 1 (Checklist)

La checklist de Niveau 1 couvre les trois raisons principales que nous avons identifiées pour justifier de façon évidente de retirer ou billonner le bois flottant dans un tronçon (Figure 4). Ces raisons relèvent d'obligation légale, de risques importants de dommages aux infrastructures ou d'aggravation des risques d'inondation sur la base d'observations directes ou d'éléments pratiques indiscutables. Rappelons que le mode de gestion de retrait / billonnage du bois doit être rediscuté si des adaptations des verrous hydrauliques ont permis de diminuer le risque d'obstruction d'un ouvrage : il faut s'interroger sur la nécessité d'entretenir de façon intense un tronçon situé en amont d'un pont qui aurait été obstrué historiquement, aurait rompu puis été reconstruit plus large et plus haut.

Si le bois flottant du tronçon n'est pas considéré comme représentant un danger immédiat, il est considéré que la situation ne justifie pas de retirer le bois *de façon évidente*. Nous suggérons alors de procéder à une analyse de niveau 2 pour disposer d'une analyse multicritère (qui pourrait aboutir à la même décision mais de façon plus éclairée). Cette analyse de niveau 2 est aussi inutile dans les cas opposés aux premiers où il est évident qu'aucun retrait du bois flottant n'est nécessaire.

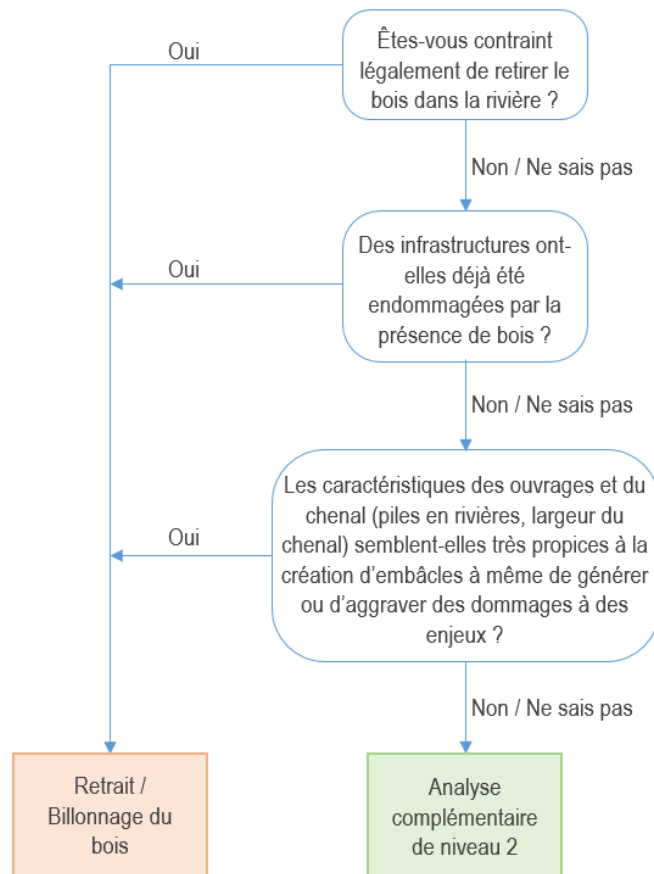


Figure 4 : Checklist de niveau 1 : 1ère évaluation de la conservation de bois flottants isolés ou d'embâcles

Dans la seconde question, on désigne par « dommages » des désordres qui nécessitent plus qu'un simple nettoyage et retrait du bois. Si aucun affouillement ni contournement de l'ouvrage impliquant des érosions et/ou l'inondation d'enjeux vulnérables n'est constaté, le retrait d'une accumulation de bois flottant contre un ouvrage n'entre pas dans la catégorie des endommagements.

Apporter une réponse à la troisième question peut être plus subjectif. En premier lieu, il faut focaliser l'attention sur les enjeux menacés. La vulnérabilité de ces derniers ne doit laisser aucun doute quant à la justification d'un retrait pur et simple du bois mort. Rappelons que l'analyse de niveau 2 peut aussi aboutir à choisir ce mode de gestion. Cette décision sera alors le fruit d'une réflexion mesurée plutôt que d'un arbitrage sans contre arguments.

Il faut aussi souligner que l'élévation locale du niveau des écoulements en lien avec les embâcles contribue au ralentissement dynamique des crues et donc à la protection des enjeux situés en aval. Le retrait du bois mort des zones sauvages accélère ainsi les écoulements, facilite le transport des sédiments et aggrave quelque peu les risques inondations en aval. Des embâcles artificiels barrant les chenaux de ruisseaux et de combes sont d'ailleurs mis en place dans certains pays pour restaurer des faciès disparus mais aussi dans l'objectif principal de protection contre les inondations<sup>1</sup>.

En complément d'enjeux très vulnérables, les caractéristiques qui peuvent être considérés comme très propices à la création d'embâcle aggravant les risques d'obstruction et de sur-inondation sont décrites dans le guide de Quiniou et Piton (2022). On retient en particulier :

- La présence conjointe d'au moins une pile ou d'une culée de pont dans l'axe principal des écoulements et de travées significativement plus courtes que la longueur des flottants,
- Les ouvrages dont la sous-poutre est franchement mise en charge pour des écoulements de crue et dont la structure et les gardes corps tendent à piéger les flottants (structures en treillis).

En cas de travées de l'ordre de grandeur de la largeur du chenal ou de présence d'une pile sur un ouvrage au gabarit

<sup>1</sup> Nommé « leaky dams » (barrages qui fuient), ces ouvrages sont une bonne façon de reproduire le phénomène naturel d'accumulations de bois mort entravant les écoulements, accumulations qui ont disparu sous la pression anthropique. Voir un exemple d'implantation sur la chaîne youtube Réseaux Rivières TV : <https://www.youtube.com/watch?v=JPJD6bSm-Qk> et <https://www.youtube.com/watch?v=SlnCaxrOYJY>

hydraulique relativement large ou d'une mise en charge partielle ou d'un tablier pas particulièrement propice à l'arrêt des flottants, nous recommandons de mener une analyse de niveau 2. Elle aboutira ou non à la décision du retrait / billonnage des flottants mais au moins, le décideur aura des indicateurs factuels et des critères plus complets pour prendre cette décision.

## 2.5 Analyse de niveau 2 (Multicritères)

### 2.5.1 Concept de l'approche

#### 2.5.1.1 Six volets d'analyse : un par critère principal

L'objectif de ce second niveau de détail est de fournir une analyse multicritère des effets du bois flottant et de leur mobilité. On présente dans cette section le concept de l'approche. Sa mise en œuvre pratique est décrite succinctement dans la section suivante et détaillée dans l'Annexe B (compléter les formulaires) et l'Annexe C (Importer et interpréter les données de terrain).

Des supports d'aide à la décision ont été développés pour fournir une analyse plus détaillée que la checklist de Niveau 1. Ils sont composés de différents volets thématiques qui compilent chacun une série de sous-critères, le but étant d'évaluer pour chaque tronçon : l'impact du retrait du bois sur les habitats aquatiques et terrestres, la stabilité du bois, et les conséquences potentielles du bois sur les inondations, infrastructures et propriétés.

La Figure 5 récapitule le fonctionnement de l'aide à la décision. Un score de 10 à 30 sera attribué à chacun des six volets thématiques. Le diagramme en barres associé constitue un support graphique de ces scores qui n'ont que peu de signification intrinsèque. Ils sont surtout utiles pour comparer des tronçons de façon équitable et pour attirer l'attention sur certains volets.

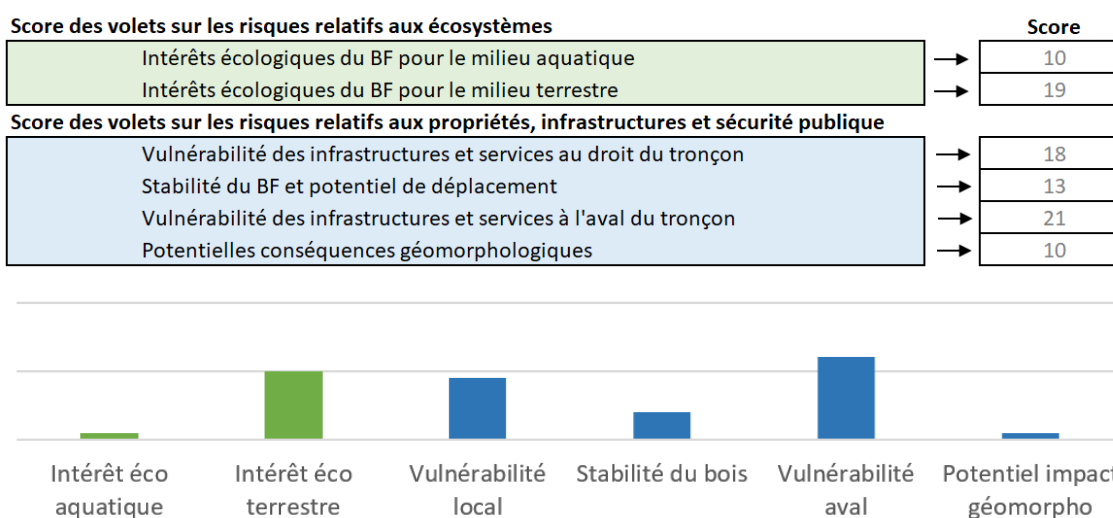


Figure 5 : Vue d'ensemble du fonctionnement de l'aide à la décision (en-haut) ; diagramme en barres des scores obtenus pour chaque volets, permettant de dresser un « portrait » du tronçon (en-bas)

Un score élevé pour les volets d'intérêt d'écologie aquatique ou terrestre traduit le fait que le retrait du bois flottant sur le tronçon va avoir un impact important sur les habitats aquatiques ou terrestre. C'est par exemple le cas sur un tronçon peu diversifié, où le bois présent est le principal contributeur à la variété d'habitats pour les espèces aquatiques (caches, zones de frayères, diversité de vitesses d'écoulement). Un score faible sur ces volets signifiera au contraire que le tronçon présente une grande diversité d'habitats non liés à la présence du bois flottant. Son retrait aura alors un impact plus limité, néanmoins la présence de bois dans un cours d'eau (ou sur ses abords) est toujours bénéfique pour la biodiversité.

Un score élevé pour les volets de vulnérabilité des infrastructures au droit ou à l'aval du tronçon suggère que le bois flottant sur le tronçon augmente les risques de désordres liés au inondations. Un tel score est fortement corrélé à la vulnérabilité des enjeux du lit majeur et peut se retrouver sur un tronçon où des ponts sont sous-dimensionnés, et où des accumulations de bois obstruent de manière importante le cours d'eau au droit d'enjeux.

Sur le volet qui concerne la stabilité, un tronçon où le bois a peu de chance d'être transporté à l'aval aura un score de stabilité élevé. Cela peut être le cas d'un tronçon très méandreux, où le bois est principalement de très grande taille en

comparaison à la largeur du cours d'eau. Un score de stabilité élevé n'est une bonne ou mauvaise chose en soi, cela dépend d'où se trouve les enjeux : si des enjeux majeurs se situent à l'aval d'un tronçon, une stabilité élevée sera préférable pour éviter que du bois soit transporté jusqu'aux zones vulnérables.

Enfin, un score élevé pour le volet traitant des effets géomorphologiques indésirables du bois flottant traduit un tronçon sensible géomorphologiquement et où le bois a une influence sur les érosions, incisions ou exhaussements. Une note élevée peut se retrouver sur un tronçon où les berges sont sensibles aux érosions et où il a été observé des traces d'écoulements déviés par des bois flottants créant des érosions.

### 2.5.1.2 Sous-critères et agrégation pour former les critères

Chacun de ses scores a été obtenu par agrégation de sous-critères détaillés dans les différents volets. Le Tableau 2 liste l'ensemble des sous-critères se rattachant à chaque volet. A un degré plus fin de détail, la Figure 6 illustre par exemple l'agrégation du volet A qui porte sur les risques pour les écosystèmes aquatiques associés au retrait du bois flottant. Quatre critères ont été choisis pour permettre de caractériser le volet A. Pour chaque sous-critère, un score de 1 à 3 est associé sur la base d'indicateurs alimentés principalement par des observations de terrain. Ces indicateurs ne sont pas précisés dans la Figure 6 mais ils sont détaillés dans le §F de l'Annexe C (p. 48). Un support équivalent est fourni pour chaque volet.

Tableau 2 : Liste complète des critères et sous-critères utilisés dans le protocole et leurs poids relatifs au sein de chaque critère (la somme des poids relatifs des sous-critère d'un critère est égale à 10)

Volet	Critère	Sous Critère	Poids relatif suggéré
<b>A</b>	Risques associés au fait de retirer du BF sur les écosystèmes aquatiques	A1 Présence d'habitats alternatifs dans le lit mineur	5.8
		A2 : Contributions du bois flottant à créer divers habitats aquatiques	2.1
		A3 : Disponibilité du bois flottant pour les espèces aquatiques et benthiques	0.8
		A4 : Persistance dans le temps de l'habitat engendré par la présence de bois flottant	1.3
<b>B</b>	Risques associés au fait de retirer du bois flottant sur les écosystèmes terrestres	B1 : Présence d'habitats alternatifs dans la ripisylve ou lit majeur	5.3
		B2 : Contributions du bois flottant à créer divers habitats terrestres	1.3
		B3 : Qualité de l'habitat associé à la présence du bois flottant	2.7
		B4 : Persistance dans le temps de l'habitat engendré par la présence de bois flottant	0.7
<b>C</b>	Risques d'élévation du niveau d'eau sur les berges et le lit majeur	C1 : Présence d'enjeux en lit majeur au droit du tronçon	7.8
		C2 : Obstructions localisées de la section d'écoulement	1.1
		C3 : Augmentation de la rugosité moyenne du tronçon	1.1
<b>D</b>	Stabilité du bois flottant et potentiel déplacement	D1 : Stabilité potentiel du bois flottant	5.4
		D2 : Localisation : lit mineur ou lit majeur	0.6
		D3 : Potentiel à être immobilisé par les arbres sur les berges	2.9
		D4 : Potentiel naturel de dynamique favorable au dépôt et piégeage de flottants	1.1
<b>E</b>	Proximité et risques sur les structures en aval, services et infrastructures	E1 : Distance entre l'embâcle et les infrastructures en aval	0.7
		E2 : Impacts de la géométrie de l'ouvrage sur la formation d'embâcles	2.2
		E3 : Dispositifs techniques/structurales ayant un impact sur la formation d'embâcles	0.8
		E4 : Présence d'enjeux en lit majeur proches des verrous hydrauliques aval	6.3
<b>F</b>	Effets géomorphologiques indésirables	F1 : Erosion/affouillement imprévue de la berge adjacente ou opposée associée au bois flottant	3.3
		F2 : Dépôts locaux associés au bois flottant aggravant les inondations/dommages aux infrastructures	3.3
		F3 : Autres changements géomorphologiques indésirables	3.3

Chaque sous-critère n'est pas considéré d'importance équivalente : une pondération de ces sous-critères permet d'obtenir un score final du volet. Des pondérations entre sous-critères sont proposées dans le présent rapport et les valeurs sont indiquées dans la dernière colonne du Tableau 2. La méthode suivie pour y aboutir est décrite dans l'Annexe D (approche AHP). Cette pondération entre les différents critères peut être adaptée par le gestionnaire de

bassin selon le contexte, les perceptions et les sensibilités locales. La somme des pondérations doit être égale à dix. Le score maximal du volet doit être égal à trente.

2		A Risques sur les écosystèmes aquatiques si le BF est retiré du cours d'eau			3	
Pondération suggérée*		Faible (1)	Moyen (2)	Fort(3)		Score pondéré
5,8	x	Conséquent 1	Présence d'habitats alternatifs dans le lit mineur		Minimal	5,8
2,1	x	Minimal 1	Contributions du BF à créer divers habitats aquatiques		Conséquent	2,1
0,8	x	Minimal 1	Disponibilité du BF pour les espèces aquatiques et benthiques		Conséquent	0,8
1,3	x	Minimal 1	Persistence dans le temps de l'habitat engendré par la présence de BF		Conséquent	1,3
					4	Score total 10

\* La somme des poids doit être égale à 10

Figure 6 : Exemple de la méthode d'évaluation du score du premier volet : (1) Un score de 1 à 3 est assigné à chaque sous-critère sur la base d'indicateurs fournis en Annexe C. (2) Un poids est attribué à chaque sous-critère en fonction de son importance dans l'évaluation du volet. (3) Le score et le poids de chaque sous-critère est multiplié pour obtenir un score pondéré. (4) Les scores pondérés sont sommés pour obtenir un score total du volet

## 2.5.2 Mise en œuvre pratique

### 2.5.2.1 Principe de base et adaptations proposées

L'organisation en différents volets et les sous-critères considérés reprennent la structure de l'approche proposée par Wohl et al. (2019). Nos tentatives d'applications directes sur le terrain avec ces simples supports ne se sont pas montrées satisfaisantes pour deux raisons principales :

- Sans indicateurs clairement définis, il était très subjectif d'assigner un score à la plupart des sous-critères. Les visites de site, menées à deux opérateurs, montraient des différences de point de vue associées à des sensibilités, formations et expériences différentes. La reproductibilité des levés entre différents opérateurs n'était donc pas assurée. Ceci semblait peu satisfaisant pour une méthode qui pourrait être appliquée par plusieurs techniciens de rivières en parallèle : leurs levés auraient été peu inter-comparables. Il fallait rationaliser l'assignation des scores des sous-critères pour, à minima, travailler dans un cadre de notation partagé.
- Par ailleurs, assigner un score à chaque sous-critère nécessite d'abord d'arpenter le tronçon de plusieurs kilomètres en observant le milieu et en faisant des photos. Il s'est avéré difficile de donner un avis d'ensemble qui ne soit pas excessivement influencé par notre vision de la dernière portion visitée ou de quelques zones qui avaient excessivement attiré notre attention. En somme, si l'échelle d'analyse du tronçon semblait la bonne, il était difficile de donner directement sur le terrain des scores sur l'ensemble des sous-critères à cette échelle. Suite à discussion avec Mireille Boyer qui a une longue expérience de diagnostics de terrains, il a été conclu qu'il était préférable de mener sur le terrain des relevés systématiques relativement simples. Ces relevés permettaient de constituer une base de donnée qui, a posteriori, permettait, via des outils SIG, d'assigner des notes dans une vision globale de chaque tronçon.

La façon de mener à bien l'analyse de niveau 2 s'organise donc en deux phases :

- **Une collecte de données de terrains facilitée par une application sur smart phone.** Quatre formulaires dédiés sont mis à disposition sur l'application mobile gratuite Epicollect 5 (<https://five.epicollect.net>) afin d'assurer un relevé de quelques champs de façon rapide, géoréférencée (grâce au GPS du smart phone), associée à des photos et facilement exploitable à posteriori sur SIG. L'utilisation de cette application mobile et des formulaires sont entièrement expliquées en Annexe A. Les deux formulaires principaux portent sur le relevé des dépôts de bois flottant et des verrous hydrauliques (ponts et barrages). Deux autres formulaires portent sur quelques caractéristiques des tronçons qu'il est préférable de relever « à chaud » sur le terrain et sur des caractéristiques des enjeux qui sont difficiles à détecter sur SIG (caractère perché, présence de protections de berges).



- **Une analyse menée au bureau permet d'assigner les scores à chaque tronçon.**

Cette étape est facilitée par un document QGIS intégrant les données relevées sur Epicollect 5 et par un tableur Excel ad hoc comprenant toutes les étapes du protocole. Sur QGIS, des représentations filtrées des données de terrain ont été préparées pour chaque sous-critère. Il est proposé de réaliser le remplissage des scores directement dans le fichier « 3ResultatsProtocole\_epicollecte.xlsx » présent dans le dossier téléchargeable en ligne (à définir pour la version finale du rapport, proposition : répertoire data.inrae.fr qui est relayé sur data.gouv.fr). L'Annexe C du présent rapport détaille comment attribuer les scores de chaque critère de la manière la plus objective possible à partir des relevés faits sur le terrain et de leur représentation cartographique dédiée.

Notons que le relevé de terrain permettant de constituer un inventaire du bois flottant peut être réalisé de manière indépendante de l'application complète du protocole. Ceci permet de disposer d'un jeu de données homogène où la position et les caractéristiques principales des accumulations de bois flottants sont connues. Ce genre de donnée peut être utile pour programmer et chiffrer des actions de désembâclement, mais aussi, si les relevés sont réitérés dans le temps, pour étudier l'évolution des accumulations ainsi que les déplacements de flottants et pour mieux comprendre les mécanismes de production, transport et dépôt en jeu dans le cours d'eau étudié. Dans un second temps, l'étape d'analyse est proposée pour être un outil d'évaluation du bois flottants par tronçon, elle nécessite de réaliser préalablement la première partie.

### 2.5.2.2 Analyse des données et interprétations

La représentation sous forme de diagramme en barres fournie Figure 5 nous a été utile à comparer de façon multicritère différents tronçons de cours d'eau. Elle peut toutefois paraître un peu austère à première vue et n'est vraisemblablement pas le meilleur support pour expliquer la démarche et ses résultats à des élus ou des citoyens.

Conceptuellement, il peut être plus visuel de simplifier le résultat sous forme d'un diagramme à deux variables : intérêt écologique et risques associés au bois flottant (Figure 7). Pour cela, après avoir évalué les scores de chaque volet thématique présentés dans les sections précédentes, un point peut être placé pour chaque tronçon analysé sur un graphique avec en abscisse l'intensité du risque associé à la présence de bois flottant (synthétisé par sa proximité avec des enjeux vulnérables et menacés) et en ordonnée l'intérêt écologique du bois flottant pour le tronçon. Des images illustrant schématiquement des cas types sont présents sur le graphique afin d'aider à situer le point.

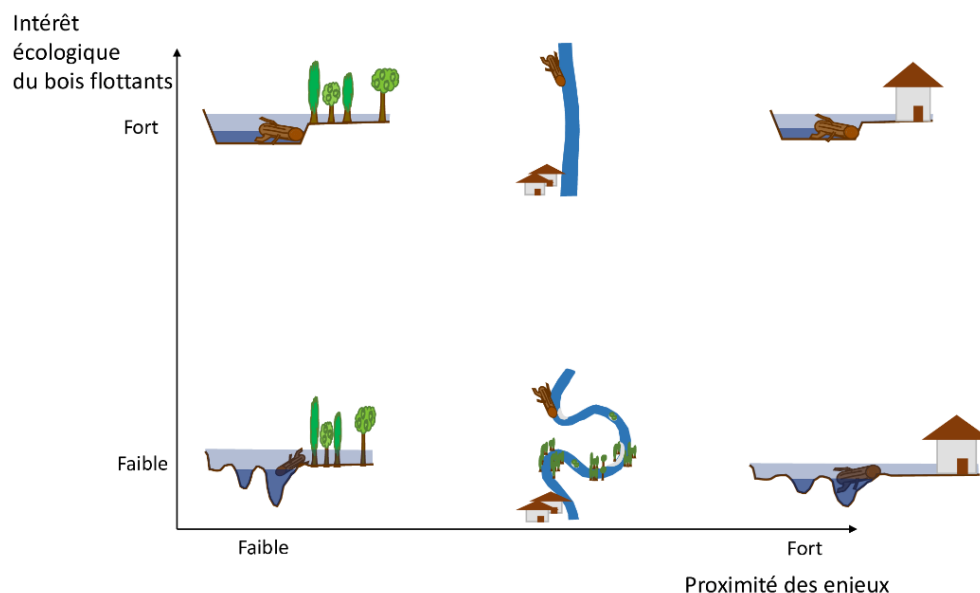


Figure 7 : Graphique permettant de visualiser l'intérêt ou le risque associés au bois flottant sur un tronçon

Un critère disparaît dans cette représentation graphique simplifiée : celui portant sur la stabilité du bois. Il peut être intégré indirectement à l'axe des abscisses : la notion de distance aux enjeux vulnérables n'est en effet pas absolue. Sur des petits cours d'eau peu propices au transport du bois flottant, un enjeu distant de plus d'un kilomètre peut parfois déjà être considéré comme éloigné. A l'opposé du spectre, les verrous hydrauliques situés sur les grandes rivières n'opposant que peu d'obstacles au transport des flottants sont potentiellement menacés par les bois flottants issus de sources très éloignées. Le discours et l'utilisation de cette représentation graphique simplifiée doit donc être adaptée au contexte du bassin versant étudié.

Le diagramme de la Figure 7 est conceptuel et les échelles ne sont pas graduées. Sur l'axe des abscisses, plus le risque lié à la présence de bois flottant est important, plus le point est placé à droite. Dans le cas des images sur la droite de la figure, les bois flottant sont présents au droit d'un enjeu vulnérable en lit majeur, ce qui serait traduit par un score élevé pour le volet « Vulnérabilité des infrastructures et services au droit du tronçon ». Les images à gauche de la figure illustrent un cas où les bois flottant sont présents sur un tronçon sans enjeu local ni aval et dont les scores des volets « Vulnérabilité des infrastructures et services au droit du tronçon » et « Vulnérabilité des infrastructures et services au à l'aval du tronçon » seraient faibles. Enfin, l'image au centre représente le cas où les bois flottant se situent à l'amont d'un enjeu, ce qui serait traduit par un score élevé pour le volet traitant de la vulnérabilité aval, et un score faible pour le volet de la vulnérabilité locale.

L'axe des ordonnées représente l'intérêt écologique des bois flottant sur un tronçon, plus l'intérêt est fort et plus le point est placé en haut de l'axe. Les images en bas de la figure illustrent les cas où le cours d'eau présente déjà une certaine diversité de faciès et de nombreux habitats sans la présence de bois, des scores faibles pour les deux volets traitant de l'intérêt écologique terrestre et aquatique seraient attribués à ces deux cas fictifs. Les images en haut de la figure représentent les cas où le cours d'eau est par ailleurs pauvre en habitats et peu diversifié, le tronçon aurait dans ces cas un score élevé pour le volet traitant de l'intérêt écologique terrestre ou aquatique du bois flottant.

Cette analyse de niveau 2 permet donc d'aboutir à un diagnostic multicritère des effets du bois flottant. L'étape suivante consiste à décider du mode de gestion adapté. Le diagnostic proposé peut aider à prendre cette décision mais d'autres facteurs interviennent et sont du ressort des décideurs locaux. Nous esquissons dans la section suivante une utilisation potentielle des éléments issus du diagnostic pour guider cette décision. Cette étape finale étant toutefois potentiellement très influencée par le contexte local (rivière à très forte activité géomorphologique ou sujet à une hydrologie cévenole ou le contraire), nous avons isolé la section dédiée du reste du protocole. Nous espérons en effet que ce dernier soit beaucoup plus indépendant du contexte d'application.

## 3 Des résultats du protocole au choix du mode de gestion à privilégier

En France, selon la réglementation actuelle, les propriétaires riverains sont tenus à un entretien régulier du cours d'eau (article L.215-14 du code de l'environnement). Selon ce même article, cet entretien consiste à l'élagage de la végétation ainsi qu'à l'enlèvement des embâcles et tout ce qui pourrait entraver l'écoulement naturel des eaux, assurer la bonne tenue des berges et préserver la faune et la flore. Notons que d'après les éléments scientifiques présentés dans ce rapport, la préservation de la faune et de la flore est quelque peu antinomique avec le retrait systématique des embâcles. Ceci dénote à quel point l'aversion pour la présence de bois mort en rivière est ancrée dans la culture française, elle a percolé jusqu'à être inscrite dans la loi.

Comme le rappelle le Guide de la DDT 04 à destination des riverains et usagers de cours d'eau (DDT 04, 2019), « *le syndicat de rivière, lorsqu'il existe, ou la collectivité peut également intervenir sur des propriétés privées, dans le cadre d'un programme pluriannuel d'entretien après avoir effectué une Déclaration d'Intérêt Général (DIG), ou au titre d'une situation d'urgence* ». Par ailleurs, « *L'exercice de la compétence GEMAPI ne remet pas en cause les droits et devoirs du propriétaire riverain, auquel la collectivité ne se substitue qu'en cas de défaillance de ces derniers, d'urgence ou d'intérêt général. Le propriétaire riverain reste donc toujours responsable de l'entretien courant du cours d'eau en application des articles L.215.14 et suivants du code de l'environnement et de l'article 114 du code rural.* »

Que cette gestion soit pratiquée par le propriétaire riverain ou par une structure publique, selon des pratiques plus ou moins intrusives pour le milieu naturel, le choix du mode de gestion appliqué dépend généralement du contexte (enjeu, verrous, dynamique fluviale), des moyens, et des différentes pressions auxquelles le gestionnaire fait face (riverains, élus). Cette troisième section tente d'abord de fournir un panorama des principaux modes de gestion du bois flottant. Dans un second temps, des suggestions sont proposées pour associer des modes de gestion aux résultats tirés du diagnostic multicritère présenté plus haut.

### 3.1 Les modes de gestion du bois flottants

Bien que l'approche actuellement la plus courante dans la gestion du bois en rivière soit le retrait ou le billonnage systématique du bois flottants, d'autres méthodes sont disponibles. Ces différents modes de gestion ont des avantages et des inconvénients selon le contexte et peuvent être complémentaires. Ils sont présentés brièvement dans cette section pour rendre compte des possibilités existantes.

- **Non intervention** : Consiste à ne pas entretenir le bois flottant sur un tronçon. Cette méthode est envisageable lorsque qu'il a été évalué que le bois flottant n'entraînerait pas de risque particulier au droit du tronçon et à l'aval, soit parce qu'il n'est naturellement que très rarement transporté (cas des têtes de bassin versant et ruisseaux) ou parce qu'au contraire le cours d'eau est si large que le bois flottant y transite sans conséquence pour les enjeux. Dans des conditions d'accès dangereux ou trop complexe, la non intervention peut aussi être un choix par défaut.
  - **Intérêts** : Pas d'altération du milieu ; bénéfiques écosystémiques multiples ; coûts limités au suivi.
  - **Limites** : Des visites épisodiques utilisant des techniques adaptées (à pied, en utilisant des techniques de canyoning, par survol drone) doivent tout de même être menées si les caractéristiques du site peuvent potentiellement créer des embâcles de très grande dimension susceptibles de lâcher (phénomène de débâcle).
  
- **Réintroduction** : Consiste à introduire du bois qui n'est initialement pas présent dans le cours d'eau dans le but de diversifier ses faciès et créer des habitats pour la faune et la flore aquatique et terrestre. Cette méthode permet de palier à une altération du milieu héritée des pratiques passées (retrait du bois mort des ripisylves pour le chauffage, entretien systématique des ripisylves) qui a mené à un déficit d'habitats ou de diversité hydromorphologique et donc à un appauvrissement du milieu. Il est courant que le bois réintroduit soit ancré ou fixé à l'aide de pieux afin d'assurer sa stabilité.

Sources sur le sujet : La chaîne Youtube « Réseaux Rivières TV » compile et poste de nombreuses vidéos sur le sujet du bois mort en rivière, dont un webinaire traitant de la réintroduction du bois, au lien suivant : <https://www.youtube.com/watch?v=EYFKorao28M>. En ce qui concerne des références techniques, pour les anglophone, le manuel américain (Bureau of Reclamation et U.S. Army Corps of Engineers, 2015) est une source très complète (voir aussi les manuels Australiens de (Brooks et al., 2006), et pour les germanophone, le manuel (ÖWAV, 2021) est aussi une bonne référence.)

  - **Intérêts** : Bénéfiques écosystémiques multiples ; augmente la stabilité du bois.

- **Limites** : Peut être transporté en cas de crue si pas suffisamment bien ancré, entraînant un risque de formation d'embâcles à l'aval ; nécessité de se procurer du bois autre part ; altération du milieu lors de la mise en œuvre des travaux.
- **Stabilisation** : Consiste à ancrer ou fixer les éléments de bois mort présents dans le cours d'eau afin d'éviter qu'ils ne soient transportés par une crue. Cette méthode répond aux mêmes problématiques que la réintroduction (manque de diversité des faciès et d'habitats pour la faune), mais nécessite la présence initiale de bois dans la rivière.
  - **Intérêts** : Bénéfices écosystémiques multiples ; le cycle du bois est maintenu dans le cours d'eau ; augmente la stabilité du bois ; renforce le potentiel de dépôt naturel en fixant les pièces déjà déposées dans ces zones ;
  - **Limites** : Nécessite la présence initiale de bois flottant ; altération du milieu lors de la mise en œuvre des travaux ; doit être mené soigneusement pour limiter le risque de rupture des ancrages ou des pieux de fixation.
- **Aménagement des verrous** : Le risque associé au transport de bois flottant étant principalement lié au risque d'obstruction des verrous hydrauliques, l'aménagement de ces derniers est donc considéré comme un mode de gestion du bois flottant à privilégier. Cet aménagement consiste à redimensionner l'ouvrage ou à l'adapter pour le rendre transparent aux flottants (retrait des piles, ajout de déflecteur, rehausse du tablier, pont mobile, transformation en pont submersible ou en passage à gué, voir suppression pure et simple de l'ouvrage). Ce type d'opération est coûteux mais très efficace car peut supprimer le risque de formation d'embâcles localement, et donc les dommages associés. Dans la mesure où les ouvrages qui ont tendance à être obstrués par les embâcles sont caractérisés par des sections hydrauliques souvent trop limitées, les bénéfices de leur adaptation dépassent la seule question de l'effet des embâcles et peut être justifiée par des effets collatéraux bénéfiques sur les lignes d'eau et le transit sédimentaire par exemple.
  - **Intérêts** : Ce type de gestion peut permettre d'avoir un entretien plus raisonné à l'amont, voire de la non intervention si le gabarit de l'ouvrage a pu être suffisamment adapté. Les bénéfices associés à une gestion moins agressive de la ripisylve et du bois flottant se retrouvent alors également ici (économies d'entretien, bénéfices écosystémiques multiples).
  - **Limites** : Coût significatif pour adapter un ouvrage (sauf pour les options de transformation en pont submersible, en passage à gué ou de suppression de l'ouvrage) ; altération du milieu lors de la mise en œuvre des travaux.
- **Piège à flottants** : Un autre mode de gestion permettant d'éviter l'obstruction des verrous est de piéger le bois flottant en amont sur un site choisi : c'est l'objet des pièges à flottants. Ces ouvrages sont généralement situés dans le lit mineur, mais des ouvrages situés en dérivation dans le lit majeur existent. Le plus souvent de la forme d'un râtelier ou « peigne » composé de pieux verticaux, ils peuvent aussi prendre la forme d'un filet métallique ou de barrages en béton armé (plus d'informations dans le guide de (Quiniou et Piton, 2022)). La localisation du piège est donc choisie de telle sorte que la surélévation du niveau d'eau ou les contournements des écoulements induits par l'ouvrage n'entraînent pas de risque pour les infrastructures ou propriétés riveraines.
  - **Intérêts** : Ce type de gestion permet de mener un entretien plus raisonné, voire de la non intervention en amont du piège à flottants. Les bénéfices associés à une gestion moins agressive de la ripisylve et du bois flottant se retrouvent alors également ici (économies d'entretien, bénéfices écosystémiques multiples) ; le coût d'un piège à flottant est souvent plus faible que le coût d'aménagement de grands verrous, surtout s'ils sont plusieurs.
  - **Limites** : Coût d'investissement (dépend de la taille du site et du contexte) ; nécessite d'être correctement dimensionné (voir (Quiniou et Piton, 2022)) ; le bief intermédiaire, situé entre le piège à embâcle et les verrous à protéger doit tout de même être entretenu mais cela revient à concentrer l'effort d'entretien dans les zones à enjeux plutôt que de le disperser dans les zones sauvages ; un piège à flottant doit être visité après chaque crue importante et ponctuellement vidé, le transport de flottant étant assez rare, les retours d'expérience montre que ces entretiens sont peu fréquents (moins d'une fois par an) ; peut avoir une incidence sur le transport sédimentaire selon la conception choisie (dépôt de matériaux à l'amont) ; altération du milieu due à la présence de l'ouvrage (peut être minimisé selon le type d'ouvrage choisi, absence de radier par exemple) et lors de la mise en œuvre des travaux.
- **Billonnage** : Consiste à tronçonner les bois flottants ou les arbres instables en portions de taille plus réduite (longueur de 1 m à 2 m, 0,5 m dans les cas les plus extrêmes) afin de réduire la probabilité de formation d'embâcle qui dépend en grande partie du ratio longueur du bois flottant divisé par largeur du chenal ou du verrou hydraulique. Les éléments billonnés sont laissés dans le lit, sur les berges ou en rives.
  - **Intérêts** : Laisse le bois mort dans le milieu ; efficace pour réduire la probabilité de formation

- d'embâcles des flottants déjà morts et présents dans le cours d'eau.
- **Limites** : Efficacité finale discutable : en réduisant la taille des pièces de bois flottant, on augmente leur mobilité. Certains arbres que leur position et leur grande dimension rendent peu mobile peuvent, suite à un billonnage, être mobilisé et transporté loin en aval. Par ailleurs, le billonnage concerne les pièces de bois mort et les arbres instables : on ne billonne pas des arbres sains situés sur les berges. Hors, il a été démontré que 75% à 95% des embâcles sont formés d'arbres vivants, arrachés par la crue, le bois mort jouant donc un rôle mineur : en billonnant le bois mort, on focalise l'effet sur une source secondaire d'apport en bois flottant lors des crues majeures ; coût relativement important (nécessite de mobiliser des équipes sur des sites ayant parfois peu d'accès, opérations qui prennent du temps) ; les bénéfices associés à la présence de bois mort sont bien moindres que s'il le bois était dans sa forme originale (potentiel réduit pour la création de caches, mouilles).
- **Retrait du bois** : Ce dernier mode de gestion consiste à retirer du cours d'eau tous les éléments de bois mort jugés comme à risque. Les pièces sont généralement billonnées et évacuées hors d'atteinte des eaux ou broyées sur place.
  - **Intérêts** : Rassure les riverains et les élus ; efficace pour réduire la probabilité de formation d'embâcles issus de bois mort et présents dans le cours d'eau ; revalorisation éventuelle du bois.
  - **Limites** : Efficacité finale discutable : ce traitement concerne les pièces de bois mort et les arbres instables : on n'abat pas des arbres sains situés sur les berges. Hors, il a été démontré que 75% à 95% des embâcles sont formés d'arbres vivants, arrachés par la crue, le bois mort jouant donc un rôle mineur : en retirant le bois mort, on focalise l'effet sur une source secondaire d'apport en bois flottant lors des crues majeures ; coût important (nécessite de mobiliser des équipes sur des sites ayant parfois peu d'accès, opérations qui prennent du temps, évacuation parfois difficile) ; altère le milieu et supprime les bénéfices écosystémiques liés à la présence de bois.

### 3.2 Quel mode de gestion pour quel contexte ?

Les différents modes de gestion du bois flottants ont été présentés dans le paragraphe précédent, chaque méthode présentant des intérêts et inconvénients, il convient de choisir judicieusement l'approche la plus adaptée selon le contexte. L'étape décrite dans le paragraphe §2.5 permet pour un tronçon donné d'un cours d'eau, d'obtenir des scores pour différents volets thématiques. La lecture de ces scores peut aider à faire un choix éclairé quant au mode de gestion à adopter sur le tronçon.

Pour rappel, les scores obtenus sur chaque volet thématique permettent d'esquisser un « portrait » d'un tronçon, qui apporte une vision plus complète et une prise de recul sur les éléments influençant la décision (Figure 6). Les interactions liées au bois flottants dans le corridor fluvial pouvant être complexes, il nous a paru pertinent de chercher une représentation graphique de cette analyse. Chaque tronçon étudié est ainsi représenté par un point sur un graphique conceptuel représentant l'intérêt écologique du bois par rapport aux risques qu'il représente (Figure 7).

Pour chaque mode de gestion du bois flottants alternatifs au retrait ou au billonnage, nous suggérons des recommandations d'application qui dépendent d'où se trouve le tronçon sur le graphique conceptuel de la Figure 8. Le retrait ou le billonnage du bois étant les modes de gestion prépondérants en l'état actuel et étant appliqué dans pratiquement tous les contextes, ils ne sont pas représentés dans la Figure 8. On considère que ces modes de gestion ne sont à envisager que si les autres options ne sont pas adaptées. Cette approche simple et donc simpliste peut aider l'utilisateur dans sa prise de décision.

Comme l'absence de valeurs sur les axes le montre, le mode de gestion le plus adapté doit être choisi également au prisme des autres facteurs non pris en compte dans ce graphique (stabilité du bois, impacts sur la géomorphologie, autres éléments non relevés par le protocole). Il n'existe dans l'absolu pas de frontières nettes entre les différentes approches car celles-ci peuvent être complémentaires : par exemple, un aménagement de verrou peut être intelligemment couplé à une réintroduction de bois mort afin de diminuer le risque d'embâcles et d'améliorer l'état du milieu.

Enfin, si une solution rapide à mettre en œuvre est choisie pour répondre à un besoin urgent (retrait, billonnage, non intervention), les autres options alternatives proposées peuvent être considérées comme solutions à plus long terme pour repenser l'approche générale précédente qui a pu montrer ses limites.

Il est à noter que le suivi de l'état du cours d'eau, notamment de la présence de bois mort, n'est pas précisé sur le graphique car il n'est pas considéré comme un mode de gestion. Nous considérons qu'il est dans tous les cas important de suivre régulièrement l'état des cours d'eau par des visites de terrain, y compris les déplacements du bois flottant afin de connaître le milieu du cours d'eau.

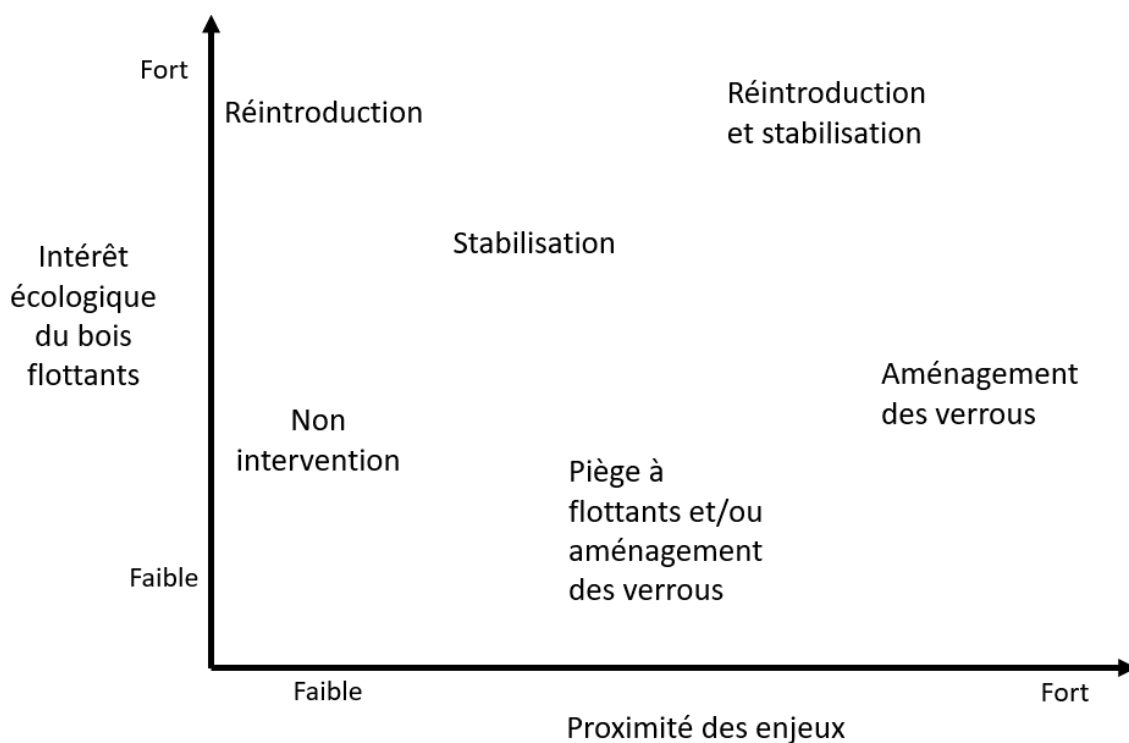


Figure 8 : Graphique conceptuel de recommandations du mode de gestion à adopter selon les résultats obtenus grâce au protocole

Le diagramme conceptuel de la Figure 8 a été imaginé suivant les considérations suivantes :

- Si la formation d'embâcles au droit de verrous hydrauliques est la principale cause des désordres liés au bois flottant sur un tronçon, la première solution que nous recommandons est d'aménager ces verrous afin que les probabilités d'obstruction soient réduites à un niveau de risque acceptable. C'est la mesure la plus efficace vis-à-vis de cette problématique car la présence de bois flottant dans le cours d'eau en crue ne présente pas de risque en soi, c'est l'accumulation de ce bois flottant au niveau d'enjeu qui crée des désordres, ces accumulations étant souvent causées par des verrous.
- Lorsque la distance entre le tronçon d'étude et les enjeux est suffisamment grande, il peut être envisageable de ne pas intervenir et de laisser le bois tel quel dans son milieu, les risques induits par sa présence étant alors mineurs et son éventuel transport en aval n'a que peu de chance d'atteindre les enjeux.
- Dans le cas où la diversité des faciès et des habitats est jugée faible, et que la production naturelle de bois flottant n'est pas suffisante (le renouvellement des peuplements boisés rivulaires prend des décennies), il est pertinent d'envisager de réintroduire du bois dans le cours d'eau. Mais si la présence du bois engendrerait un risque pour l'aval, il est conseillé de l'ancrer à l'aide de pieux pour assurer sa stabilité.
- La stabilisation du bois flottant est un mode de gestion valable également lorsque le bois est déjà présent mais où il a été estimé probable qu'il puisse être transporté jusqu'à des enjeux en aval (mode de gestion noté « stabilisation »). Des techniques d'ancrage par des pieux en bois fichés dans les sédiments et par des enrochements disposés sur les troncs sont décrits dans des manuels australiens (Brooks *et al.*, 2006), américains (Bureau of Reclamation et U.S. Army Corps of Engineers, 2015) et autrichiens (ÖWAV, 2021). Ces ancrages peuvent sembler potentiellement insuffisants à assurer une parfaite stabilisation dans certains contextes où leur pérennité n'est pas garantie, par exemple dans certains cours d'eau où l'activité géomorphologique est très intense. Un phénomène naturel de dépôt et de stabilisation des bois flottants par des processus géomorphologique et écologique émerge toutefois naturellement dans les cours d'eau ayant un large espace de bon fonctionnement (Wohl, 2013). Notons toutefois que la dynamique du transport du bois flottant dans les rivières actives morphologiquement est mal connue. Une certaine régulation du transport des flottants et des distances de transport a été mise en évidence par des travaux expérimentaux et numériques (par exemple Ruiz-Villanueva *et al.*, 2020), mais les distances de transports en fonction de l'hydrologie restent mal connues. Dans quelle mesure la morphologie des chenaux génère une certaine stabilisation naturelle du bois flottant reste ainsi encore à clarifier. Nous ne sommes ainsi pas en mesure en l'état actuel de nos connaissances de fournir des indicateurs clairs sur le potentiel de stabilisation naturel associé à la restauration des espaces de bon fonctionnement.



Figure 9 : Exemple de stabilisation naturelle du bois dans un cours d'eau ayant un large espace de bon fonctionnement (le Bréda, 38)

- Si les enjeux sont globalement concentrés spatialement à l'aval du tronçon étudié, nous recommandons la mise en place d'un piège à flottants en amont des zones à enjeux, où les débordements ne présentent pas de risque. Cela permet de piéger le bois flottant, que ce dernier soit issu de bois mort déjà présent dans le cours d'eau ou de bois vert arraché par la crue aux berges du chenal. L'adoption d'une gestion non ou moins interventionniste sur le milieu naturel à l'amont permet en parallèle un gain environnemental.
- Si aucune de ces options n'est envisageable, le billonnage du bois peut être adopté pour réduire la taille des flottants et donc les risques d'obstruction (tout en gardant en tête que le risque d'embâcle reste non négligeable puisqu'une grande partie du bois présent dans les embâcles est du bois vert arraché pendant la crue). Si le cours d'eau a une largeur trop faible ou s'il présente des verrous de section très réduite, il est alors préconisé de retirer le bois mort du lit, ou de le déplacer hors de portée des eaux.

# 4 Application du protocole sur un bassin versant français

## 4.1 Caractéristiques et choix des sites d'étude

Le protocole présenté dans les sections précédentes a été appliqué sur plusieurs bassins versants du territoire Rhône-Méditerranée-Corse afin de le tester et de l'ajuster. En testant des versions préliminaires de l'outil sur différents cours d'eau, des difficultés d'application ont été mises en évidence ce qui a permis d'affiner le protocole et de simplifier sa mise en place. Le protocole a été volontairement appliqué dans des contextes très variés : urbain, péri-urbain mais aussi très naturel et sauvage. Appliquer le protocole sur des tronçons où le mode de gestion à adopter semblait évident (par exemple les tronçons totalement sauvages sans enjeux ou tronçon avec des enjeux importants) a permis de vérifier la cohérence des résultats du protocole avec notre perception des réalités de terrain.

Afin d'aider la prise en main du protocole, un exemple d'application est présenté dans cette partie en détaillant soigneusement toutes les étapes du protocole. Dans un souci de concision, nous n'avons pas présenter les mêmes détails sur l'ensemble des six cours d'eau étudiés. L'analyse de ces derniers et les résultats du protocole sont présentés à un degré de détail normal dans l'Annexe E.

La localisation des six cours d'eau où le protocole a été appliqué est représentée dans la Figure 10. Ces cours d'eau ont été sélectionnés comme suit : (i) une diversité sur le territoire a été recherchée parmi les rivières présentant une vulnérabilité au bois flottant (rivière dynamique de largeur petite à moyenne). Parmi les très nombreux cours d'eau répondant à ce critère dans la zone d'étude, afin de disposer d'éléments de référence et de validation indépendants de notre travail, nous avons sélectionné des cours d'eau où certains éléments de la dynamique ou de la présence du bois flottant étaient documentés : études dédiées récentes (cas de la Brague suite à la crue de Oct. 2015), diagnostic détaillé comprenant un inventaire réalisé en préparation d'un plan pluriannuel d'entretien (cas du Lagamas, de l'Alloix, du Bresson et du Bréda) ou cours d'eau ayant subi une crue majeure alors qu'il était soumis à un mode de gestion particulier intégrant une démarche d'espace de bon fonctionnement (cas de la Clamoux et de la crue de 2018).

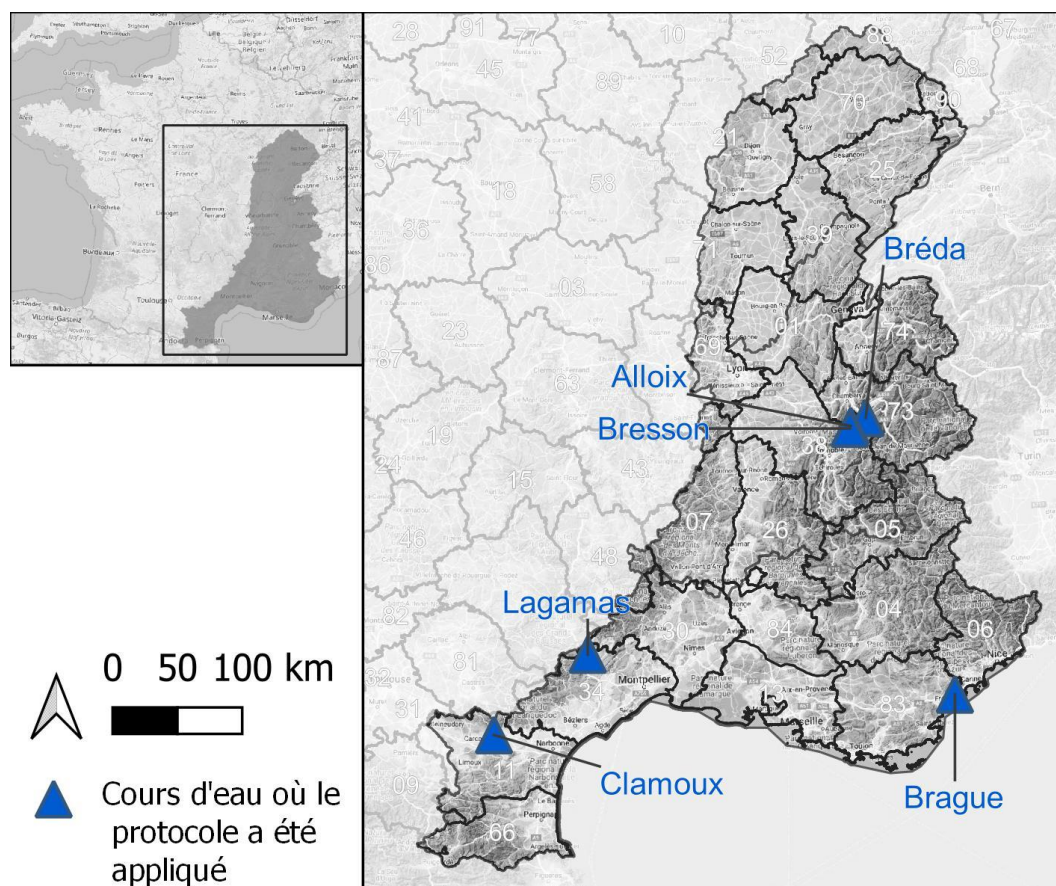


Figure 10 : Localisation des cours d'eau où le protocole a été appliqué



Les éléments principaux caractérisant les bassins versants des cours d'eau étudiés sont résumés dans le tableau ci-dessous. Il s'agit principalement de cours d'eau de largeur moyenne à faible situés dans des secteurs méditerranéens ou Alpains. Faute de temps et de données, il n'a pas été possible d'étendre les tests du protocole dans des secteurs de cours d'eau de plaine. Nous n'avons pas non plus pu mener une application en Corse faute de temps, ce qui est dommage dans la mesure où des inventaires systématiques des embâcles et une gestion adaptative des accumulations de bois flottant est déjà mis en œuvre par certaines équipes de la Collectivité de Corse (échange directs avec Simon Giraud).

Tableau 3 : Caractéristiques principales des cours d'eau ayant servi de cas d'application au protocole.

Cours d'eau	Type de cours d'eau	Bassin versant (km <sup>2</sup> )	Largeur moyenne (m)	Spécificités du bassin versant
Bréda	Rivière de montagne	230	10	Bassin versant principalement boisé et sols nus ; crues nivo-pluviales ; transport sédimentaire limité par des sources sédimentaires granitiques et peu actives
Bresson	Torrent de montagne	8	6	Bassin versant principalement boisé et présence de grandes falaises marno-calcaires source de sédiments (déchoir de plusieurs centaines de mètres de haut) ; forte activité de transport solide
Alloix	Ruisseau de montagne	14,8	6	Bassin versant principalement boisé et présence de quelques falaises source de sédiments ; crues nivo-pluviales
Lagamas	Ruisseau méditerranéen	23,5	5	Bassin versant- principalement agricole et boisé ; crues cévenoles
Brague	Rivière méditerranéenne	70	10	Bassin versant principalement urbanisé par de l'habitat peu dense et des forêts ; régime méditerranéen
Clamoux	Rivière torrentielle méditerranéenne	89	6	Bassin versant boisé à forte pente et rural ; crues cévenoles

## 4.2 Leçons principales des sites d'application

Après avoir effectué de nombreux relevés et appliqué le protocole sur plusieurs cours d'eau, il est possible d'en tirer quelques leçons préliminaires qui pourront aider les futurs utilisateurs de cet outil.

Le premier constat qui ressort est la faible présence de bois flottants observés dans le milieu aquatique et terrestre dans la plupart des tronçons parcourus. Des disparités apparaissent néanmoins entre les différents cours d'eau parcourus, avec des densités de relevés de bois flottants allant de 4 à 31 accumulations de bois flottants relevés par kilomètre arpenté (Tableau 4). Il est d'ailleurs difficile d'évaluer certains critères lorsqu'il n'y a pas du tout ou très peu de bois observés : il est important alors de bien avoir en tête qu'il y a une incertitude sur les critères concernés lors de l'analyse des scores finaux.

En comparaison, des recommandations de l'état américain de l'Oregon basées sur les quantités de bois mort observés sur des cours d'eau non entretenus dans des zones forestières indique qu'un tronçon de 100 m devrait contenir : vingt bois flottants (BF) de diamètre ( $\varnothing$ ) supérieur à 15 cm et de longueur (L) supérieure à 3 m ; trois BF tel que  $\varnothing > 60$  cm et  $L > 10$  m ; et un total d'au moins 30 m<sup>3</sup> de bois mort grossier. Ces objectifs sont difficiles à atteindre dans des zones plus peuplées, mais permettent de mettre en perspectives l'état des cours d'eau français par rapport à leur éventuel état naturel.

En moyenne sur l'ensemble des cours d'eau parcourus, la vitesse pour effectuer l'ensemble des relevés nécessaires sur le terrain était de 4 à 8 km/jour, mais dépendait fortement de l'abondance de bois et de la nature du terrain (cours d'eau très encombré, ronces, profondeur d'eau, accès, ...).

Tableau 4 : Densité des relevés de bois flottants en fonction du cours d'eau parcouru

Cours d'eau (département)	Kilomètres arpentés	Densité des relevés de bois flottants	Volumes totaux observés (m <sup>3</sup> )	Densité observée (m <sup>3</sup> /km)
Le Bréda (38)	6,2	19 relevés / km	100-360 m <sup>3</sup>	16-58
Le Bresson (38)	2,9	7 relevés / km	15-50 m <sup>3</sup>	5-17
L'Alloix (38)	4,8	16 relevés / km	25-140 m <sup>3</sup>	5-29
Le Lagamas (34)	7,6	31 relevés / km	45-410 m <sup>3</sup>	6-54
La Brague (06)	8,2	4 relevés / km	2-40 m <sup>3</sup>	0-5
La Clamoux (11)	9	6,5 relevés / km	20-115 m <sup>3</sup>	2-13

## 4.3 Exemple détaillé d'application du protocole au Ruisseau du Lagamas (34)

Les données (exports d'Epicollect 5, fichiers SIG et tableur Excel de notation des sous-critères) ayant servi à mener à bien ce cas d'étude et les autres présentés en Annexe E sont disponibles en ligne au lien suivant : <https://doi.org/10.57745/KTFZQD>

### 4.3.1 Présentation du bassin versant

Le Lagamas est un ruisseau méditerranéen prenant sa source dans le massif de la Séranne (limite Sud du massif central), à environ 600 m d'altitude, et s'écoule sur 12,6 km jusqu'à sa confluence avec l'Hérault, à environ 30 m d'altitude. Son bassin versant a une superficie de 23,5 km<sup>2</sup>. Il est principalement boisé dans sa partie haute et rural et agricole dans sa partie basse. La largeur du chenal dans la zone arpentée est de 5 m en moyenne. Le ruisseau s'écoule dans un vallon de 50 à 150 m de large, boisé et incisé dans le plateau alentour. Le ruisseau a donc un lit majeur confiné par le relief du vallon mais ce lit majeur est très sauvage en comparaison avec le plateau alentour qui est très majoritairement occupé par des vignes. Le ruisseau est ainsi bordé de peu d'enjeux.

### 4.3.2 Segmentation du cours d'eau

Dans un premier temps, le cours d'eau a été segmenté en tronçons de gestion homogène : il est ainsi fait l'hypothèse a priori que pour chaque tronçon, le mode de gestion du bois flottant à adopter sera vraisemblablement le même sur tout le linéaire dudit tronçon. Suite à une étape d'analyse préliminaire, le Lagamas a été segmenté en sept tronçons principalement déterminés par les verrous hydrauliques (ponts uniquement) : l'occupation des sols et l'encaissement ne variant que peu. La segmentation a été faite préliminairement à la visite du cours d'eau, en se basant sur les informations récoltées grâce aux images aériennes et aux plans IGN pour la définition de l'occupation du sol et des verrous hydrauliques, et grâce à l'outil Géoportail pour l'estimation des pentes.

Cependant, la segmentation ne correspond pas tout à fait aux préconisations du §2.3 concernant les verrous hydrauliques. Il est en effet généralement préconisé de diviser un tronçon avec un verrou en trois sous-tronçons : un premier à l'aval où la gestion du bois n'est pas influencé par le verrou ; un second juste à l'amont d'une longueur sensiblement de l'ordre de la distance de transport type (Tableau 1), où la gestion est directement influencé par le verrou ; et enfin un plus à l'amont, où le bois est peu susceptible d'être transporté jusqu'au verrou et où la gestion sera probablement moins interventionniste que sur le second sous-tronçon. Cette recommandation a été élaboré après l'application du protocole sur le Lagamas, c'est pourquoi la segmentation présenté ici diffère légèrement. De plus, le tronçon N°2 comporte de nombreux verrous, la gestion du bois sera donc probablement homogène sur tout le tronçon, c'est pourquoi il n'a pas été subdivisé en plusieurs sous-tronçons.

Tableau 5 : Liste des tronçons homogènes identifiés sur le Lagamas

N° Tronçon	Longueur (km)	Pente (%)	Confinement	Occupation du sol en lit majeur	Justification segmentation
5-6	0,9	1,5	Non	Rural/Naturel	Entre deux verrous
4	2,2	1,5	Non	Rural/Naturel	Entre deux verrous
3	1,8	1,5	Oui	Rural/Naturel	Entre deux verrous
2	2,7	1,5	Oui	Rural/Naturel	Entre deux verrous
1	3,8	5	Oui	Naturel	Variation de pente
0	1,1	21	Non	Naturel	Variation de pente

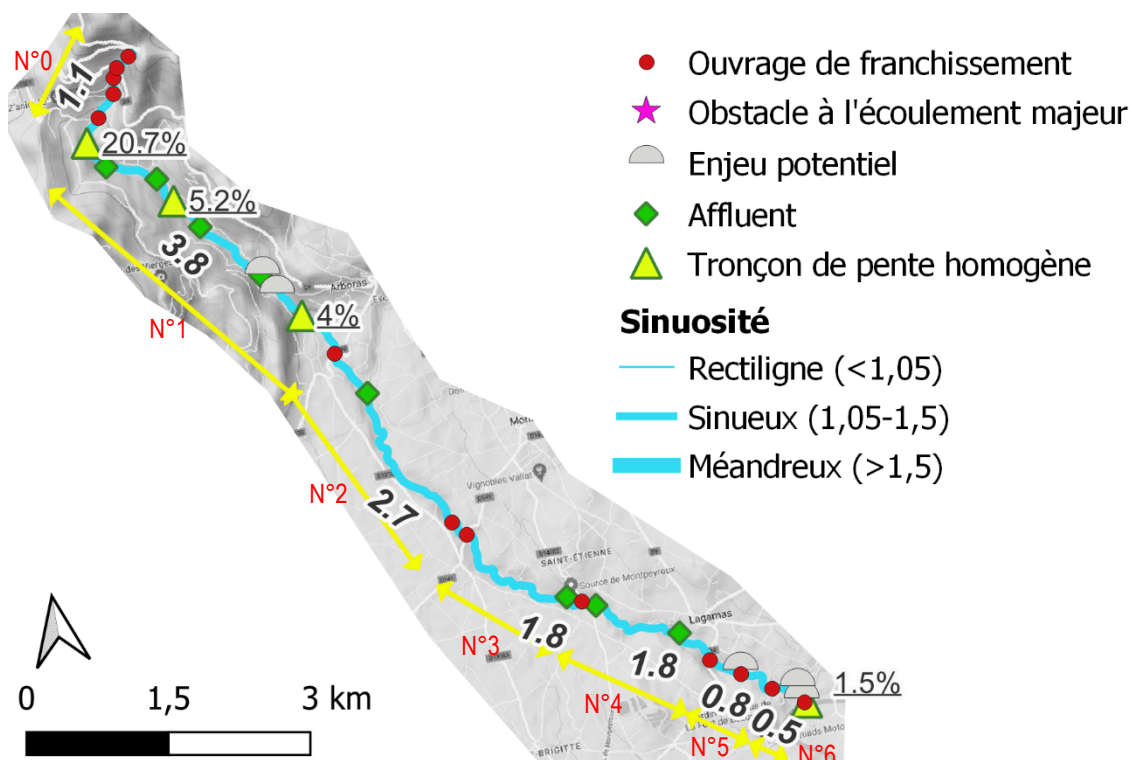


Figure 11 : Segmentation du Lagamas (34) délimitée par les flèches jaunes (version avant d'avoir arpenté le cours d'eau), les tronçons sont numérotés en rouge

Après avoir arpenté le cours d'eau, les tronçons ont été légèrement remaniés car des obstacles potentiels avaient été considérés comme des verrous délimitant des tronçons, mais suite à la visite de terrain et à la vue des dimensions des ponts, ils n'ont plus été considérés comme des verrous par la suite. De plus, une passerelle en béton largement sous-dimensionnée a été observée alors qu'elle n'avait pas été remarquée lors de l'étape préliminaire en utilisant les images aériennes et les plans IGN. Le cours d'eau a donc été segmenté en six tronçons de gestion homogènes au lieu de sept initialement.

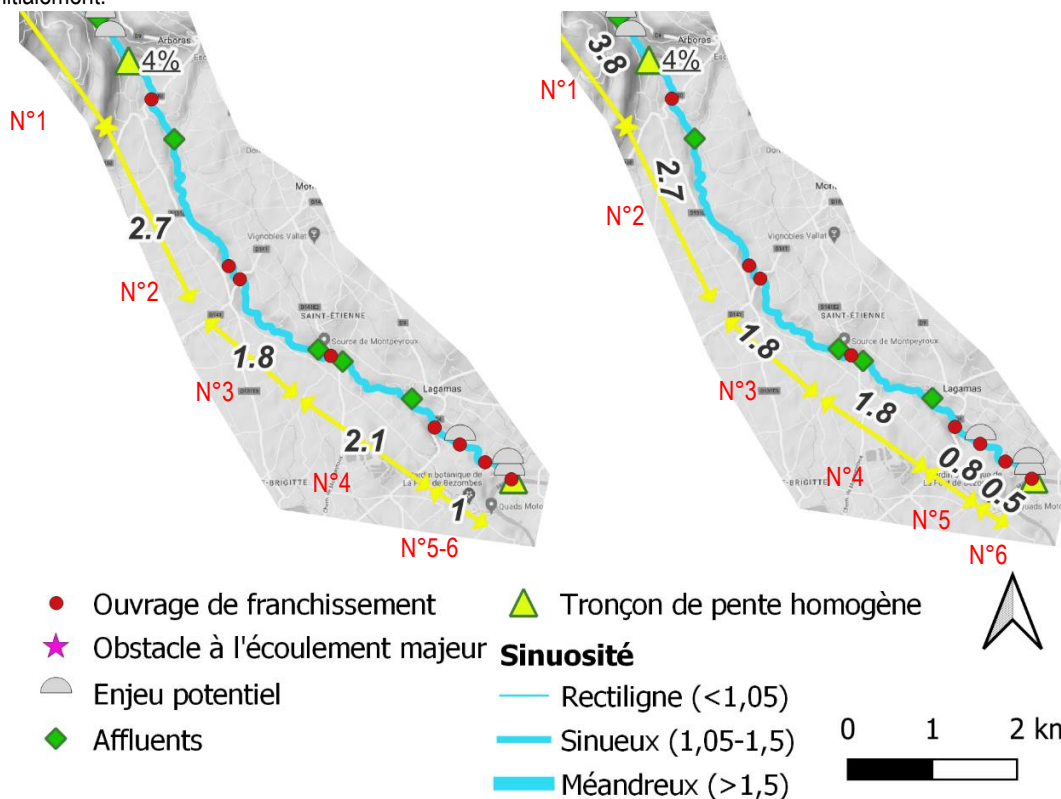


Figure 12 : Segmentation du Lagamas (34) après (panneau de gauche) et avant avoir arpenté le cours d'eau (panneau de droite)

### 4.3.3 Résultats de la checklist de niveau 1 du protocole

La checklist de niveau 1 a été appliquée aux différents tronçons du Lagamas pour vérifier s'il n'y avait pas de tronçons pour lesquels le retrait ou billonnage du bois pourrait être considérée comme assez évidente.

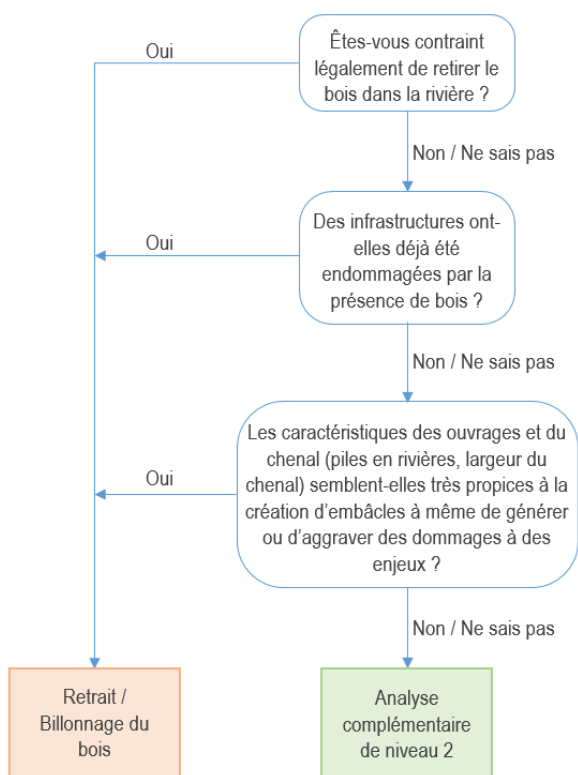


Figure 13 : Checklist de niveau 1

#### Résultats aux questions :

Tronçon N°6 : non ; ne sais pas ; non  
Tronçon N°5 : non ; ne sais pas ; non  
Tronçon N°4 : non ; ne sais pas ; non  
Tronçon N°3 : non ; ne sais pas ; non  
Tronçon N°2 : non ; ne sais pas ; non  
Tronçon N°1 : non ; ne sais pas ; non  
Tronçon N°0 : non ; ne sais pas ; non

➤ Par ailleurs, la non intervention est jugée évidente sur les tronçons N°0 et N°1 (sauf l'extrême aval qui peut être regroupé avec le tronçon N°2) car les abords du cours d'eau sont sauvages et sans enjeux et le cours d'eau est encaissé dans le fond de vallon : la formation d'éventuelle embâcle ne risque pas de générer d'inondation ou d'activité géomorphologique menaçant les enjeux.

➤ Les résultats de la checklist indiquent qu'il est nécessaire pour les tronçons N°2,3,4,5 et 6 de poursuivre avec l'analyse multicritère de niveau 2 pour décider du mode de gestion du bois le plus adapté.

### 4.3.4 Résultats de l'analyse de niveau 2 du protocole

Quatre des six tronçons ont pu être parcouru dans leur intégralité pour y appliquer le protocole (les deux tronçons les plus amont et les plus sauvages n'ont pu être visités faute de temps et d'accès, la zone étant très sauvage et dénuée d'enjeux, ces tronçons ne sont pas entretenus). Les résultats obtenus pour les quatre tronçons visités sont présentés ci-dessous. Pour chaque tronçon, les scores de chaque volet ont été déterminé grâce au protocole.

Pour tous les tronçons étudiés des tendances similaires se retrouvent sur certains volets, cela traduit la présence de caractéristiques uniformes sur le linéaire observé. Notons dans un premier temps, la stabilité du bois est considérée comme assez élevée. Ceci tient à la présence de pièces de bois plutôt longues, mais surtout d'un fort potentiel de piégeage naturel par les arbres et la géomorphologie du cours d'eau. Ensuite, les scores faibles à modérés pour le volet traitant de l'intérêt écologique du bois flottant pour les habitats aquatiques traduisent la présence de nombreux habitats alternatifs pour les espèces aquatiques, les faciès du cours d'eau étaient en effet bien diversifiés. Une présence significative d'habitats associés au bois flottant a toutefois été noté reflétant donc l'intérêt du bois flottant dans le Lagamas pour les espèces aquatiques. Ensuite, les scores élevés pour le volet traitant de l'intérêt écologique terrestre viennent principalement de la présence assez rare d'habitats alternatifs pour les espèces terrestres (quasi absence de bois mort hors d'atteinte des eaux), d'une contribution relativement élevée du bois flottant à créer divers habitats terrestres, ainsi que d'une persistance dans le temps des bois flottant estimé relativement haute. Enfin, les scores très faibles relatifs aux potentiels impacts géomorphologiques du bois sont expliqués par l'absence d'observation de trace d'influence du bois sur la géomorphologie de la rivière (érosion, exhaussement).

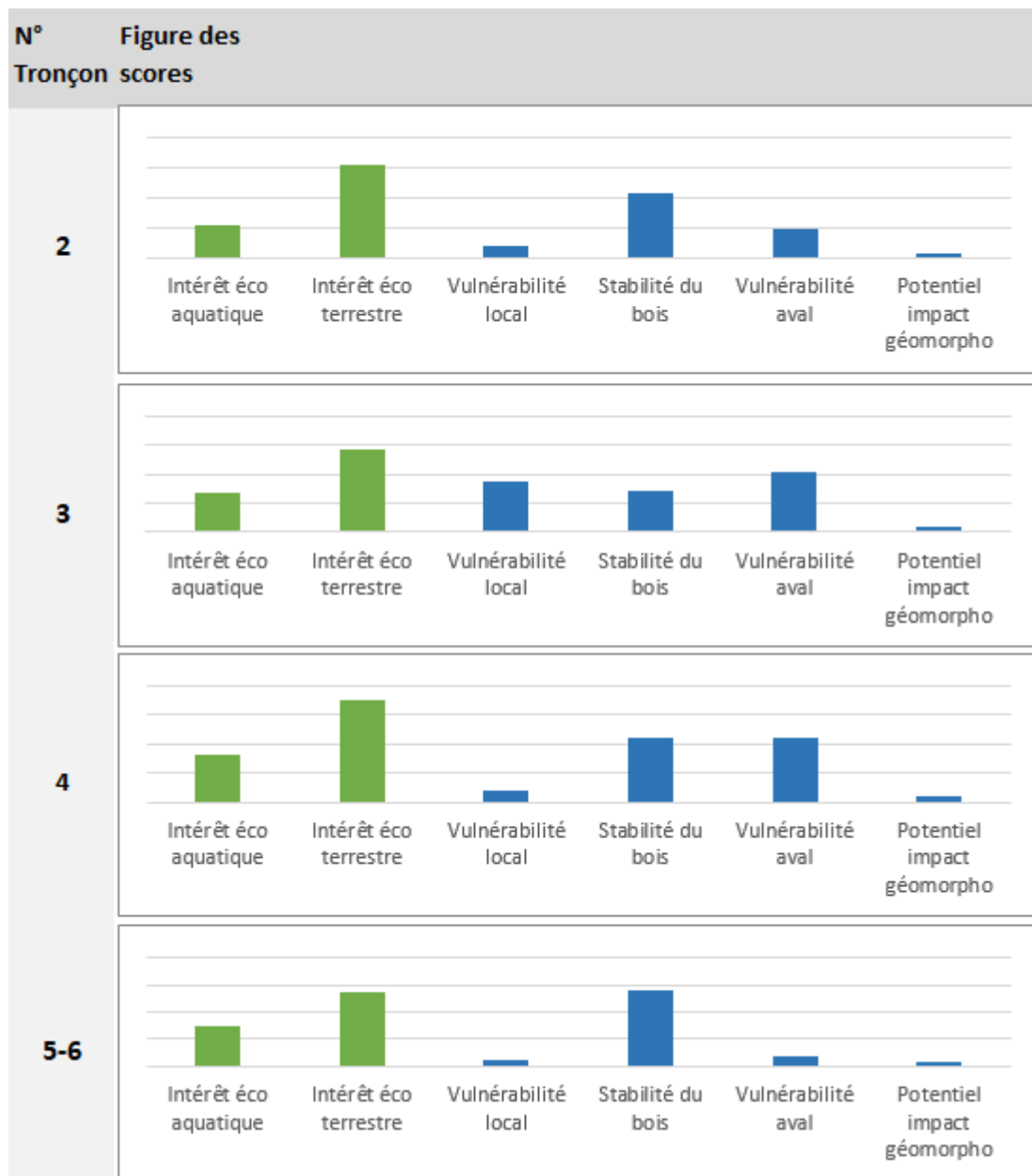


Figure 14 : Scores obtenus à l'aide du protocole sur les tronçons parcourus du Lagamas (34)

Au-delà de ces tendances et similitudes entre tronçons, des variations inter-tronçons sont détectées :

- Le tronçon N°5-6 est le plus à l'aval du cours d'eau, il se situe à la confluence avec l'Hérault. L'absence d'enjeu et de verrou est traduit par des scores très faibles pour la vulnérabilité locale et aval.
- Le score plus élevé de la vulnérabilité aval du tronçon N°4 (mais qui reste modéré) vient de la présence d'habitations au droit d'un verrou hydraulique de section très réduite qui délimite la fin de ce tronçon.
- Le tronçon N°3 a aussi un score modéré sur la vulnérabilité locale car un enjeu moyen et exposé est présent au droit du tronçon. Ce tronçon a aussi un score également modéré sur la vulnérabilité aval, expliqué par un ouvrage sous-dimensionné à l'aval du tronçon, entouré d'enjeux agricoles.
- Le tronçon N°2 a globalement les mêmes caractéristiques que le tronçon N°5b, avec des scores légèrement plus élevés pour les volets traitant de la vulnérabilité locale et aval. Cela s'explique par la présence d'un verrou hydraulique sur le tronçon, ainsi que par l'importante présence de bois qui augmente de manière notable la rugosité de la rivière sur ce tronçon.

Pour conclure, le Lagamas sur le secteur étudié (tronçons 5-6 à 2) présente une diversité d'habitats aquatiques importante, un intérêt fort pour la présence de bois flottant en milieu terrestre, relativement peu d'enjeux et les bois flottants ont été évalué globalement stables.

### 4.3.5 Modes de gestion à privilégier

A partir des résultats obtenus en appliquant le protocole sur les différents tronçons du Lagamas (§4.3.4), il est possible en suivant la méthode présentée dans le §3 afin d'identifier les modes de gestion du bois qui pourraient sembler les plus adaptés aux contextes de chacun de ces tronçons. Le retrait ou le billonnage du bois étant les modes de gestion les plus couramment appliqués, et ce dans la plupart des contextes, ils ne sont ici pas suggérés. Ils sont à envisager dans un second temps si les options proposées ne sont pas envisageables. Le choix final des modes de gestion adopter dépendra également de l'urgence pour laquelle il faut intervenir.

Sur le tronçon N°5-6 qui est le plus à l'aval du Lagamas, l'absence d'enjeu et l'intérêt modéré à fort du bois flottant pour le milieu naturel suggèrent de la non intervention (Figure 15). C'est en effet la solution qui semble la plus adaptée compte tenu du faible risque que le bois flottant représente sur ce tronçon. De la réintroduction en rive pourrait éventuellement être considérée si le processus naturel de production de bois mort n'est pas assez rapide. Le tronçon N°2 a des scores similaires au N°5-6 ce qui suggère le même mode de gestion.

La présence d'une habitation et d'un verrou hydraulique au même endroit font que le tronçon N°4 reçoit un score modéré sur la vulnérabilité aval, et l'absence de bois en berge ou en rive justifie un score élevé pour l'intérêt écologique terrestre. Le curseur associé au tronçon est donc placé au milieu et en haut du graphique conceptuel de la Figure 15. Ceci suggère que la réintroduction et stabilisation de bois serait un mode de gestion à envisager. Le curseur est également proche des solutions de piège à flottants et d'aménagement du verrou. Le manque d'habitats concernant principalement le milieu terrestre, la réintroduction devrait être appliquée en rive si les propriétaires le permettent, et le bois devra être fixé (à l'aide de pieux ou en en imbriquant le bois avec les arbres alentours) pour s'assurer qu'il ne soit pas emporté en crue. Ensuite, le score élevé sur le volet de la vulnérabilité aval ne prend pas en compte qu'il n'y a qu'une habitation qui serait impactée par une rehausse de la ligne d'eau en crue en cas d'embâcle sur le verrou. La mise en place d'un piège à flottants semble donc démesurément coûteuse au vu des gains qu'il pourrait apporter. Enfin, l'aménagement du verrou pourrait être envisagé : c'est une passerelle en béton. Reste à définir par qui ces travaux seraient éventuellement pris en charge : la passerelle est très probablement une propriété privée (appartenant au même propriétaire que la maison d'en face).

Le curseur représentant le tronçon N°3 sur le graphique conceptuel de la Figure 15 est placé proche de celui du N°4. Les solutions préconisées sont donc les mêmes en considérant les frontières floues de chaque suggestion de mode de gestion. Au vu du faible nombre d'enjeux (une habitation exposée et un verrou entouré de terre agricole), les solutions coûteuses comme le piège à flottants ou l'aménagement de pont sont peu envisageables. La stabilisation ou réintroduction de bois en rive permettrait en revanche d'augmenter la diversité des habitats terrestres sans créer de risque supplémentaire ou même en réduisant le risque si le bois stabilisé est déjà présent.

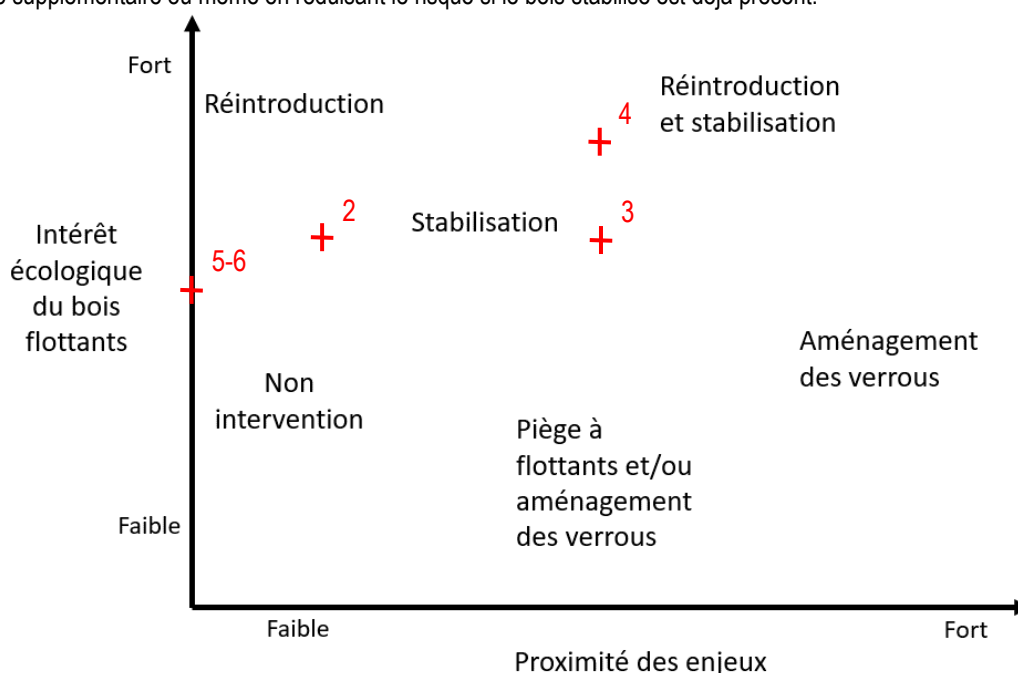


Figure 15 : Modes de gestion proposés pour quelques tronçons caractéristiques du Lagamas (34), en rouge les numéros de tronçons concernés

## 5 Bilan

Le protocole décrit dans le présent rapport est inspiré d'un protocole développé par Ellen Wohl et ses collaborateurs au Colorado, dont la dernière version (Wohl et al., 2019) a été dans un premier temps traduite et testée sur des cours d'eau français. Il nous a semblé que les critères utilisés couvraient bien un large panel des effets du bois flottant sur les cours d'eau. Toutefois l'attribution d'un score à chaque critère était très subjective : quasiment aucun indicateur n'était clairement défini pour évaluer les différents critères et sous-critères.

Après avoir testé le protocole sur des premiers cours d'eau non présentés dans ce rapport, il a pu être ajusté et adapté. Le protocole s'articule finalement en trois grandes étapes : (i) la segmentation du cours d'eau en tronçons où la gestion du bois est jugée homogène ; (ii) l'élimination des tronçons où le mode de gestion est évident et justifié ; et (iii) la proposition de modes de gestion adaptés au contexte de chaque tronçon restant, à l'aide d'une analyse multicritère. Les principales modifications qui ont été apportées par rapport au protocole initial proposé par Wohl et al. (2019) sont :

- La mise en œuvre du protocole qui se fait à l'échelle d'un tronçon et non à celle d'un embâcle ;
- L'ajout d'une étape de segmentation du cours d'eau en tronçon de gestion homogène du bois flottant ;
- Les critères jugés peu pertinents dans le contexte français ou trop délicats à évaluer ont été retirés ;
- Des indicateurs qui sont basés sur une synthèse bibliographique et des observations de terrain, développés pour aider l'utilisateur à évaluer les différents critères et sous-critères ;
- La conception de formulaires disponibles sur une application smartphone et une interface QGIS simple d'utilisation, pour faciliter le travail d'analyse post-terrain et pour permettre de constituer et d'archiver les données relevées sous forme de base de données ;
- L'analyse des résultats qui ne se fait plus au prisme d'un unique score agrégeant trop globalement les résultats multifactoriels de l'analyse, mais à partir des scores obtenus à chaque volet afin de comparer entre eux les différents effets du bois flottants ;
- Les modes de gestion qui sont suggérés en fonction des scores obtenus aux volets thématiques.

Nous pensons que cet outil peut être utile aux gestionnaires de cours d'eau pour réaliser des diagnostics du bois flottant lorsque la situation le nécessite (par exemple si le temps manque pour réaliser un plan de gestion détaillé). Il peut en effet être difficile d'évaluer de manière objective et à grande échelle les différents effets du bois flottants sur le milieu naturel et les infrastructures. Cet outil peut donc aider à mieux qualifier les risques, et dans certains cas peut aider à argumenter l'absence d'un intérêt général à intervenir sur certains tronçons. En effet, des gestionnaires de cours d'eau nous ont fait remonter qu'ils avaient parfois la forte intuition que le retrait ou le billonnage du bois sur certains secteurs n'étaient pas justifiés, mais que face aux pressions des riverains ou des élus, il pouvait leur manquer des éléments factuels et des arguments supportés par des analyses objectives pour les convaincre. Enfin, les formulaires accessibles sur smartphone nous semblent bien adaptés pour relever, archiver, et suivre l'évolution des bois flottants dans les cours d'eau, permettant aux gestionnaires de mieux comprendre la dynamique du bois sur leur territoire, d'assurer la transmission du savoir au sein de leur structure et de quantifier objectivement les stocks en place et à traiter.

Le protocole présenté ici est, à notre connaissance, le premier de la sorte en France (mais voir aussi l'intéressante alternative proposée pour le Québec par Boivin, Maltais et Buffin-Bélanger, 2019). Ce rapport constitue un premier test d'application pour en mesurer les forces et limites dans le milieu opérationnel. Des retours de la part des gestionnaires permettront de l'améliorer. Des pistes peuvent néanmoins être explorées pour rendre ce protocole plus robuste. Tout d'abord, les formulaires ont été développés grâce à une plateforme en ligne gratuite appelée Epicollect5. Bien que sa facilité d'utilisation est un atout, il existe un risque que la maintenance de cette plateforme s'arrête. Il ne serait donc plus possible d'utiliser les formulaires et les analyses qui en découlent. Si les retours des gestionnaires soutiennent l'utilité de ce protocole, il pourrait être intéressant de développer une application indépendante permettant d'en faire un outil plus résilient et durable. Dans un second temps, ce rapport et ce protocole ont été élaborés par des spécialistes en hydromorphologie et en hydraulique fluviale, les indicateurs permettant d'évaluer les critères des volets sur les intérêts écologiques pourraient donc certainement être affinés par des écologues spécialistes des milieux aquatiques et rivulaires. Enfin, le protocole a été testé sur des rivières malheureusement relativement pauvres en bois flottant et n'ayant pas subi de crue majeure très récente (le travail de désembâclement avait déjà été mené sur le Brague et la Clamoux par exemple). Son application à des rivières immédiatement après une crue majeure reste à éprouver.

Pour finir, il est essentiel de partager, développer, et promouvoir toutes les initiatives permettant d'accélérer le changement de paradigme quant à la gestion du bois flottant plus réfléchi et plus bénéfique pour l'environnement. Par ailleurs, d'autres documents pédagogiques sont en cours de préparation en parallèle du présent rapport et seront disponibles en ligne : un ensemble de flyers pédagogiques récapitulant les processus en jeu dans la dynamique du bois, les effets du bois sur le milieu naturel et les infrastructures, les différents modes de gestion (dont la réintroduction de bois) et les principales idées reçues sur les embâcles ; des retours d'expériences sur des ouvrages de piège à flottants (Benaksas et Piton, 2023) ; et des retours d'expériences de gestionnaires ayant des modes de gestion alternatifs.

## Bibliographie

- Benaksas, Swann et Guillaume Piton. 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*. IGE – Institut des Géosciences de l'Environnement, 43 p. <<https://hal.inrae.fr/hal-03926944>>. Consulté le 16 juin 2023.
- Boivin, M., M. Maltais et T. Buffin-Bélanger. 2019. *Guide d'analyse de la dynamique du bois en rivière*. Guide scientifique présenté au Conseil de l'eau du Nord de la Gaspésie et à la Fondation de la Faune du Québec, 97+annexes p. <<http://recherche.uqac.ca/lerga/guide-bois-en-riviere/>>.
- Boyer, M. 2008. *Plan d'entretien des cours d'eau Cahier méthodologique*. République et Canton de Genève, Département du Territoire; Concept.Cours.d'Eau; GREN Biologie Appliquée. <[https://cceau.fr/wp-content/uploads/2013/10/001\\_CCEAU.pdf](https://cceau.fr/wp-content/uploads/2013/10/001_CCEAU.pdf)>.
- Brooks, Andrew P, Tim Abbe, T Cohen, N Marsh, S Mika, A Boulton, T Broderick, D Borg et I Rutherford. 2006. *Design guideline for the reintroduction of wood into Australian streams*. Land & Water Australia, Canberra, 96 p. <<https://reefcatchments.com.au/files/2013/02/Design-Guideline-for-the-reintroduction-of-wood-into-Australian-streams1.pdf>>.
- Bureau of Reclamation et U.S. Army Corps of Engineers. 2015. *National Large Wood Manual: Assessment, Planning, Design, and Maintenance of Large Wood in Fluvial Ecosystems: Restoring Process, Function, and Structure*. 628 p. <[https://www.usbr.gov/research/projects/download\\_product.cfm?id=1481](https://www.usbr.gov/research/projects/download_product.cfm?id=1481)>.
- Dajoux, D., C. Gilles et J. Ruffion. 2020. *Guide de préservation des ripisylves*. FNE AuRa, 64 p. <<https://www.fne-aura.org/uploads/2022/01/notice-dutilisation-de-la-fiche-de-releve-2022.pdf>>.
- DDT 04. 2019. *Guide à destination des riverains et usagers de cours d'eau*. 30 p. <[https://www.alpes-de-haute-provence.gouv.fr/content/download/22038/127715/file/Guide\\_FINAL\\_PHOTO.pdf](https://www.alpes-de-haute-provence.gouv.fr/content/download/22038/127715/file/Guide_FINAL_PHOTO.pdf)>.
- Environment Agency. 2019. *Blockage management guide*. SC110005/R2. UK : Environment Agency, 193 p. <<https://www.gov.uk/flood-and-coastal-erosion-risk-management-research-reports/blockage-management-guide>>.
- Gippel, Christopher J. 1995. « Environmental Hydraulics of Large Woody Debris in Streams and Rivers ». *Journal of Environmental Engineering*, vol. 121, n° 5, p. 388-395. <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1995\)121:5\(388\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1995)121:5(388))>.
- Gnonlonfin, A., Piton G., Marchal R., Munir M. B., Wang Z.X., Moncoulon D., Mas A., Arnaud P., Tacnet JM. et A. Douai. 2019. « Part 7: France: Brague ». In *DELIVERABLE 6.3 DEMO Insurance Value Assessment*, p. 267-428. NAIAD H2020 project (Grant Agreement n° 730497). <<https://hal.inrae.fr/hal-03027263>>. Consulté le 8 septembre 2021.
- Gschnitzer, T., B. Gems, B. Mazzorana et M. Aufleger. 2017. « Towards a robust assessment of bridge clogging processes in flood risk management ». *Geomorphology*, vol. 279, p. 128-140. <<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.002>>.
- Haehnel, Robert B. et Steven F. Daly. 2004. « Maximum Impact Force of Woody Debris on Floodplain Structures ». *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 130, n° 2, p. 112-120. <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2004\)130:2\(112\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2004)130:2(112))>.
- ÖWAV. 2021. *Holz in und an Fließgewässern – Wildholzmanagement*. Coll. « Arbeitsbehelf », ÖWAV-Arbeitsbehelf 63. Wien, AUT. : Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV), 114 p. <<https://www.oewav.at/Publikationen?current=410953&mode=form>>. Consulté le 25 février 2022.
- Philippe, Félix, Guillaume Piton, Jean-marc Tacnet et Antoine Gourhand. 2018. « Focus - Aide à la décision par l'application de la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) à l'analyse multicritère des stratégies d'aménagement du Grand Buech à la Faurie ». *Science Eaux & Territoires*, vol. 26, p. 54-57. <<https://doi.org/10.14758/set-revue.2018.26.10>>.
- Piégay, H. et A.M. Gurnell. 1997. « Large woody debris and river geomorphological pattern: examples from S.E. France and S. England ». *Geomorphology*, vol. 19, n° 1-2, p. 99-116. <[https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(96\)00045-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(96)00045-1)>.
- Piton, G., Arfaoui, N., Gnonlonfin, A., Marchal, R., Moncoulon, D., Douai, A., et Tacnet, J.-M. 2022. « Giving room to the river: a Nature-based solution for flash flood hazards? The Brague River case study (France) ». In *Greening Water risks: natural assurance schemes*, sous la dir. de Lopez Gunn, E., Van der Keur, P., Van Cauwenbergh, N., Le Coent, L., et Giordano, R. Coll. « Water Security in a New World ». Springer.
- Piton, G., Dupire S., Arnaud P., Mas A., Marchal R., Moncoulon D., Curt. T. et JM. Tacnet. 2018. *DELIVERABLE 6.2 From hazards to risk: models for the DEMOs - Part 3: France: Brague catchment DEMO*. NAIAD H2020 project (Grant Agreement n° 730497), 215-344 p.



- <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03026632v1>>. Consulté le 24 juin 2021.
- Quiniou, M. et G. Piton. 2022. *Embâcles: concilier gestion des risques et qualité des milieux. Guide de diagnostic et de recommandations*. hal-03621373. ISL Ingénierie; INRAE, 135 p. <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03621373>>.
- Rinaldi, M., B. Belletti, F. Comiti, L. Nardi, M. Bussetini, L. Mao et A.M. Gurnell. 2015. *The Geomorphic Units survey and classification System (GUS)*. Coll. « REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management), a Collaborative project (large-scale integrating project) funded by the European Commission within the 7th Framework Programme under Grant Agreement 282656 », Deliverable 6.2, Part 4, 131 p. <<https://www.reformrivers.eu/system/files/6.2%20Methods%20to%20assess%20hydromorphology%20of%20rivers%20part%20IV%20revised.pdf>>.
- Rinaldi, M., M. Bussetini, N. Surian, F. Comiti et A.M. Gurnell. 2016. *Guidebook for the evaluation of stream morphological conditions by the Morphological Quality Index (MQI)*. University of Florence; Italian Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA); University of Padua; Free University of Bozen; Queen Mary University of London. <[https://www.researchgate.net/profile/Massimo-Rinaldi-2/publication/322012176\\_Guidebook\\_for\\_the\\_evaluation\\_of\\_stream\\_morphological\\_conditions\\_by\\_the\\_Morphological\\_Quality\\_Index\\_MQI/links/5a3e1a5eaca272d294446b90/Guidebook-for-the-evaluation-of-stream-morphological-conditions-by-the-Morphological-Quality-Index-MQI.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Massimo-Rinaldi-2/publication/322012176_Guidebook_for_the_evaluation_of_stream_morphological_conditions_by_the_Morphological_Quality_Index_MQI/links/5a3e1a5eaca272d294446b90/Guidebook-for-the-evaluation-of-stream-morphological-conditions-by-the-Morphological-Quality-Index-MQI.pdf)>.
- Ruiz-Villanueva, V., C. Gamberini, E. Bladé, M. Stoffel et W. Bertoldi. 2020. « Numerical Modeling of Instream Wood Transport, Deposition, and Accumulation in Braided Morphologies Under Unsteady Conditions: Sensitivity and High-Resolution Quantitative Model Validation ». *Water Resources Research*, vol. 56, n° 7, p. e2019WR026221. <<https://doi.org/10.1029/2019WR026221>>.
- Shields & Gippel. (1995). Prediction of effects of woody debris removal on flow resistance. *Journal of hydraulic engineering*, 341-354. [https://www.academia.edu/10883351/Prediction\\_of\\_Effects\\_of\\_Woody\\_Debris\\_Removal\\_on\\_Flow\\_Resistance?from=cover\\_page](https://www.academia.edu/10883351/Prediction_of_Effects_of_Woody_Debris_Removal_on_Flow_Resistance?from=cover_page)
- Shields, F.D. et R.H. Smith. 1992. « Effects of large woody debris removal on physical characteristics of a sand-bed river ». *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 2, n° 2, p. 145-163. <<https://doi.org/10.1002/aqc.3270020203>>.
- Stokland, Jogeir N., Juha Siitonen et Bengt Gunnar Jonsson. 2012. *Biodiversity in Dead Wood*, 1<sup>re</sup> éd. Cambridge University Press. <<https://doi.org/10.1017/CBO9781139025843>>. Consulté le 20 octobre 2022.
- Wohl, E., D.N. Scott et S.E. Yochum. 2019. *Managing for Large Wood and Beaver Dams in Stream Corridors*. Coll. « General Technical Report », RMRS-GTR-404. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 137 p. <<https://srs.fs.usda.gov/pubs/59331>>.
- Wohl, Ellen. 2013. « Floodplains and wood ». *Earth-Science Reviews*, vol. 123, p. 194-212. <<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.04.009>>.
- Wohl, Ellen, Brian P Bledsoe, Kurt D Fausch, Natalie Kramer, Kevin R Bestgen et Michael N Gooseff. 2016. « Management of Large Wood in Streams: An Overview and Proposed Framework for Hazard Evaluation ». *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, vol. 52, n° 2, p. 1-21. <<https://doi.org/10.1111/1752-1688.12388>>.
- Wohl, Ellen, Daniel N Scott et Steven E Yochum. 2019. *Managing for large wood and beaver dams in stream corridors*. RMRS-GTR-404. Fort Collins, CO : US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 137 p. <<https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/59331>>. Consulté le 7 mai 2020.

# Annexe A. Fondements scientifiques des critères et indicateurs de notation

Le protocole est décomposé en six volets thématiques qui sont chacun évalué à l'aide de trois ou quatre sous-critères. Pour chacun d'entre eux, un score est attribué suivant une grille d'évaluation dont les fondements sont expliqués dans cette section.

## A. Volet A : Risques pour les écosystèmes aquatiques associés au fait de retirer du bois flottant

Le volet A (Figure 16) s'intéresse à l'intérêt du bois mort présent dans le cours d'eau pour les espèces aquatiques et aux risques pour ces dernières de retirer cet élément clé de la qualité des milieux. L'intérêt écologique du bois dans les rivières fait consensus dans la communauté scientifique, il est néanmoins important de quantifier ces bénéfices pour les comparer avec les risques que les bois flottants peuvent engendrer par ailleurs (voir les volets C, E et F).

Le premier critère (A1) permet de caractériser l'importance des habitats créés par les bois flottants sur le tronçon, il s'agit ici d'observer les habitats équivalents ou alternatifs déjà présents qui ne sont pas liés à la présence de bois flottants : si de nombreux blocs rocheux, zones refuges sous des racines d'arbres sains ou falaises, bancs sédimentaires, îles, radiers et mouilles sont présents, le retrait du bois flottant aura un impact plus faible sur les espèces aquatiques que si le cours d'eau est dépourvu ou pauvre en diversité géomorphologique. Les descripteur morphologiques du GUS (Geomorphic Unit Survey, Rinaldi et al., 2015) traite en profondeur de la qualité géomorphologique des cours d'eau et fournit de très nombreux critères pour évaluer cet indice. Les grandes idées de ce guide sont utilisées pour noter le critère A1.

Le deuxième critère (A2) évalue la diversité d'habitats créée par le bois flottant : caches, mouilles, diversité de granulométrie, diversité de profils de vitesses. Pour noter ce critère, la densité d'habitats diversifiés est estimée en calculant le nombre de sites présentant plusieurs types d'habitats par kilomètre de tronçon : de nombreux documents scientifiques traitent de l'intérêt écologique du bois mort dans les cours d'eau (par exemple Wohl et al., 2019) mais il ne semble pas possible, à notre connaissance, de définir des valeurs de densité de bois flottant (en pièces/ha ou en volume/ha par exemple) permettant de discriminer une contribution majeure ou marginale à la qualité du milieu. Les valeurs que nous avons retenues sont donc tirées de cours d'eau observés qui ont été jugés sauvages ou très dégradés.

La disponibilité du bois pour les espèces aquatiques et benthiques est évaluée dans le critère A3, il s'agit d'observer parmi les bois flottants dans le lit mineur si le bois est non immergé, immergé mais sans contact avec le fond ou immergé avec un contact avec le fond (noté « intégré »). Cet indicateur est inspiré du guide de Boyer (2008) sur la gestion des ripisylves.

Le dernier critère de ce volet (A4) a pour objectif de quantifier la durabilité des habitats créés par le bois sur le tronçon. En effet le retrait d'habitats persistant dans le temps est plus dommageable que le retrait d'habitats voués à disparaître rapidement. Pour noter ce critère, la longueur relative des BF par rapport à la largeur du cours d'eau est considérée, c'est en effet un des facteurs prépondérants de la stabilité d'un BF (Quiniou et Piton, 2022) et celui le plus simple à évaluer.

### Volet A : Risques associés au fait de retirer du BF sur les écosystèmes aquatiques

BF = Bois Flottants			
<b>Ligne A1 : Présence d'habitats alternatifs dans le lit mineur</b>			
Score	1	2	3
	De nombreux éléments présents sur le tronçon fournissent le même type d'habitats (blocs, bancs, îles, radiers, mouilles) ; pas d'espèces clés dépendante de ce BF	Quelques autres éléments de diversification du faciès sont présents le tronçon (blocs, bancs, îles, radiers, mouilles) ; des espèces clés utilisent ce BF sans être dépendant	Peu d'autres éléments sur le tronçon diversifient les faciès (blocs, bancs, îles, radiers, mouilles) ; des espèces clés dépendent de ce BF
<b>Ligne A2 : Contributions du BF à créer divers habitats aquatiques</b>			
Score	1	2	3
	Peu d'autres BF qui créent des habitats sur le tronçon (<1 BF créant plusieurs habitats / 500 ml)	Quelques d'autres BF qui créent des habitats sur le tronçon (1-3 BF créant plusieurs habitats / 500 ml)	De nombreux autres BF qui créent des habitats variés sur le tronçon (>3 BF créant plusieurs habitats / 500 ml)
<b>Ligne A3 : Disponibilité du BF pour les espèces aquatiques et benthiques</b>			
Score	1	2	3
	BF majoritairement non immergé	BF majoritairement immergé et non intégré dans le chenal (ne touche pas le fond du lit)	BF en grande partie (environ 50%) immergé et intégré dans le chenal (touche le fond du lit)
<b>Ligne A4 : Persistance dans le temps de l'habitat engendré par la présence de BF ?</b>			
Score	1	2	3
	BF très mobile : pas de branches ou racines; BF isolé; L_BF petit devant largeur cours d'eau;...	BF pas très mobile ; peu de branches/racines; L_BF proche de largeur cours d'eau;...	BF très peu mobile ; bcp de branches/racines; plusieurs BF entrelacés; L_BF > largeur cours d'eau;...

Figure 16 : Grille d'évaluation du Volet A

## B. Volet B « Risques pour les écosystèmes terrestres associés au fait de retirer du BF »

Le volet B (Figure 17) traite de l'intérêt du bois mort pour les écosystèmes des berges et du lit majeur. De la même manière que pour le critère A1, la ligne B1 évalue la présence d'habitats alternatifs pour les espèces terrestres proche des cours d'eau. Pour cela, le bois mort hors de portée des eaux est considéré comme un habitat alternatif au bois mort en berge ou en lit majeur. On s'intéresse en particulier aux grosses pièces de bois mort hors de portée des eaux : plus le diamètre est important, plus l'intérêt écologique est marqué. Les valeurs seuils permettant de noter ce critère sont issues de l'Indice de Biodiversité et de Connectivité des Ripisylves (IBCR, Dajoux et al., 2020). Un indice équivalent existe pour les forêts non rivulaires (IBP) mais le décompte du bois mort se fait à l'échelle de l'hectare, or il est plus aisé d'utiliser l'échelle du linéaire de l'IBCR qui est adapté au parcours depuis le cours d'eau. Les valeurs seuils ont été légèrement adaptées pour correspondre à trois scores au lieu de quatre et pour faciliter la mesure des diamètres. Notons que ce comptage de pièces de bois peut être fastidieux. Mireille Boyer notait à la relecture de ce rapport que "La quantité de bois au sol est très corrélée au stade des boisements et à leur mode de gestion. Il est pourrait être proposé plus simplement de décrire cela (ex : présence de futaie avec un sous-bois non géré)." Ceci est en effet une alternative qui peut être retenue : les indicateurs que nous proposons visent à faciliter le travail d'assignation de scores mais sont très partiels : si des utilisateurs ont l'expertise ou la créativité de trouver des alternatives rigoureuses et plus simples à utiliser que nos propositions, il ne faut pas hésiter tout en décrivant les adaptations menées.

Notons qu'on se focalise sur le bois mort sous la forme de branches ou de troncs tombés au sol (qui touche ce dernier). Les micro-dendrohabitats présents sur les vieux arbres vivants et sur les chandelles (arbres morts sur pied) constituent des habitats à part et abritent des espèces différentes du bois au sol. Le bois flottant est ainsi plus comparable au bois mort au sol et non aux chandelles et arbres sénescents.

La deuxième ligne B2 permet de caractériser la diversité d'habitats terrestres créée par les bois flottant en berge ou en lit majeur. Pour noter ce critère, on s'intéresse aux accumulations de bois présentant différents diamètres, stades de décomposition ou des formes complexes, et au contact des bois flottant avec le sol : pour les bis flottant isolés, si le contact avec le sol est hétérogène (une zone en contact et une zone suspendu), il a été considéré que ceci engendrait des conditions hygrométriques et de décomposition variées. A notre connaissance, il n'y a pas d'indicateur simple d'utilisation qui traite précisément de cette thématique. L'intérêt pour la biodiversité de la diversification d'états de décomposition est par contre démontré par la littérature scientifique (Stokland, Siitonen et Jonsson, 2012).

Pour évaluer la qualité des habitats créés par les bois flottant en berges ou en lit majeur, l'IBCR est de nouveau utilisé mais ne s'applique plus pour ce critère aux bois mort hors d'atteinte des eaux mais plutôt au bois flottant et tombé sur place dans le lit majeur : il s'agit de compter le nombre de bois de diamètre moyen ou gros et d'appliquer les mêmes valeurs seuils proposées. Comme pour B1, les valeurs ont été légèrement adaptées pour correspondre à trois scores au lieu de quatre et pour faciliter la mesure des diamètres.

De même que pour le volet aquatique (A), le dernier critère de ce volet (B4) a pour objectif de quantifier la durabilité des habitats créés par le bois sur le tronçon, en effet le retrait d'habitats persistant dans le temps est plus dommageable que le retrait d'habitats peu durables. Pour noter ce critère, la longueur relative des bois flottant par rapport à la largeur du cours d'eau est à nouveau considérée.

### Volet B : Risques associés au fait de retirer du BF sur les écosystèmes terrestres

Ligne B1 : Présence d'habitats alternatifs hors de portée des eaux			
Score	1	2	3
	De nombreux bois mort hors de portée des eaux : $8 < [D_{BF} > 40\text{cm}]$ sur 500ml	Présence modérée de bois mort hors de portée des eaux : $[20\text{cm} < D_{BF} < 40\text{cm}] > 5$ ou $5 < [D_{BF} > 40\text{cm}] < 8$ sur 500ml	Présence limitée de bois mort hors de portée des eaux : $[20\text{cm} < D_{BF} < 40\text{cm}] < 5$ et $[D_{BF} > 40\text{cm}] < 5$ sur 500ml
Ligne B2 : Contributions du BF à créer divers habitats terrestres			
Score	1	2	3
	Peu d'autres BF qui créent des habitats sur le tronçon (<1 BF créant plusieurs habitats / 500 ml)	Quelques d'autres BF qui créent des habitats sur le tronçon (1-3 BF créant plusieurs habitats / 500 ml)	De nombreux autres BF qui créent des habitats variés sur le tronçon (>3 BF créant plusieurs habitats / 500 ml)
Ligne B3 : Qualité de l'habitat associé à la présence du BF			
Score	1	2	3
	Présence limitée de bois en berge et lit majeur $[20\text{cm} < D_{BF} < 40\text{cm}] < 5$ et $[D_{BF} > 40\text{cm}] < 5$ sur 500ml	Présence modérée de bois en berge et lit majeur $[20\text{cm} < D_{BF} < 40\text{cm}] > 5$ ou $5 < [D_{BF} > 40\text{cm}] < 8$ sur 500ml	De nombreux bois en berge et lit majeur $8 < [D_{BF} > 40\text{cm}]$ sur 500ml
Ligne B4 : Persistance dans le temps de l'habitat engendré par la présence de BF ?			
Score	1	2	3
	BF très mobile : pas de branches ou racines; BF isolé; proche lit mineur; longueur BF petit devant largeur cours d'eau; pas d'arbres pouvant piéger le BF sur sa trajectoire...	BF pas très mobile : moyennement proche du lit mineur ; peu de branches/racines; LBF proche de largeur cours d'eau;...	BF très peu mobile : éloigné du lit mineur ; beaucoup de branches/racines; plusieurs BF entrelacés; LBF > largeur cours d'eau; arbres présents pouvant bloquer le BF sur sa trajectoire...

Figure 17 : Grille d'évaluation du Volet B

## C. Volet C : Risques d'élévation du niveau d'eau sur les berges et le lit majeur

Bien que la présence de bois dans le cours d'eau peut avoir un effet bénéfique sur l'hydraulique en crue (augmentation de la rugosité et écrêtement ou ralentissement des crues comme rappelé dans les remarques de la page 12), dans certains cas les bois flottants peuvent augmenter les risques, le volet C (Figure 18) s'intéresse en particulier au potentiel d'aggravation des inondations du bois sur le tronçon considéré. La disposition des bois flottants et l'occupation des sols déterminent ces risques associés au bois.

Le premier critère (C1) traite de l'occupation des sols et des enjeux aux abords du cours d'eau sur le tronçon d'étude. Cet indicateur est inspiré du guide de Boyer (2008).

La deuxième ligne de ce volet (C2) évalue l'obstruction maximale du chenal rencontrée sur la portion étudiée. Ce taux d'obstruction de la section hydraulique est très corrélé au potentiel de surélévation de la ligne d'eau locale. Les valeurs seuils proposées sont issues du guide « The hydraulic basis of snag management » (Gippel, 1995).

La dernière ligne (C3) donne un score caractérisant l'augmentation de la rugosité globale du tronçon par les bois flottants. Cet effet est diffus et réparti spatialement tandis que les obstructions relevées dans le critère précédent sont localisées. La disposition du bois dans le cours d'eau est le paramètre observé pour qualifier cette rugosité qui est par nature difficile à évaluer. En soi, l'idée générale est d'avoir un regard d'ensemble sur les facteurs de rugosité du tronçon (granulométries, formes géomorphologiques, densité, hauteur et diversité de la végétation, pièces de bois flottants) et d'essayer d'indiquer si le bois flottant présent contribue de façon marginale, modérée ou majeure à cette rugosité. Le lien entre la présence de bois flottant et l'augmentation de la rugosité, ainsi que les indicateurs permettant de noter ce critère sont issues de plusieurs articles scientifiques (Gippel, 1995 ; Shields et Gippel, 1995 ; Shields et Smith, 1992). Ces critères sont sommaires mais permettent d'attirer l'attention sur certains points clés.

### Volet C : Risques d'élévation du niveau d'eau sur les berges et le lit majeur

Ligne C1 : Présence d'enjeux en lit majeur au droit du tronçon			
Score	1	2	3
	Lit majeur aux alentours de l'embâcle pas urbanisé et pas d'enjeux forts : chemin de randonnée ou forestier, zone naturelle, prairie, peupleraies et autres plantations, chemin agricole	Lit majeur aux alentours de l'embâcle faiblement urbanisé avec peu d'enjeux importants : zone agricole, route secondaire, bâtiments isolés, infrastructure locale (camping, golf, étang,...)	Zone urbaine très proche du cours d'eau au niveau de l'embâcle ; enjeux forts : route principale, voie ferrée, hameau/village, zone d'activité, ouvrage divers (canalisation, pylône, station d'épuration,...)
Ligne C2 : Obstructions localisées de la section d'écoulement à proximité d'enjeux			
Score	1	2	3
	Au droit des embâcles les plus contraignant, obstruction <10% de la section d'écoulement lors des crues	Au droit des embâcles les plus contraignant, obstruction 10-40% de la section d'écoulement lors des crues	Au droit des embâcles les plus contraignant, obstruction >40% de la section d'écoulement lors des crues
Ligne C3 : Augmentation de la rugosité moyenne du tronçon			
Score	1	2	3
	Faible contribution du BF à la rugosité moyenne du tronçon ; BF très éloignés entre eux (>>Diamètre BF) ; forte submersion en crue des dépôts de BF ; BF alligné avec l'écoulement (0-30°) ; zone inondable large	Situation intermédiaire	Forte contributions du BF à la rugosité moyenne du tronçon ; dépôts de BF nombreux (distance<10DBF) et épais (faiblement submergé en crue) ; BF perpendiculaire à l'écoulement ; zone inondable limitée

Figure 18 : Grille d'évaluation du Volet C

## D. Volet D : Stabilité du BF et potentiel déplacement

Pour comprendre la dynamique du bois sur le tronçon et les risques qu'ils peuvent engendrer, il est nécessaire de s'intéresser à la mobilité des bois flottant (volet D, Figure 19). La stabilité du bois flottant n'est ni souhaitable, ni indésirable en soi : dans une zone à enjeux, il est probablement préférable que le bois flottant soit mobile plutôt qu'il ne s'arrête de façon incontrôlable. A contrario, en amont d'une zone à enjeux, des facteurs favorisant sa stabilité permettront vraisemblablement un plus grand piégeage naturel et des exports diminués vers les zones aval.

Les deux premiers critères (D1 et D2) abordent la stabilité du bois en fonction des caractéristiques des BF, de son emplacement majoritaire au sein du cours d'eau et des caractéristiques de la rivière. Les valeurs indicatives de D1 sont issues de Piégay & Gurnell (1997) pour la longueur relative des bois flottants ; de Haehnel & Daly (2004) pour la hauteur d'eau relative et de Boyer (2008) pour la sinuosité. Le reste des indicateurs proposés sont tirés d'observations ou d'avis d'expert (par exemple, du bois en lit mineur est potentiellement plus mobilisable que du bois en lit majeur).

Les lignes D3 et D4 permettent de définir la capacité naturelle de piégeage du cours d'eau. Le critère D3 traite du piégeage par les arbres en berge, les valeurs énoncées sont celles utilisées pour le calcul du critère F12 du MQI (Rinaldi *et al.*, 2016). Le critère D4 concerne quant à lui le piégeage du bois par la morphologie du cours d'eau : les zones d'élargissement où l'écoulement perd en profondeur et les zones de tressage où des chenaux moins profonds méandrent entre des bancs sont des zones de dépôt préférentielles. On pense aussi à d'éventuelles chaos de blocs

rocheux protubérant dans le lit du cours d'eau ou à des blocs erratiques massifs formant des accumulations naturelles dans les zones propices (extrados de courbe). Le score est obtenu uniquement grâce à l'observation de zones de dépôts par le praticien et ne repose pas sur des bases théoriques.

### Volet D : Stabilité du BF et potentiel déplacement

Ligne D1 : Stabilité potentiel du BF				
	Score	1	2	3
Critères principaux	LBF/Lriviére	<1	≈ 1	>1
	Sinuosité	<1,05	1,05-1,5	>1,5
	Volume	BF isolés	1-5m3	>5m3
	h_eau/DBF	>1,25	≈ 1	<0,75
	présence de racines et branches	absence, faible	Modérée	Importante
Ligne D2 : Localisation : lit mineur ou lit majeur				
Score	1	2	3	
	dans lit mineur	en berge	dans lit majeur	
Ligne D3 : Potentiel à être immobilisé par les arbres sur les berges				
Score	1	2	3	
	Lit majeur boisée sur <33% du linéaire ou faible potentiel de piégeage par les peuplements (1 rangée d'arbres, taillis peu denses ou végétation herbacée)	Lit majeur boisée sur 33-90% du linéaire ou lit majeur boisé étroit (<2 largeurs de chenal pour rivière à chenal unique, <1 largeur pour style divaguant/ en tresse)	Lit majeur boisée sur >90% du linéaire ou lit majeur boisé large (>2 largeurs de chenal pour rivière à chenal unique, >1 largeur pour style divaguant/ en tresse), peuplement de taillis et de futaies pouvant arrêter les flottants	
Ligne D4 : Potentiel naturel de dynamique favorable au dépôt et piégeage de flottants				
Score	1	2	3	
	Pas de zone de dépôt	Quelques zones de dépôts	De nombreuses zones de dépôt/piégeage naturelle	

Figure 19 : Grille d'évaluation du Volet D

## E. Volet E : Proximité et risques sur les structures en aval, services et infrastructure

Au contraire du volet C qui traite des risques d'augmentation des inondations au droit du tronçon d'étude, le volet E (Figure 20) donne un score caractérisant les risques d'aggravation des inondations pour l'aval du tronçon.

Si les enjeux sont à une distance très supérieure à la distance de transport des bois flottant, cela réduit significativement les risques qu'il y ait formation d'embâcles au droit de ces enjeux. La ligne E1 évalue le pourcentage du tronçon où le bois flottant est susceptible d'être transporté jusqu'à des ouvrages à risques, la méthode de calcul de la distance de transport des bois flottant nous a été fourni par Mirelle BOYER (AQUABIO) et il est fourni dans le Tableau 1 (p. 10).

La géométrie des ouvrages traversant le cours d'eau (ponts, barrages) est un paramètre prépondérant lors de la formation d'embâcles. La ligne E2 traite du potentiel de piégeage des bois flottants par ces ouvrages et fournit des valeurs seuils simple à mesurer (Environment Agency, 2019 ; Quiniou and Piton, 2022).

Certains dispositifs (volontaire ou non) peuvent augmenter ou réduire la capacité de piégeage des ouvrages, le critère E3 permet de quantifier cette modification du risque d'embâcle. Une étude expérimentale très complète a été faite sur les facteurs augmentant la probabilité de formation d'embâcles (Gschnitzer *et al.*, 2017).

Le dernier critère (E4) traite de l'occupation des sols et des enjeux aux abords du cours d'eau sur le tronçon d'étude. Cet indicateur est inspiré du « Plan d'entretien des cours d'eau » (Boyer, 2008).

### Volet E : Proximité et risques sur les structures en aval, services et infrastructures

Ligne E1 : Distance entre l'embâcle et les infrastructures en aval			
Score	1	2	3
	Sur plus de 90% du tronçon : Distance Ouvrage-BF > Distance_transport	Situation intermédiaire	Sur plus de 90% du tronçon : Distance Ouvrage-BF < Distance_transport
Ligne E2 : Impacts de la géométrie de l'ouvrage sur la formation d'embâcles			
Score	1	2	3
	Largeur Ouvrage/Largeur Rivière >1 ; pas de pile de pont ; section importante ; tirant d'air en crue > 1m	Largeur Ouvrage/Largeur Rivière ≈1 ; peu ou pas de rétrécissement de la section ; tirant d'air en crue <1m	Largeur Ouvrage/Largeur Rivière <1 ; Présence de pile en lit mineur ; réduction de la section au niveau de l'ouvrage ; ouvrage en charge lors des crues
Ligne E3 : Dispositifs techniques/structuraux ayant un impact sur la formation d'embâcles			
Score	1	2	3
	Piège à embâcles ; pont mobile ; passage à gué, ouvrage très submergé en crue ; carrénage	Pont classique ; étrave/défecteur sur pile de pont ; rembarde amovibles ;	Structure en treillis ; canalisation en travers de l'écoulement ; angle par rapport à l'écoulement > 30° ; autres dispositifs favorisant l'accrochage
Ligne E4 : Présence d'enjeux en lit majeur proches des verrous hydrauliques aval			
Score	1	2	3
	Lit majeur aux alentours de l'ouvrage pas urbanisé et pas d'enjeux forts : chemin de randonnée ou forestier, zone naturelle, prairie, peupleraies et autres plantations, chemin agricole	Lit majeur aux alentours de l'ouvrage faiblement urbanisé avec peu d'enjeux important : zone agricole, route secondaire, bâtiments isolés, infrastructure locale (camping, golf, étang,...)	Zone urbaine très proche du cours d'eau au niveau de l'ouvrage ; enjeux forts : route principale, voie ferrée, hameau/village, zone d'activité, ouvrage divers (canalisation, pylône, station d'épuration,...)

Figure 20 : Grille d'évaluation du Volet E

## F. Volet F : Potentiel pour avoir des conséquences géomorphologiques involontaires

Bien que les bois flottants sont d'un grand intérêt pour le milieu naturel et pour la dynamique géomorphologique du cours d'eau, dans certains cas ils peuvent entraîner des désordres indésirables. Les volets C et E ont traité le risque de surélévation de la ligne d'eau, mais les bois flottants peuvent également entraîner des désordres géomorphologiques (érosions, incisions, aggradations), le volet F (Figure 21) évalue ces risques éventuels.

La première ligne (F1) se concentre sur l'impact des bois flottants sur les érosions / incisions / affouillements. Si ces phénomènes surviennent au droit d'enjeux vulnérables, les dommages sur les structures peuvent être importants : déstabilisation de protections de berges, de digues ou ponts, affouillement des bâtis. Les indicateurs utilisés sont issus du Geomorphic Units survey and classification System ou GUS (Rinaldi et al., 2015, p.60/131), de connaissances largement démontrées (influence de la végétation sur la cohésion des berges) et des observations de signes d'érosions par le praticien.

Le processus inverse aux incisions est l'aggradation ou l'exhaussement (accumulation de sédiments), et peut avoir un impact tout aussi délétère s'il survient dans une zone vulnérable : augmentation des inondations ou création de chenaux secondaires. Le critère F2 se concentre sur ce risque, le score est obtenu uniquement grâce à l'observation de zones de dépôts lors des visites. Si des traces de dépôts passés qui peuvent de façon évidente être attribué à des embâcles sont observées, il est important de donner un score haut à ce sous-critère.

Les bois flottants peuvent enfin engendrer d'autres dommages indésirables (par exemple colmatage du lit par des sédiments fins, rupture de la continuité sédimentaire), la dernière ligne (F3) évalue ces désordres additionnels à l'aide uniquement des observations des changements géomorphologiques par le praticien.

### Volet F : Potentiel pour avoir des conséquences géomorphologiques involontaires

Ligne F1 : Erosion/affouillement imprévue de la berge adjacente ou opposée associée au BF			
Score	1	2	3
	BF influence peu les érosions ; majoritairement en berge/lit majeur ou complètement mobile ; cours d'eau très large ; berges peu érodables	BF influence marginalement les écoulements ; berges relativement érodables (présence de végétation légère,...)	BF forme obstacle et détourne les écoulements ; nature des berges érodables (peu de végétations, matériaux peu cohésifs,...)
Ligne F2 : Dépôts locaux associés au BF aggravant les inondations/dommages aux infrastructures			
Score	1	2	3
	Influence géomorphologique de l'embâcle très limitée	Influence géomorphologique de l'embâcle localisée	Modifications géomorphologiques majeures associées à la présence de l'embâcle (réhausse des fonds par effet barrage,...)
Ligne F3 : Autres changements géomorphologiques indésirables			
Score	1	2	3
	Absence d'effet morphologique indésirable	Situation intermédiaire	Colmatage du lit par des sédiments fins ; rupture de la continuité sédimentaire générant une altération du milieu aval

Figure 21 : Grille d'évaluation du Volet F

# Annexe B. Compléter les formulaires EPICOLLECT5 sur le terrain

## A. Ouvrir les formulaires

- Télécharger l'application Epicollect5
- Ajouter les 4 projets suivants : « Releve Bois Flottants Riviere », « Releve Enjeux Potentiellement Vulnerables », « Releve Verrous Hydrauliques », « Protocole de gestion du bois flottants »
- Ouvrir le projet adéquat en fonction du relevé à effectuer et « ajouter une entrée » pour effectuer un relevé

Pour remplir ces formulaires, définissez un tronçon à étudier puis parcourez le cours d'eau sur tout le linéaire de ce tronçon :

- A chaque bois mort ou bois flottant de plus de 1 m de long et 10 cm de diamètre rencontré, remplir le formulaire « Releve Bois Flottants Riviere » (ou définissez préalablement d'autres dimensions minimales qui vous conviennent mieux)
- A chaque verrous hydrauliques (pont, barrage, piège à flottants,...) rencontré, remplir le formulaire « Releve Verrous Hydrauliques »
- A chaque enjeu potentiellement vulnérable (habitations, routes, usine,...) rencontré qui n'aurait pas été relevé lors de la cartographie préalable ou qui mériterait une précision (caractère perché au-dessus des eaux par exemple), remplir le formulaire « Releve Enjeux Potentiellement Vulnerables »
- Une fois le tronçon parcouru entièrement, remplir le formulaire « Protocole de gestion du bois flottants »

BF = Bois Flottants → désigne tous les bois à terre de plus de 1 m de long et de 10 cm de diamètre (pas les chandelles, c'est-à-dire les arbres morts toujours sur pied).

Remarque : Des dimensions minimales différentes peuvent être utilisées (Longueur et Diamètre) si l'utilisateur juge que sur son cours d'eau les bois flottants de dimension inférieur à une dimension donnée ne génèrent pas de risques. Si une telle adaptation est retenue, il est néanmoins recommandé d'appliquer cet ajustement à tous le cours d'eau.

## B. Remplir le formulaire « Releve bois flottants riviere »

### ~Formulaire à remplir à chaque bois flottant rencontré de plus de 1 m de long et de 10 cm de diamètre~

Ce formulaire comprend 8 champs qui sont à sélectionner suivant des listes déroulantes prédéfinies et permet d'ajouter jusqu'à 3 photos par point relevé. Réaliser un levé est très rapide pour un utilisateur habitué, de l'ordre de quelques dizaines de secondes. Le plus long est souvent de prendre une photo bien cadrée. Si plusieurs pièces de bois sont situées à proximité directe les une des autres et ont une origine commune (voir plus loin), nous avons parfois levé ces dernières comme un seul point bien qu'elles ne soient pas en contact direct. Dans ce cas, nous avons pris soin de prendre des photos montrant toutes les pièces inventoriées et le champ de « volume » a été estimé en cumulant leurs volumes élémentaires.

- « *Où se trouve le bois flottant (BF) ?* » : Cliquez sur *Actualiser la position*, répétez si la précision est trop élevée (au-dessus de 50m par exemple). Cette donnée permettra de géolocaliser les bois flottants retrouvés dans le cours d'eau
- « *Photographie du BF* » et 2 x « *Autre photographie du BF* » : Prendre une photo du bois ou tas de bois à relever, possibilité de prendre 1, 2 ou 3 photos
- « *Localisation* » : Choisir la réponse adaptée selon le schéma montré ci-dessous



Si le BF est en partie dans le lit et en partie en berge ou en rive → attribuer la localisation « En berge ». Les catégories « dans le lit » et « en rive » sont à retenir seulement si les pièces de bois de l'accumulation relevée sont intégralement dans

Remarque :

le lit ou en rive.

- « **Qualité de l'habitat engendré par le BF** » : Regardez si le BF est en contact avec l'eau, et si oui s'il est également en contact avec le fond du lit
  - « Non immergé (ne touche pas l'eau) »
  - « Immergé et non intégré (ne touche pas le fond du lit) »
  - « Immergé et intégré (touche le fond du lit) »
  
- « **Contributions du BF à créer divers habitats AQUATIQUES géomorphologiquement** » : Pour les BF immergés (intégrés ou non)
  - « Crée 0 type d'habitat » : Si le BF n'a aucune influence géomorphologique sur la création d'habitats, par exemple s'il ne touche pas le fond du lit (non intégré) ou s'il ne crée pas de diversification de vitesses, faciès.
  - « Crée 1 type d'habitat différent » : Si le BF crée qu'un type d'habitat tel qu'une zone de plus faible écoulement ou une accumulation de sédiments
  - « Crée plusieurs habitats diversifiés (cache, mouille, granulo variée, profils de vitesses...) » : Si le BF ou l'accumulation de BF créent plusieurs types d'habitats différents (zone d'accélération de l'écoulement en amont direct ou sur le côté, zone de faible écoulement en aval ou en amont, caches, mouilles, piégeage de granulométrie variée, ...)

Remarque : Ne sont pas pris en compte les habitats au sein du BF (galeries, dendromicrohabitats, ...)
  
- « **Contributions du BF à créer divers habitats TERRESTRES** » : Pour les tous les BF, le but est d'essayer de quantifier le nombre d'habitats créés par un BF ou un tas de BF. Au vu des connaissances requises, nous avons essayé de mettre en place une méthode facilement applicable tout en sachant qu'elle simplifiait à outrance la complexité de la question de l'intérêt des habitats terrestres. L'idée retenue est de vérifier si les pièces relevées présentent une certaine diversité de contact avec le sol (partie enterrée, posée au sol, perchée) ou si ce contact est uniforme. Dans le cas d'accumulations présentant plusieurs pièces, la question porte sur l'ensemble de ces pièces. D'autres éléments interviennent tel que l'état de décomposition du bois, les essences impliquées, etc.
  - « Crée 0 type d'habitat » : Si le BF ne touche pas le milieu terrestre (uniquement en contact avec le milieu aquatique)
  - « Crée 1 type d'habitat : homogénéité du contact avec le sol (total ou que à l'extrémité) » : Si le BF ne touche le sol qu'à une seule extrémité ou s'il touche le sol sur toute sa longueur
  - « Crée 2 types d'habitats : contact hétérogène avec le sol » : Si le BF touche de manière alternative le sol, peut créer potentiellement 2 types d'habitats distincts
  - « Crée plusieurs types d'habitats diversifiés (plusieurs taille de bois, plusieurs états de décomposition, plusieurs types de bois, caches variées,...) » : Si le BF ou l'accumulation de BF crée plusieurs types d'habitats différents
  
- « **Origine** » : En inspectant le BF, essayez de définir l'origine de sa localisation actuelle. Cherchez la souche si c'est un tronc cassé, cherchez s'il a été coupé ou s'est cassé, essayez d'imaginer la trajectoire du BF pour estimer s'il a pu se retrouver dans sa configuration actuelle en étant transporté par une crue ou non. Dans de nombreux cas de branches tombées sur place, on arrive assez bien à retrouver leur origine en observant les arbres alentours.
  - « Arbre sur place » : Si la souche associée au BF est cassée au niveau du tronc ou si le trou de la souche relié au BF est visible ; si il est possible d'identifier l'arbre duquel est tombé la branche ou s'il est dans une configuration qui semble impossible autrement que s'il est tombé sur place
  - « Depot de crue » : Si la localisation du BF semble être due au transport par une crue (dépôts sur des bancs, blocage contre un arbre dans le lit du cours d'eau par exemple)
  - « Depot anthropique » : Si les pièces de bois ont été visiblement tronçonnées, même si cela a eu lieu après que l'arbre soit naturellement tombé sur place
  - « Depot anthropique repris par crue » : S'il y a des traces de coupes sur le BF et qu'il se trouve dans le lit du cours d'eau probablement transporté lors d'une crue
  - « Depot mixte » : S'il y a plusieurs BF au même endroit ayant des origines différents (exemple : embâcle avec une pièce tombée sur place et d'autres BF transportés par une crue)
  - « Castor » : S'il y a des traces à la base du BF indiquant qu'un castor a sectionné le tronc
  
- « **Longueur par rapport à la largeur du lit** » : Après avoir estimé la largeur moyenne du cours d'eau sur le tronçon (à faire après une reconnaissance préliminaire ou grâce aux connaissances sur le cours d'eau ou après avoir parcouru une distance suffisante, typiquement quelques dizaines de fois la largeur du cours d'eau), estimez ou mesurez la longueur du BF relative par rapport à la largeur du cours d'eau. Si c'est une accumulation, prendre le BF le plus long. Ce facteur est prépondérant dans la stabilité ou mobilité du bois flottants
  - « Court :  $< 1/2 \times \text{largeur}$  »
  - « Moyen :  $0.5-1 \times \text{largeur}$  »
  - « Long :  $1-1.5 \times \text{largeur}$  »
  - « Très long :  $> 1.5 \times \text{largeur}$  »



- « **Diamètre des plus gros** » : Mesurez ou estimez le diamètre maximum sur au moins 1 m du BF (si D>40 cm seulement sur 30 cm puis de diamètre 30 cm, choisir la catégorie « 20-40cm »), si accumulation prendre le BF de diamètre le plus important puis voir dans quelle catégorie il fait partie :
  - o « 10-20 cm »
  - o « 20-40 cm »
  - o « >40cm »

- « **Volume** » : Estimez le volume de bois du BF ou de l'accumulation. Si c'est possible, estimez le volume solide, c'est-à-dire ne pas considérer les vides. Si ce n'est pas possible car l'accumulation est trop volumineuse et comprend trop de pièces par exemple, estimez le volume apparent, c'est-à-dire en considérant également la porosité (les vides). L'important est d'être consistant dans la méthode appliquée pour pouvoir comparer de manière cohérente différents tronçons relevés par des personnes différentes. Si nécessaire, écrire dans quel cas l'utilisation du volume solide est privilégié et dans quel cas le volume apparent est choisi.

Astuces : Afin de se donner une méthode simple pour estimer le volume solide des pièces, nous avons calculé la longueur d'un cylindre nécessaire pour faire 1 m en variant le diamètre.

- 125 ml de branche de diamètre 10 cm sont nécessaire pour obtenir 1m<sup>3</sup> de volume solide;
- 33 ml de branche de diamètre 20 cm sont nécessaire pour obtenir 1m<sup>3</sup> de volume solide;
- 8 ml de branche de diamètre 40 cm sont nécessaire pour obtenir 1 m<sup>3</sup> de volume solide;

Une fois ces ordres de grandeur en tête, dans la mesure où on estime le diamètre des flottant, il est assez rapide de vérifier si la longueur cumulée des pièces relevés est inférieure ou supérieure à ces longueurs types.

- S'il est difficile d'estimer le volume solide, estimer le volume apparent en essayant de faire rentrer dans une « boîte imaginaire » tout le bois, et estimer les dimensions de cette boîte pour estimer le volume.

Puis choisir la catégorie adéquate :

- o « <1 m3 »
- o « 1-5 m3 »
- o « 6-10 m3 »
- o « 11-20 m3 »
- o « >20 m3 »

## C. Comment remplir le formulaire « Releve Verrous Hydrauliques »

~Formulaire à remplir à chaque verrou rencontré~

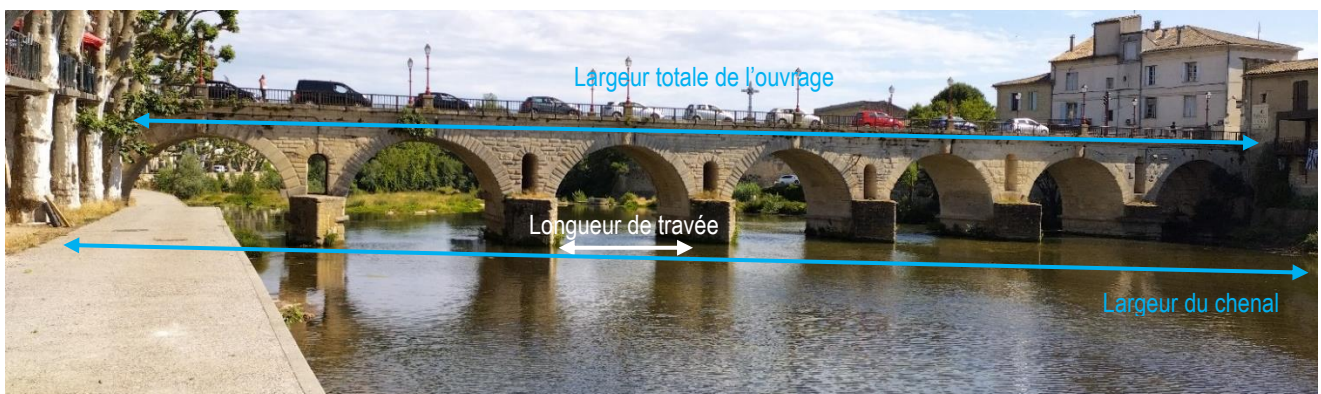
- « **Coordonnées du verrou** » : Cliquez sur *Actualiser la position*, répétez si la précision est trop élevée (au-dessus de 50m par exemple)
- « **Photographie du verrou** » et « **Autre photographie du verrou** » : Prendre une photo du verrou à relever, possibilité de prendre 1, 2 ou 3 photos permet de faire une photo amont, une photo aval et une photo complémentaire
- « **Type de verrou** » : Il s'agit ici de classer le type de verrou rencontré, avant de le définir plus finement dans la ligne suivante
  - o « **Pont** » : Si c'est un ouvrage ayant vocation à être franchi (passage à gué inclus)
  - o « **Seuil/barrage** » : Si c'est un ouvrage ayant vocation à retenir de l'eau ou des sédiments
  - o « **Piège à flottants** » : Si c'est un ouvrage ayant vocation à piéger des flottants (bois ou autres)
- « **Type de pont** » : Cette ligne apparait uniquement si à la ligne « **Type de verrou** : » la réponse était « **Pont** »
  - o « **Pont classique** » : Si c'est un pont sans caractéristiques particulières
  - o « **Pont à passage couvert** » : Si le pont est recouvert par un toit, ces structures ont des rambardes et charpentes généralement plus solides et cela peut avoir un impact sur le blocage des flottants
  - o « **Pont submersible** » : Si le pont à vocation à être submergé lors des crues, son potentiel de piégeage de bois en crue sera donc limitée
  - o « **Dalot** » : Si le verrou relève plutôt de la catégorie des dalots ou buses
  - o « **Passerelle piétonne** » : Si le pont à vocation à faire passer des piétons ou véhicules non motorisés
  - o « **Passage à gué** » : Si la route ou le chemin passe au fond du lit du cours d'eau
  - o « **Pont amovible** » : Si le pont est munis d'un mécanisme permettant de le monter ou de l'abaisser
- « **Type de seuil/barrage** » : Cette ligne apparait uniquement si à la ligne « **Type de verrou** : » la réponse était « **Seuil/barrage** »
  - o « **Barrage** » : l'ouvrage présente une retenue en amont (hauteur de pelle non nulle)

- « *Seuil* » : l'ouvrage est quasiment totalement sédimenté et ne génère qu'un stockage très faible d'eau en amont

**Remarque :** La définition d'un seuil ou d'un barrage semble peu précise, parfois la limite est floue entre les deux types d'ouvrages. Cela n'aura pas d'incidence sur le score du protocole mais seulement sur la visualisation cartographique sous QGIS.

- « *Type de piège à flottants* » : Cette ligne apparaît uniquement si à la ligne « *Type de verrou* : » la réponse était « *Piège à flottants* »
  - « *Ratelier* » : Si l'ouvrage est composé de pieux verticaux ou en biais dans le lit du cours d'eau ou sur les rives, il agit alors comme un peigne
  - « *Filet* » : Si l'ouvrage est composé d'un filet métallique fixé sur chaque berge et permettant de retenir les flottants lors de crue
  - « *Autres* », par exemple une *plage de dépôt*
- « *Présence de piles (ou équivalent)* » : Comptez le nombre de piles de pont présents dans le lit du cours d'eau en plus des culées. Si c'est un seuil/barrage comptez le nombre de structure équivalent à des piles de pont de l'ouvrage
  - « *Aucune pile* »
  - « *Une seule pile* »
  - « *Plusieurs piles* »
- « *Largeur de l'ouvrage (ou de la travée la plus large)* » : Mesurez la largeur de l'ouvrage à l'endroit le moins contraignant pour l'écoulement, c'est-à-dire pour un pont la longueur de la plus grande travée, arche ou buse. Pour les autres types d'ouvrages, considérez la plus grande longueur entre les éléments équivalents à des piles. C'est le facteur principal influençant le piégeage des flottants
  - « *Largeur : 0-2m* »
  - « *Largeur : 3-5m* »
  - « *Largeur : 6-12m* »
  - « *Largeur : 13-20m* »
  - « *Largeur : >20m* »
- « *Contraction locale* » : Indiquez si l'ouvrage contraint l'écoulement ou non, comparez la largeur du cours d'eau en amont et aval de l'ouvrage avec la largeur totale de l'ouvrage (en comptant l'ensemble des travées/arches/buses s'il y a)
  - « *Plus large que le chenal* »
  - « *Même largeur que le chenal* »
  - « *Faible contraction* »
  - « *Forte contraction* »

Exemple :



- « *Largeur de l'ouvrage (ou de la travée la plus large)* » : Ici, la travée est comprise entre 6m et 12m donc la réponse serait « *Largeur : 6-12m* »
- « *Contraction locale* » : Ici, l'ouvrage est de la même largeur que le lit mineur donc la réponse serait « *Même largeur que le chenal* »
- « *Tirant d'air* » : Estimez lorsque pour une crue importante il y a un tirant d'air sous le tablier de l'ouvrage ou si l'ouvrage est submergé. Cet indicateur est évidemment dépendant de la magnitude de la crue et est donc par nature incertain et variable. Il vise surtout à identifier les ouvrages très probablement sous-dimensionnés et donc en charge (ce qui augmente significativement le risque d'accrochage des embâcles au tablier) et, à contrario, les ouvrages probablement assez largement dimensionnés et dont le tirant d'air semble suffisant pour laisser passer un tronçonneau toujours pourvu de quelques moignons de branches. Si l'ouvrage ne peut être mis en charge (seuil libre par exemple), indiquer « *Fort tirant d'air : > 1 m* »

- « *Faible tirant d'air : <1m* » : la configuration du chenal (niveau des berges) et le gabarit de l'ouvrage laisse penser que l'ouvrage n'est pas en charge pour les crues fortes mais la revanche semble faible
  - « *Fort tirant d'air : >1m* » : la configuration du chenal (niveau des berges) et le gabarit de l'ouvrage laisse penser que l'ouvrage a une revanche raisonnable pour les crues fortes
  - « *Ouvrage en charge en crue* » : Si la sous-poutre du pont est probablement submergé
- « *Disposition constructive* » : L'objectif est de renseigner les éléments qui peuvent avoir une influence sur la capacité du pont à retenir les flottants (en augmentant ou réduisant le piégeage)
- « *Aucune* » : cas général, le plus fréquent
  - « *Canalisation en travers de l'écoulement* » : Si une canalisation ou autre élément y ressemblant est en travers de l'écoulement sous le niveau de la sous-poutre (restriction de la section hydraulique) et peut potentiellement favoriser le piégeage de flottants
  - « *Angle par rapport à l'écoulement >30°* » : Si l'ouvrage se trouve en biais d'au moins 30° par rapport à l'axe de l'écoulement, cela favorise le piégeage de flottants
  - « *Structure en treillis* » : Les structures en treillis et poutrelles métalliques présentent de nombreux trous qui favorise la pénétration des flottants qui viennent s'y coincer augmentant significativement le risque de piégeage
  - « *Autre disposition augmentant l'accrochage* »
  - « *Défecteur sur pile de pont* » : Si un aménagement (un pieu, un voile béton, une structure bois) situé directement en amont des piles de pont est en mesure de dévier les flottants ou de stocker ces derniers, épargnant ainsi la pile du pont. L'efficacité dans la réduction du taux piégeage de ce type d'aménagement est encore débattu, par contre il permet de déporter l'accumulation ainsi que la zone d'affouillement associée plus en amont de l'ouvrage, la rendant aussi éventuellement plus accessible que sous le tablier
  - « *Carénage* » : Si l'ouvrage présente un tablier arrondi de telle sorte qu'il retient moins les flottants et ne présente pas de trou ou d'orifice propice au blocage des flottants
  - « *Rambardes amovibles* » : Si les rambardes peuvent se coucher, cela réduit le risque de piégeage de flottants

## D. Remplir le formulaire « Relevé Enjeux Potentiellement Vulnérables »

~Ce formulaire est à remplir lorsqu'un enjeu potentiellement vulnérable est rencontré pendant le parcours du cours d'eau ou qu'un enjeu potentiel a été diagnostiqué dans une étape de préparation préliminaire. Si les enjeux sont clairement hors d'atteinte des eaux ou si la majorité du cours d'eau est sujet à des enjeux, ne pas relever ces enjeux avec le formulaire car ce serait trop chronophage et le formulaire perdrait de son intérêt. Le but de ce formulaire est seulement d'aider à noter le volet E du protocole (voir §Annexe C)~

- « *Coordonnées de l'enjeu* » : Cliquez sur *Actualiser la position*, répétez si la précision est trop élevée (au-dessus de 50m par exemple)
- « *Photographie de l'enjeu* » et « *Autre photographie de l'enjeu* » : Prendre une photo illustrant la configuration et la caractéristique à relever, possibilité de prendre 1, 2 ou 3 photos
- « *Type* » : Définition du niveau d'enjeu (de faible à fort), choisir le type concerné
  - « *Pas urbanisé ; pas d'enjeux forts : chemin de randonnée ou forestier, zone naturelle, prairie, chemin agricole* »
  - « *Peu urbanisé ; enjeux modérés : zone agricole, route secondaire, bâtiments isolés, infrastructure locale (camping, golf, étang,...)* »
  - « *Zone urbaine proche ; enjeux forts : route principale, voie ferrée, hameau, zone d'activité, ouvrage divers (canalisation, pylône, step,...)* »
- « *Vulnérabilité* » : L'objectif est de définir si l'enjeu est fortement ou peu vulnérable. En cas de manque de connaissance sur la ligne d'eau de la crue de référence, s'appuyer sur ses connaissances du cours d'eau et du site, questionner les propriétaires des enjeux, chercher des traces morphologiques
  - « *Exposé* » : Si la côte de l'enjeu est probablement sous la ligne d'eau de la crue de référence ou si les érosions peuvent atteindre l'enjeu
  - « *Perché* » : Si la côte de l'enjeu est vraisemblablement au-dessus de la ligne d'eau de la crue de référence et si l'enjeu est hors de portée des érosions éventuelles
- « *Protection* » : L'objectif est de préciser un peu plus la vulnérabilité de l'enjeu en fonction des protections éventuellement présentes

- « *Aucune* »
- « *Digue* » : Si une digue protège l'enjeu
- « *Protection de berge* » : Si une protection de berge protège l'enjeu d'érosions (génie civil ou végétal)
- « *Digue et protection de berge* » : Si l'enjeu est protégé à la fois par une digue et une protection de berge

## E. Comment remplir le formulaire « Protocole de gestion du bois flottants »

~Formulaire à remplir une seule fois par tronçon, après l'avoir parcouru d'un bout à l'autre. A remplir principalement dans le but d'appliquer le protocole de diagnostic du bois flottants ensuite, peut néanmoins être utile pour répertorier certaines données~

- « *Quel est le numéro de tronçon ?* » : Après avoir préalablement découpez le cours d'eau en tronçons homogènes, renseigner le numéro de tronçon concerné
- « *Quel est la position du tronçon ?* » : cliquez sur *Actualiser la position*, répétez si la précision est trop élevée (au-dessus de 50m par exemple). Cette localisation GPS est moins importante que pour les autres formulaires car ces derniers renseignent des caractéristiques locales tandis que celui-ci relève celles d'un tronçon. Cette localisation GPS est surtout une sécurité pour pouvoir réattribuer aisément les caractéristiques relevées au bon tronçon si le numéro du tronçon noté au champ précédent est douteux ou erroné
- « *Quel est la largeur du cours d'eau ?* » : Après avoir parcouru le tronçon, définir une largeur du cours d'eau moyenne du tronçon et sélectionner la fourchette de valeur résultante
- « *(aqua) Effet retrait du bois mort (BM) : présence d'habitats alternatifs* » : Cet indicateur évalue si le cours d'eau comporte sans le bois flottant beaucoup d'habitats aquatiques ou non. Si le faciès du cours d'eau est très diversifié sans la présence de bois, le retrait de BF aura moins d'impact que sur un cours d'eau présentant peu d'habitats. Lors du parcours du tronçon, observez les habitats aquatiques présents tels que ceux listés dans les réponses, puis renseignez la réponse la plus adéquate en fin de tronçon
  - « *De nombreux éléments présents sur le tronçon fournissent le même type d'habitats (blocs, bancs, îles, radiers, mouilles)* »
  - « *Qlq autres éléments de diversification du faciès sont présents le tronçon (blocs, bancs, îles, radiers, mouilles)* »
  - « *Peu d'autres éléments sur le tronçon diversifient les faciès (blocs, bancs, îles, radiers, mouilles)* »
- « *(terre) Effet retrait du bois mort (BM) : présence d'habitats alternatifs* » : Cet indicateur évalue si le cours d'eau comporte sans le bois flottant beaucoup d'habitats terrestres ou non. Si de nombreux bois morts sont présents hors de portée des eaux, on peut supposer que le retrait des bois flottants aura moins d'impact que s'il y a très peu de bois morts dans les environs. Lors du parcours du tronçon, observez le nombre de bois mort de plus de 20cm de diamètre et de plus de 40cm de diamètre situés sur les rives, hors d'atteinte des eaux, puis renseignez la réponse la plus adéquate
  - « *De nombreux bois mort hors de portée des eaux : 8 <[D\_BF >40cm] sur 500ml* »
  - « *Présence modérée de bois mort hors de portée des eaux : [20cm <D\_BF <40cm] >5 ou 5 <[D\_BF >40cm] <8 sur 500ml* »
  - « *Présence limitée de bois mort hors de portée des eaux : [20cm <D\_BF <40cm] <5 et [D\_BF >40cm] <5 sur 500ml* »
- « *Potentiel à être immobilisé par les arbres sur les berges* » : Les arbres sur les berges ou en lit majeur jouent un rôle majeur sur la mobilité des bois flottant. Une rivière très sinueuse peuplée de taillis et de futaies en lit majeur pourra stocker une grande quantité de bois flottant lors des crues, contrairement à une rivière rectiligne, encaissée et présentant une végétation uniquement herbacée en rive. De nombreux paramètres influencent la probabilité de piégeage naturel par les arbres (voir image ci-dessous), mais nous avons sélectionné trois facteurs évaluables sur le terrain qui nous paraissaient prépondérant : le pourcentage de linéaire végétalisé ; le type de végétation rivulaire ; la largeur végétalisée. Sélectionnez la réponse qui représente le mieux le tronçon

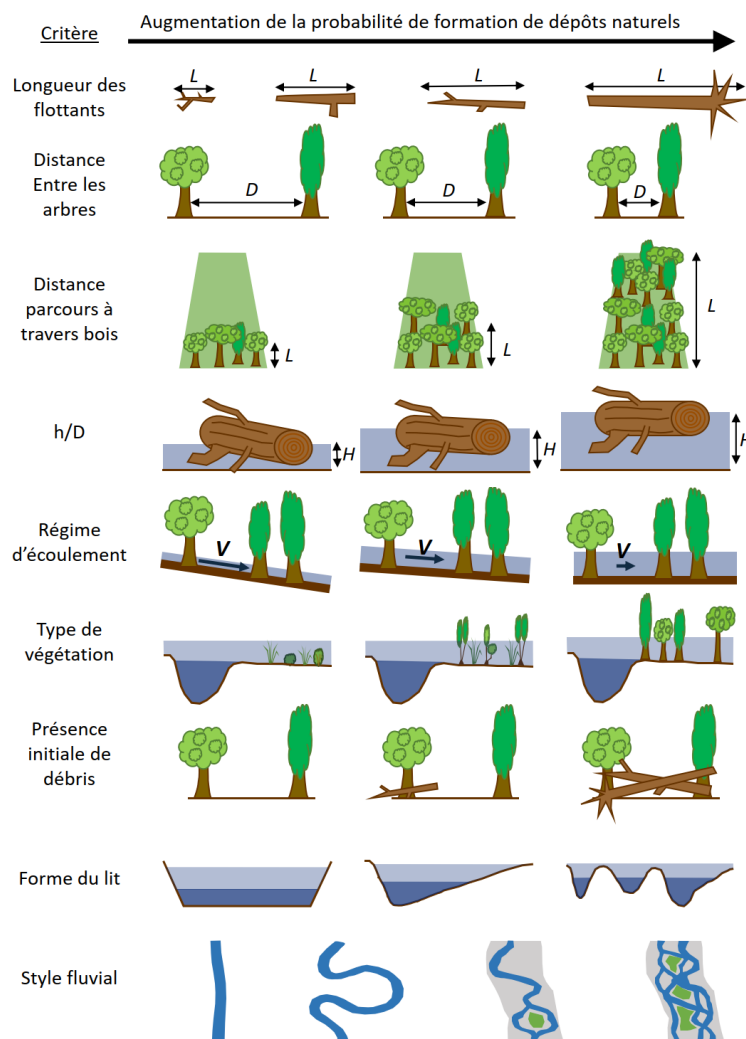


Figure 22 : Schéma des principaux facteurs influençant le piégeage des BF par la végétation

- « Lit majeur boisé sur <33% du linéaire ou faible potentiel de piégeage des peuplements (1 rangée d'arbres, taillis peu denses ou végétation herbacée) »
  - « Lit maj. boisé sur 33-90% du linéaire ou lit majeur boisé étroit (<2 largeurs de chenal pour rivière à chenal unique, <1 largeur pour divaguant/tresse) »
  - « Lit maj. boisé sur >90% du linéaire ou large (>2 largeurs de chenal pour rivière à chenal unique, >1 largeur pour divaguant/tresse), taillis ou futaie »
- « **Erosion/affouillement imprévue de la berge adjacente ou opposée associée au bois flottant** » : Lorsque les bois flottant forment une accumulation, ils peuvent dévier l'écoulement ou le concentrer et augmenter ainsi sa capacité à éroder les berges ou le fond du lit. Cela peut accroître les risques pour les enjeux alentours en déstabilisant les berges ou les ouvrages présents. Lors du parcours du tronçon, soyez attentif à toutes érosions qui pourraient être causées par une accumulations de bois, puis évaluez le risque que cela peut engendrer : si une érosion survient sur une portion éloignée de tout enjeu, le risque crée est minime et s'il s'agit de la seule trace d'érosion on peut considérer que le bois flottant influence peu les érosions
- « BF influence peu les érosions ; majoritairement en berge/lit majeur ou complètement mobile ; cours d'eau très large ; berges peu érodables » : Si les bois flottants sont majoritairement non immergés (en berge/lit majeur), si la végétation a un système racinaire important et si les berges sont de natures cohésives (limons, limons sableux ou argiles)
  - « BF influence marginalement les écoulements ; berges relativement érodables (présence de végétation légère, ...) » : Si situation intermédiaire
  - « BF forme obstacle et détourne les écoulements ; nature des berges érodables (peu de végétations, matériaux peu cohésifs, ...) » : Si les bois flottants sont principalement en lit mineur, si peu de système racinaire développé et si les berges sont de nature peu cohésives (cailloux, graviers, sables grossiers)

- « **Dépôts locaux associés au BM aggravant les inondations/dommages aux infrastructures** » : En obstruant une partie du cours d'eau, les bois flottants peuvent jouer un rôle de barrage en empêchant les sédiments de transiter ou en créant des zones de faibles vitesses qui favorisent le dépôt de sédiments. Cela peut provoquer une rehausse du fond pouvant augmenter les inondations voir créer un chenal secondaire à travers des enjeux. Lors du parcours du tronçon, soyez attentif à toutes aggragations qui pourraient être causées par une accumulations de bois, puis évaluez le risque que cela peut engendrer
  - o « *Influence géomorphologique de l'embâcle très limitée* » : les accumulations de bois flottant n'influencent que leur voisinage direct, au-delà de leur extension et de quelques mètres, on ne distingue plus leur influence sur l'intensité et la distribution des érosions et des dépôts
  - o « *Influence géomorphologique de l'embâcle localisée* » : on observe localement une certaine influence de certains embâcles, par exemple sous la forme d'anse d'érosion dans les berges là où les écoulements sont détournés par l'embâcle ou via la formation de bancs de graviers un peu plus épais
  - o « *Modifications géomorphologiques majeures associées à la présence de l'embâcle (réhausse des fonds par effet barrage,...)* » : l'intensité des changements morphologiques associés aux embâcles est forte, la zone d'influence s'étend sur plusieurs fois la largeur du chenal
  
- « **Potentiel naturel de dynamique favorable au dépôts et piégeage des flottants** » : La géomorphologie du cours d'eau est un facteur pouvant favoriser le piégeage naturel de bois flottant. La présence de gros blocs, de bancs ou au contraire de canyon très étroit permet aux cours d'eau de stopper les bois flottants transportés et de les stocker. En parcourant le tronçon, observez s'il y a présence de telles zones de dépôts naturelles dues à la géomorphologie du cours d'eau
  - o « *Pas de zone de dépôt* »
  - o « *Quelques zones de dépôts* »
  - o « *De nombreuses zones de dépôt/piégeage naturelle* »
  
- « **Autres changements géomorphologiques indésirables** » : La présence de bois flottant peut avoir d'autres effets géomorphologiques indésirables tels que créer une rupture de la continuité sédimentaire en cas de forte obstruction ou colmater le lit et réduire les échanges nappe-rivière. En parcourant le tronçon, observez s'il y a présence de ces phénomènes indésirables éventuellement causés par du bois mort
  - o « *Absence d'effet morphologique indésirable* » :
  - o « *Situation intermédiaire* » :
  - o « *Colmatage du lit par des sédiments fins ; rupture de la continuité sédimentaire générant une altération du milieu aval* »
  
- « **Remarques sur le tronçon** : » : Ajoutez ici toutes remarques concernant le tronçon parcouru, notamment la largeur de référence précise du cours d'eau que vous avez choisi pour remplir les autres formulaires (ex : la longueur relative des bois flottant dans le formulaire « [Releve Bois Flottants Rivière](#) »), tous commentaires peut être utiles pour avoir une trace écrite qui peut être soit transmise en cas de départ d'un des praticien, soit pour comparer entre deux relevés des informations qui n'auraient pas été prises en compte dans les différents formulaires.

**Rappel** : Il est nécessaire de synchroniser le smartphone pour envoyer les données vers le serveur en ligne. Pour cela sur l'application du smartphone Epicollect5, cliquez sur chaque formulaire puis cliquez sur « *Envoyer maintenant* ».

# Annexe C. Importer et interpréter les relevés de terrain pour assigner des scores aux sous-critères

## A. Préambule

Il est nécessaire avant toute chose de synchroniser le smartphone pour envoyer les données vers le serveur en ligne. Pour cela sur l'application du smartphone Epicollect5, cliquez sur chaque formulaire puis cliquez sur « *Envoyer maintenant* ». Ensuite, il est nécessaire d'ouvrir le fichier « 3ResultatsProtocole\_epicollecte.xlsx »<sup>2</sup> pour pouvoir y remplir les scores de chaque critère.

**Important : l'heure des relevés de terrain indiquée sur l'application smartphone n'est pas la même heure que celle indiquée dans les couches QGIS dans le champ « created\_at » :**

L'heure indiquée sur le smartphone est la vraie heure à laquelle a été fait le relevé. L'heure sur QGIS correspond à l'heure universelle (UTC). Il peut y avoir +1h ou +2h sur l'heure indiquée sur le smartphone, selon si l'on est en heure d'hiver ou d'été (l'heure universelle ne varie pas entre les deux saisons).

Enfin, la version de QGIS utilisé dans cette étape est la version 3.22.

## B. Visualisation cartographiques des résultats sous Epicollect5

La plateforme internet Epicollect5 (<https://five.epicollect.net/>) offre une visualisation cartographique intéressante qui permet de voir la distribution pour chaque information relevé. Pour se connecter, cliquer sur l'onglet « Login » et entrer une adresse mail pour recevoir le lien de connexion dans la boîte mail.

Dans l'exemple ci dessous : Dans Epicollect5 → Find Project → Search → taper « Releve Bois Flottants Riviere » → View → View Data → onglet Map → onglet avec 3 barres horizontales, Pick Question = Longueur par rapport à la largeur du lit.

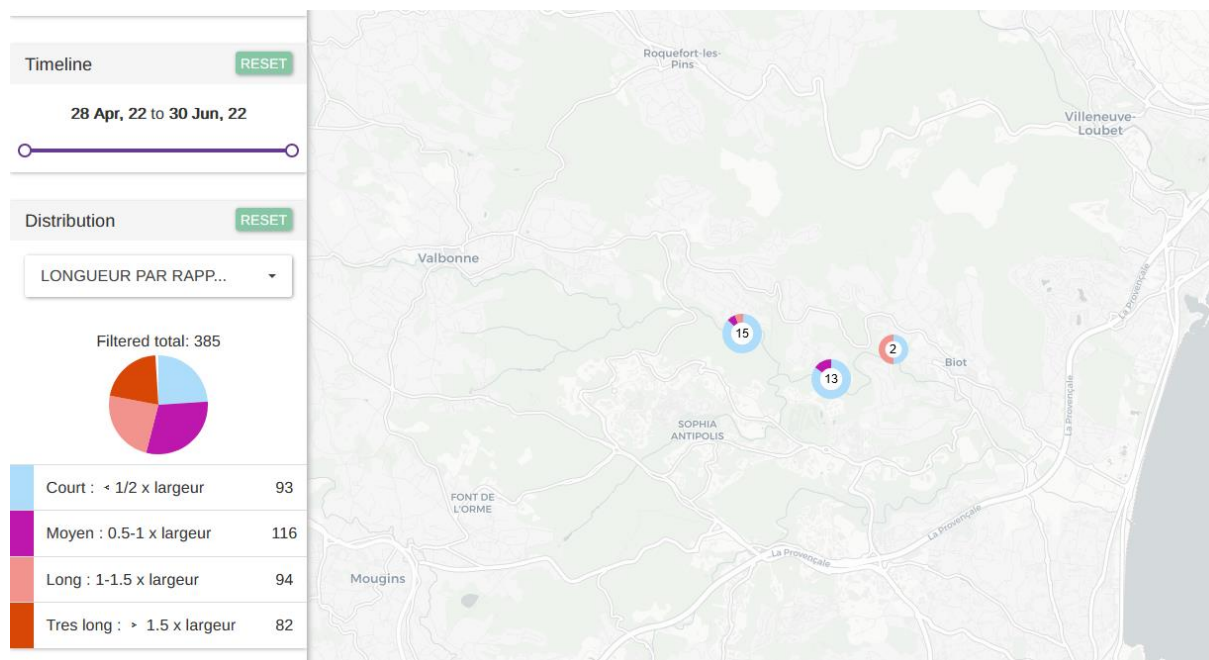


Figure 23 : Distribution des longueurs des bois flottants sur la Brague (06) sur la plateforme Epicollect5

Cependant, les fonctionnalités de l'interface sont limitées. Pour une analyse des résultats plus efficace il est nécessaire de visualiser les données sous un Système d'Information Géographique (SIG) tel que QGIS.

<sup>2</sup> Téléchargeable au lien suivant : <https://doi.org/10.57745/R1NIKK>

## C. Export des fichiers .csv depuis le site Epicollect5 (<https://five.epicollect.net/>)

Après s'être connecté sur le site Epicollect5 à l'aide d'une adresse mail,

- Onglet « Find Project » → écrire dans la barre de recherche le projet voulu : releve verrous hydrauliques, releve bois flottants rivière, ... et cliquer sur « View » → « View Data » → « Download » → vérifier que la sortie « Sortie » est bien sélectionné et choisir l'intervalle de temps à exporter voulu dans « Timeframe » → « Download ». Ce dernier point permet d'exporter seulement les levés qui concerne l'utilisateur sur la période souhaitée.

**Attention** : tous les relevés réalisés par les utilisateurs se trouvent sur cette plateforme, il faut donc télécharger uniquement les relevés qui intéresse l'utilisateur. Pour cela, trier ou sélectionner les relevés en fonction de la date par exemple (Download → Timeframe = Custom → choisir la période voulu).

- Copié-collé les fichiers .csv dans le dossier « GIS\_Analyse »<sup>3</sup> préalablement téléchargé et renommer le dossier (par exemple : GIS\_Analyse\_Brague, la date de relevé peut-être indiquée également)

## D. Création des Shapefiles à partir des fichiers .csv

~Afin de pouvoir visualiser les données relevées sur le terrain sur QGIS, il est nécessaire de convertir les fichiers .csv exportés depuis Epicollect5 en shapefiles~

- Ouvrir le projet QGIS « 2export\_csv\_vers\_shp.qgz » dans le dossier « GIS\_Analyse »
  - Normalement les relevés devraient apparaître en faisant : clic droit sur une des couches (par exemple « form-1\_\_releve-bois-flottants ») → Zoom sur la(les) couche(s). Si non, réaliser les étapes suivantes :
    - Cliquez sur « Couche » dans le panneau → « Ajouter une couche » → « Ajouter une couche de texte délimité.. »
    - Ouvrir chaque fichier .csv via l'onglet « ... » entouré en rouge ci-dessus, s'assurer que l'encodage est bien en UTF-8, modifier le champ X en « long\_1\_Coordonnees » et le champ Y en « lat\_1\_Coordonnees » puis « Ajouter », et laisser le SCR de la géométrie en ESPG 4326
    - Fusionner les couches entre elles s'il y a plusieurs fichiers .csv d'un même type (par exemple, s'il a été voulu d'exporter deux plages de données discontinues : 1-15 Juin et 20-25 Juin et non les données du 15-20 Juin) : dans la barre d'outils Cliquez sur « Vecteur » → « Outils de gestion de données » → « Fusionner des couches vecteurs »

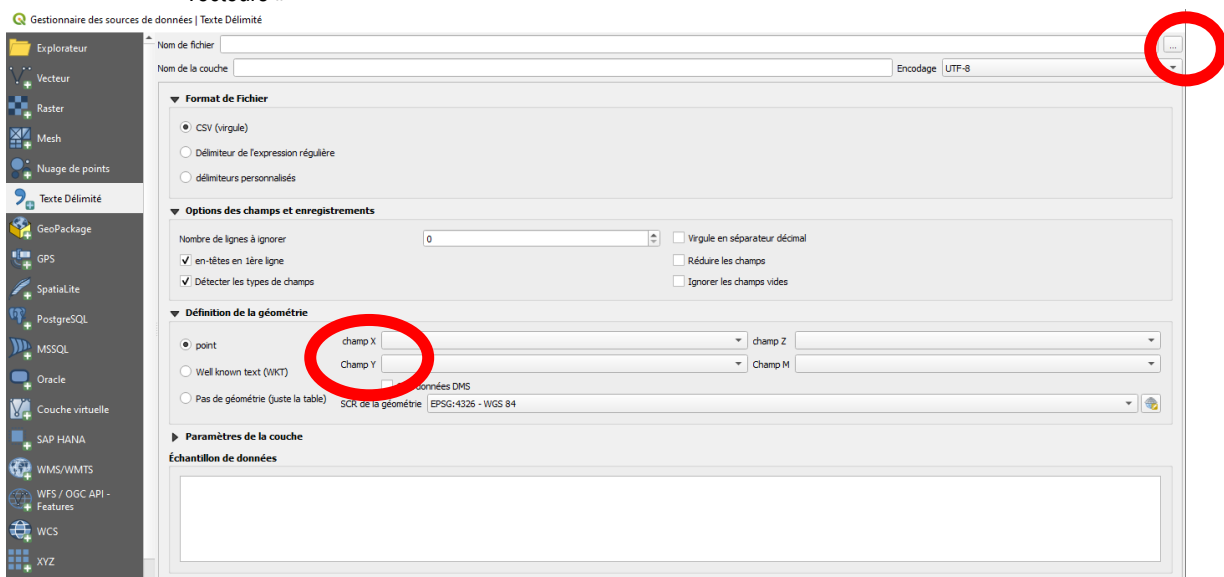


Figure 24 : Capture d'écran QGIS pour la création de Shapefiles à partir de fichier .csv

<sup>3</sup> Téléchargeable au lien suivant : <https://doi.org/10.57745/R1NIKK>

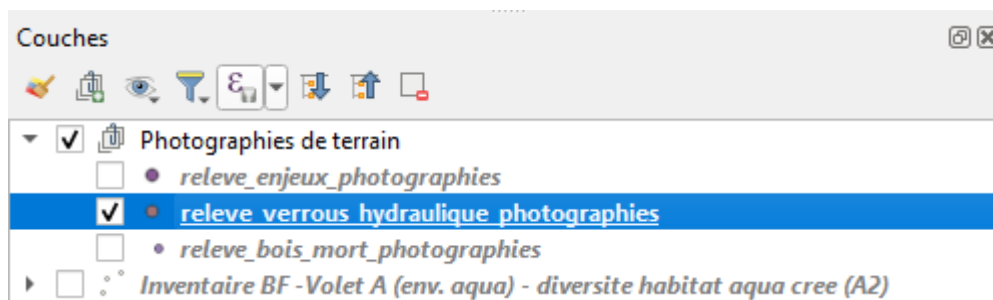


Pour pouvoir exploiter ces données par la suite :

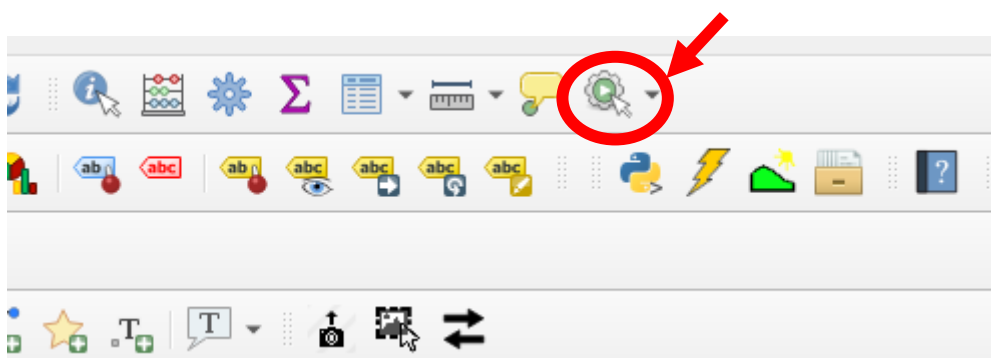
- Exporter les couches en **reprojetant** et en écrasant les fichiers existants dans le dossier: clic droit → Exporter → «Sauvegarder les entités sous..» → Enregistrer dans le dossier voulu en écrasant les fichiers existants (releve-bois-flottants.shp ; releve-enjeux.shp ; releve-verrous-hydrauliques.shp), **mettre le SCR en Lambert 93 (code EPSG 2154)**, cela permet de reprojeter les couches dans le bon référentiel, c'est très important pour pouvoir réaliser des opérations entre ces différentes couches et d'autres couches éventuelles.

## E. Analyses des données, remplissage des scores du formulaire

- Ouvrir le projet QGIS « Projet\_analyse\_donnees\_terrain.qgz » du dossier « GIS\_Analyse »
- Ouvrir le fichier Excel de remplissage des scores « 3ResultatsProtocole\_epicollecte.xlsx » dans le même dossier
- Aller dans la feuille « Sortie epicollect » → Dans la barre d'outils allez dans « Données » → « Fichier texte » et ouvrir le fichier .csv « form-1-Protocole-gestion-bois-flottants.csv » (ou comme il a été renommé) → « Délimité » → séparateur « virgule ». Vérifiez que certains critères sont automatiquement remplis dans la première fenêtre « Scores »
- Pour remplir les autres critères, regarder le score que vous voulez noter dans la feuille « Scores » de « 3ResultatsProtocole\_epicollecte.xlsx » et cochez la couche associée dans QGIS pour afficher les caractéristiques permettant de noter le critère voulu
- **Utile** → Pour visualiser sur QGIS les photos prises avec les formulaires sur le terrain :
  - Vérifiez que l'outil est bien affiché : clic droit sur la barre d'outils → vérifiez que la case « Attributs » est bien cochée
  - Cochez le groupe « Photographies de terrain » et la couche voulu (enjeux, verrous ou bois flottants), puis sélectionnez la couche en question



- Cliquez sur la flèche déroulante et sélectionnez la photo voulu (quand plusieurs photos ont été prises pour un même relevé)



- Cliquez sur le point associé au relevé dont vous voulez afficher la photo

## F. Remplissage des scores dans le fichier « 3ResultatsProtocole\_epicollecte.xlsx »

Remarque : 1) Des scores intermédiaires entre 1, 2 et 3 peuvent être donnés si l'utilisateur estime qu'il se situe dans un cas intermédiaire, par exemple de 1,5 et 2,5 ; 2) S'aider des critères d'évaluation présent dans le fichier « 3ResultatsProtocole\_epicollecte.xlsx »

a) Volet A

- **Ligne A1 : Présence d'habitats alternatifs dans le lit mineur :** Cet indicateur évalue si le cours d'eau comporte sans le bois flottant beaucoup d'habitats ou non. Si le faciès du cours d'eau est très diversifié sans la présence de bois, le retrait de BF aura moins d'impact que sur un cours d'eau présentant peu d'habitats.

Ligne A1 : Présence d'habitats alternatifs dans le lit mineur			
Score	1	2	3
	De nombreux éléments présents sur le tronçon fournissent le même type d'habitats (blocs, bancs, îles, radiers, mouilles) ; pas d'espèces clés dépendante de ce BF	Quelques autres éléments de diversification du faciès sont présents le tronçon (blocs, bancs, îles, radiers, mouilles) ; des espèces clés utilisent ce BF sans être dépendant	Peu d'autres éléments sur le tronçon diversifient les faciès (blocs, bancs, îles, radiers, mouilles) ; des espèces clés dépendent de ce BF

Score donné dans le formulaire Epicollect5 « Protocole de gestion du bois flottants » (voir le document « 1méthodologie relevés sur le terrain »).

- **A2 :** Ce critère caractérise les habitats physiques aquatiques (caches, mouilles, etc.) créent par le bois flottant sur le tronçon, il se base sur le nombre de fois où le bois crée des habitats très diversifiés par 500 mètres linéaires.

Ligne A2 : Contributions du BF à créer divers habitats aquatiques			
Score	1	2	3
	Peu d'autres BF qui créent des habitats sur le tronçon (<1 BF créant plusieurs habitats / 500 ml)	Quelques d'autres BF qui créent des habitats sur le tronçon (1-3 BF créant plusieurs habitats / 500 ml)	De nombreux autres BF qui créent des habitats variés sur le tronçon (>3 BF créant plusieurs habitats / 500 ml)

Sur QGIS cochez la couche correspondante,

- Si De nombreux autres BF qui créent des habitats variés sur le tronçon (>3 BF créant plusieurs habitats / 500 ml) → donner un score de 3
  - Si quelques d'autres BF qui créent des habitats sur le tronçon (1-3 BF créant plusieurs habitats / 500 ml) → score 2
  - Peu d'autres BF qui créent des habitats sur le tronçon (<1 BF créant plusieurs habitats / 500 ml) → score de 1
- **A3 :** Outre l'intérêt qu'à le bois de créer des habitats physiques (caches, mouilles, etc.), il permet le développement d'algues (phytoplancton) et est source de nourriture pour les invertébrés. La disposition du bois dans le lit est un facteur majeur pour la présence de ces espèces, c'est ce paramètre qui est évalué dans ce critère.

Ligne A3 : Disponibilité du BF pour les espèces aquatiques et benthiques			
Score	1	2	3
	BF majoritairement non immergé	BF majoritairement immergé et non intégré dans le chenal (ne touche pas le fond du lit)	BF en grande partie (> 50%) immergé et intégré dans le chenal (touche le fond du lit)

Sur Epicollect5 Map, regarder pour chaque tronçon les proportions de BF non immergé, immergé et non intégré et immergé et intégré : Si 50% ou plus pour une de ces 3 valeurs → lui donner un score élevé

- **A4 :** Plus l'habitat crée par le bois est stable, plus il a de chance de durer dans le temps et d'être ainsi un habitat durable pour les différentes espèces aquatiques. Le retrait de ces habitats durables est donc plus dommageable pour la biodiversité que le retrait d'habitats peu stables. Il faut néanmoins garder à l'esprit qu'une accumulation de BF peut être stable de manière dynamique : des pièces de bois précédemment déposées peuvent régulièrement être évacuées pendant que de nouvelles pièces de bois viennent reconstituer le dépôt, ce qui préserve l'accumulation et les habitats associés.

**Ligne A4 : Persistance dans le temps de l'habitat engendré par la présence de BF**

Score	1	2	3
	BF très mobile : pas de branches ou racines; BF isolé; L_BF petit devant largeur cours d'eau;...	BF pas très mobile ; peu de branches/racines; L_BF proche de largeur cours d'eau;...	BF très peu mobile ; bcp de branches/racines; plusieurs BF entrelacés; L_BF > largeur cours d'eau;...

Sur QGIS cochez la couche correspondante, on s'intéresse aux longueurs pour la stabilité et aux origines des bois flottants afin de comprendre le dynamisme du bois dans le tronçon :

- Si principalement des BF long/très long → score 3. *En effet, la longueur relative par rapport à la largeur du cours d'eau est le facteur prépondérant concernant la stabilité du BF*
- Situation intermédiaire → score 2.
- Si principalement des BF court/moyen → score 1

**Remarque :** L'origine des BF (dépôts de crue, bois tombé sur place, autres) n'est pas prise en compte dans la notation du critère A4 mais est très intéressant pour comprendre la dynamique du bois sur le tronçon et suivre l'évolution des BF en comparant plusieurs relevés sur le même site (à t=0 et t=2ans par exemple).

**b) Volet B**

- **B1 :** *Cet indicateur évalue si les rives du cours d'eau hors de portées des crues comportent beaucoup de bois morts. Si c'est le cas, le retrait des BF en berges ou en rives mobilisables par les crues aura moins d'impact que s'il y a très peu de bois morts hors de portée des eaux.*

**Ligne B1 : Présence d'habitats alternatifs hors de portée des eaux**

Score	1	2	3
	De nombreux bois mort hors de portée des eaux : $8 < [D\_BF > 40\text{cm}]$ sur 500ml	Présence modérée de bois mort hors de portée des eaux : $[20\text{cm} < D\_BF < 40\text{cm}] > 5$ ou $5 < [D\_BF > 40\text{cm}] < 8$ sur 500ml	Présence limitée de bois mort hors de portée des eaux : $[20\text{cm} < D\_BF < 40\text{cm}] < 5$ et $[D\_BF > 40\text{cm}] < 5$ sur 500ml

Score donné dans le formulaire Epicollect5 « Protocole de gestion du bois flottants » (voir le document « 1 méthodologie relevés sur le terrain »). Compter approximativement le nombre de bois morts de 20-40cm de diamètre et de >40cm de diamètre hors de portée des eaux. En fonction du nombre obtenu, donner le score associé.

- **B2 :** *Ce critère caractérise la diversité d'habitats physiques terrestres créent par le bois flottant sur le tronçon. Plus les habitats créent seront diversifiés, plus le retrait des BF aura un impact important pour la biodiversité terrestre des abords du cours d'eau. Le contact hétérogène du bois avec le sol va induire une décomposition de celui-ci variée, ce qui va attirer des espèces différentes.*

**Ligne B2 : Contributions du BF à créer divers habitats terrestres**

Score	1	2	3
	Peu d'autres BF qui créent des habitats sur le tronçon (<1 BF créant plusieurs habitats / 500 ml)	Quelques d'autres BF qui créent des habitats sur le tronçon (1-3 BF créant plusieurs habitats / 500 ml)	De nombreux autres BF qui créent des habitats variés sur le tronçon (>3 BF créant plusieurs habitats / 500 ml)

Sur QGIS cochez la couche correspondante,

- Si de nombreux autres BF qui créent des habitats variés sur le tronçon (>3 BF créant plusieurs habitats / 500 ml) → donner un score de 3
- Si quelques d'autres BF qui créent des habitats sur le tronçon (1-3 BF créant plusieurs habitats / 500 ml) → score 2
- Peu d'autres BF qui créent des habitats sur le tronçon (<1 BF créant plusieurs habitats / 500 ml) → score de 1

- **B3 :** *Le diamètre est un facteur prépondérant pour évaluer la qualité des habitats créent par les BF, et particulièrement ceux ayant un très gros diamètre (>40cm) qui sont très intéressants pour la biodiversité rivulaire.*

**Ligne B3 : Qualité de l'habitat associé à la présence du BF**

Score	1	2	3
	Présence limitée de bois en berge et lit majeur $[20\text{cm} < D\_BF < 40\text{cm}] < 5$ et $[D\_BF > 40\text{cm}] < 5$ sur 500ml	Présence modérée de bois en berge et lit majeur $20\text{cm} < D\_BF < 20\text{cm}] > 5$ ou $5 < [D\_BF > 40\text{cm}] < 8$ sur 500ml	De nombreux bois en berge et lit majeur $8 < [D\_BF > 40\text{cm}]$ sur 500ml

Sur QGIS cochez la couche correspondante, et donner le score associé en fonction du nombre de gros bois ou bois moyen par 500 ml.

- **B4** : Comme pour les habitats aquatiques, plus l'habitat terrestre crée par le bois est stable, plus il a de chance de durer dans le temps et d'être ainsi un habitat durable pour les différentes espèces terrestres. Le retrait de ces habitats durables est donc plus dommageable pour la biodiversité que le retrait d'habitats peu stables.

#### Ligne B4 : Persistance dans le temps de l'habitat engendré par la présence de BF

Score	1	2	3
	BF très mobile : pas de branches ou racines; BF isolé; proche lit mineur; longueur BF petit devant largeur cours d'eau; pas d'arbres pouvant piéger le BF sur sa trajectoire...	BF pas très mobile : moyennement proche du lit mineur ; peu de branches/racines; LBF proche de largeur cours d'eau;...	BF très peu mobile : éloigné du lit mineur ; beaucoup de branches/racines; plusieurs BF entrelacés; LBF > largeur cours d'eau; arbres présents pouvant bloquer le BF sur sa trajectoire...

Sur QGIS cochez la couche correspondante, on s'intéresse aux longueurs des bois flottants :

- Si principalement des BF long/très long → score 3. *En effet, la longueur relative par rapport à la largeur du cours d'eau est le facteur prépondérant concernant la stabilité du BF*
- Situation intermédiaire → score 2
- Si principalement des BF court/moyen → score 1

**Remarque** : S'il y a très peu d'eau dans le cours d'eau et que les BF dans le lit mineur sont principalement non immergés, il est conseillé de considérer aussi ces BF dans le critère « B4 »: cochez donc la couche « A4 » dans QGIS et considérez l'ensemble des BF pour évaluer « B4 ».

#### c) Volet C

- **C1** : Les principaux dommages que peut créer les BF avec la formation d'embâcle sont la rehausse du niveau d'eau en crue et donc l'aggravation des inondations, les érosions et affouillements qui peuvent déstabiliser les berges ou infrastructures, et la déviation du cours d'eau vers un bras secondaire. Ces impacts peuvent être peu ou très dommageables en fonction des enjeux présent sur le tronçon.

#### Ligne C1 : Présence d'enjeux en lit majeur au droit du tronçon

Score	1	2	3
	Lit majeur aux alentours de l'embâcle pas urbanisé et pas d'enjeux forts : chemin de randonnée ou forestier, zone naturelle, prairie, peupleraies et autres plantations, chemin agricole	Lit majeur aux alentours de l'embâcle faiblement urbanisé avec peu d'enjeux importants : zone agricole, route secondaire, bâtiments isolés, infrastructure locale (camping, golf, étang,...)	Zone urbaine très proche du cours d'eau au niveau de l'embâcle ; enjeux forts : route principale, voie ferrée, hameau/village, zone d'activité, ouvrage divers (canalisation, pylône, station d'épuration,...)

Sur QGIS cochez la couche correspondante, on s'intéresse aux enjeux relevés dans le formulaire Epicollect5 « Enjeux potentiellement vulnérables » dans le tronçon en question ou bien à tous autres enjeux connus par le praticien ou par analyse SIG :

- Si présence d'un enjeu fort exposé (un seul est suffisant) → score 3
- Si présence d'un enjeu modéré exposé (un seul est suffisant) → score 2
- Si présence d'un enjeu faible exposé ou pas d'enjeu exposé (un seul est suffisant) → score 1

**Astuce** : Ce critère a un poids relatif très fort. Il peut être utile d'utiliser des scores intermédiaires comme 1.5 ou 2.5 pour mieux distinguer des enjeux d'importance différentes.

- **C2** : L'obstruction localisée de la section d'écoulement par l'embâcle définit son impact sur l'hydraulique et la géomorphologie du cours d'eau. Un seul embâcle obstruant une grande partie du chenal pourra avoir des impacts très importants sur les enjeux alentours.

#### Ligne C2 : Obstructions localisées de la section d'écoulement

Score	1	2	3
	Au droit des embâcles les plus contraignant, obstruction <10% de la section d'écoulement lors des crues	Au droit des embâcles les plus contraignant, obstruction 10-40% de la section d'écoulement lors des crues	Au droit des embâcles les plus contraignant, obstruction >40% de la section d'écoulement lors des crues

Sur QGIS cochez la couche correspondante, en s'intéressant principalement aux BF de plus de 1m<sup>3</sup> (c'est souvent dans ces cas-là qu'il y a le plus d'obstructions), s'aider de la couche « releve\_bois\_mort\_photographies » (voir §B et §D de cette section) pour revoir les photos des obstructions les plus marquées sur le tronçon et ainsi attribuer le score associé

- **C3** : La somme de plusieurs BF ou embâcles à l'échelle d'un tronçon peut également avoir une influence sur la rugosité moyenne du cours d'eau, ce qui a un impact direct sur le niveau d'eau en cas de crue. La taille des BF, leur fréquence d'apparition et leur disposition dans le lit sont des facteurs pouvant augmenter la rugosité moyenne du chenal.

Ligne C3 : Augmentation de la rugosité moyenne du tronçon			
Score	1	2	3
	Faible contribution du BF à la rugosité moyenne du tronçon ; BF très éloignés entre eux (>>Diamètre BF) ; forte submersion en crue des dépôts de BF ; BF aligné avec l'écoulement (0-30°) ; zone inondable large	Situation intermédiaire	Forte contributions du BF à la rugosité moyenne du tronçon ; dépôts de BF nombreux (distance<10DBF) et épais (faiblement submergé en crue) ; BF perpendiculaire à l'écoulement ; zone inondable limitée

Sur QGIS cochez la couche correspondante, en s'intéressant principalement aux BF volumineux et long (mais pas uniquement) et en regardant les photos associées dans la couche QGIS, évaluer si les BF ont un impact global sur la rugosité et la ligne d'eau à l'échelle du tronçon

- Si forte contributions du BF à la rugosité moyenne du tronçon ; dépôts de BF nombreux (distance<10 Diamètre BF) et épais (faiblement submergé en crue) ; BF perpendiculaire à l'écoulement ; zone inondable limitée → score de 3
- Situation intermédiaire → score de 2
- Si faible contribution du BF à la rugosité moyenne du tronçon ; BF très éloignés entre eux (distance >>Diamètre BF) ; forte submersion en crue des dépôts de BF ; BF aligné avec l'écoulement (0-30°) ; zone inondable large → score de 1

#### d) Volet D

- **D1** : La caractérisation de la mobilité du bois est essentielle pour comprendre sa dynamique au sein du tronçon. La longueur relative du BF par rapport à la largeur du cours d'eau est le facteur principal influençant sa stabilité, la sinuosité du cours d'eau et le volume des BF sont également d'autres facteurs déterminants.

Ligne D1 : Stabilité potentiel du BF				
Score		1	2	3
Critères principaux	LBF/Lriviere	<1	≈ 1	>1
	Sinuosité	<1,05	1,05-1,5	>1,5
	Volume	BF isolés	1-5m3	>5m3
Critères secondaires	h_eau/DBF	>1,25	≈ 1	<0,75
	présence de racines et branches	absence, faible	Modérée	Importante

#### Glossaire :

LBF : Longueur du bois flottant

Lriviere : Largeur moyenne du cours d'eau sur le tronçon

h\_eau : Hauteur d'eau moyenne sur la zone inondable en crue

DBF : Diamètre moyen ou type des bois flottants

Sur QGIS cochez la couche correspondante, puis :

- 1) Sur QGIS ou Epicollect map : estimez la distribution des longueurs et des volumes des BF
- 2) Sur QGIS : estimation de la sinuosité du tronçon (longueur réelle du tronçon divisé par longueur à vol d'oiseau)
- 3) En fonction de l'évaluation de chaque sous-critères et de leur importance, donner une note globale intégratrice de 1 à 3
- 4) Si le score semble étonnant, estimer les critères secondaires de mémoire ou à l'aide des photos de terrain.

- **D2** : Sur un tronçon, si les BF sont principalement dans le lit mineur ils auront plus de chances d'être transportés par une crue que s'ils se trouvaient majoritairement en lit majeur, où les eaux les attendront moins souvent et où les arbres auront tendances à les piéger.

**Ligne D2 : Localisation : lit mineur ou lit majeur**

Score	1	2	3
Localisation	dans lit mineur	en berge	dans lit majeur

A l'aide de la visualisation cartographique d'Epicollect5 Map (<https://five.epicollect.net/project/releve-bois-flottants-riviere/data>) ou de QGIS en cochant la couche correspondante :

- Si majoritairement en rive (lit majeur) → Score 3
- Si majoritairement en berge → Score 2
- Si majoritairement en lit mineur → Score 1

- **D3 :** Les arbres sur les berges ou en lit majeur jouent un rôle majeur sur la mobilité des BF en s'intéressant au tronçon dans son ensemble. Une rivière très sinueuse peuplée de taillis et de futaies en lit majeur pourra stocker une grande quantité de BF lors des crues, contrairement à une rivière rectiligne, encaissée et présentant une végétation uniquement herbacée en rive.

**Ligne D3 : Potentiel à être immobilisé par les arbres sur les berges**

Score	1	2	3
	Lit majeur boisée sur <33% du linéaire ou faible potentiel de piégeage par les peuplements (1 rangée d'arbres, taillis peu denses ou végétation herbacée)	Lit majeur boisée sur 33-90% du linéaire ou lit majeur boisé étroit (<2 largeurs de chenal pour rivière à chenal unique, <1 largeur pour style divaguant/ en tresse)	Lit majeur boisée sur >90% du linéaire ou lit majeur boisé large (>2 largeurs de chenal pour rivière à chenal unique, >1 largeur pour style divaguant/ en tresse), peuplement de taillis et de futaies pouvant arrêter les flottants

Score donné dans le formulaire Epicollect5 « Protocole de gestion du bois flottants » sur le terrain (voir le document « 1méthodologie relevés sur le terrain »). Ci-dessous une aide supplémentaire pour évaluer ce critère (en plus des consignes se trouvant dans le formulaire). Évalue la capacité naturelle de piégeage de BF du tronçon par les abords du cours d'eau (par les arbres principalement).

- **D4 :** La géomorphologie du cours d'eau est un facteur pouvant favoriser le piégeage naturel de BF. La présence de gros blocs, de bancs ou de canyon permet aux cours d'eau de stopper les BF transportés et de les stocker.

**Ligne D4 : Potentiel naturel de dynamique favorable au dépôt et piégeage de flottants**

Score	1	2	3
	Pas de zone de dépôt	Quelques zones de dépôts	De nombreuses zones de dépôt/piégeage naturelle

Score donné dans le formulaire Epicollect5 « Protocole de gestion du bois flottants » sur le terrain (voir le document « 1méthodologie relevés sur le terrain »). Évalue la capacité naturelle de piégeage de BF du tronçon dû à la géomorphologie du cours d'eau (îlots, bancs, rochers, ...).

**e) Volet E**

- **E1 :** Le risque que peut engendrer les BF pour les structures aval dépend tout d'abord de la distance qui les sépare. Si les enjeux sont à une distance très supérieures à la distance de transport des BF, cela réduit très significativement les risques qu'il y ait formation d'embâcles au droit de ces enjeux.

**Ligne E1 : Distance entre l'embâcle et les infrastructures en aval**

Score	1	2	3
	Sur plus de 90% du tronçon : Distance Ouvrage-BF > Distance_transport	Situation intermédiaire	Sur plus de 90% du tronçon : Distance Ouvrage-BF < Distance_transport

Sur QGIS cochez la couche correspondante et s'intéresser UNIQUEMENT aux ouvrages potentiellement contraignants, un passage à gué ou un ouvrage surdimensionné par rapport à la crue de référence aura peu d'influence sur l'arrêt des flottants.

- 1) Estimer les ouvrages contraignants du tronçon (qui risque d'arrêter des BF et créent des embâcles)
- 2) Sur QGIS ou Epicollect map : estimation du taux de BF court et moyen/long pour choisir dans quelle catégorie on se situe principalement pour le calcul de la distance de transport (court ou moyen/long). Sur QGIS : estimation de la sinuosité en divisant la longueur du tronçon par la distance entre les 2 extrémités du tronçon. Définir la largeur du cours d'eau sur le tronçon étudié
- 3) Calcul de la distance de transport pour le cas "BF courts" puis "BF moyens/longs" grâce au Tableau 1 repris page suivante

- 4) QGIS : estimation du % du tronçon tel que :  $Distance[amont\_ouvrage] < Distance[transport\_BF]$  pour les BF court et/ou moyen/long (selon la taille majoritaire sur le tronçon).
- 5) en fonction de 2), privilégier le résultat de 3) pour les BF court ou moyen/long. On utilisera de façon préférentielle les distances pour les flottants courts si l'ouvrage est très propice aux obstruction (travées très courtes). A contrario, si le pont a des largeurs de travées de l'ordre de la moitié ou plus de la largeur du chenal, il est plus pertinent d'utiliser les distances de transport des flottants moyens et longs.

Une exemple d'application est fourni ci-dessous.

Tableau 6 : Copie du Tableau 1 (Méthode d'estimation de la distance de transport du bois flottant (source : Mireille BOYER, AQUABIO Conseil))

Morphologie	Lit unique stable						Lit divaguant ou en tresses
	Bois flottants courts (Longueur < 0.5 largeur chenal)			Bois flottants moyens et plus longs (Longueur > 0.5 largeur chenal)			
Longueur flottant	Rectiligne <1.05	Sinueux 1.05-1.5	Méandreux >1.5	Rectiligne <1.05	Sinueux 1.05 - 1.5	Méandreux >1.5	
Sinuosité							
Largeur chenal	Distance de transport type des bois flottant						
0-2 m	500 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	>> 5000 m (non limitée)
3-5 m	2000 m	1000 m	500 m	800 m	400 m		
6-12 m	2000 m	1000 m	500 m	800 m	400 m	200 m	
13-20 m	3000 m	2000 m	1000 m	2000 m	1000 m	500 m	
>20 m	>> 5000 m (non limitée)						

Exemple d'application : Le Lagamas (34), tronçon 2 : sinueux, **bois majoritairement moyens/longs (70%)**, largeur cours d'eau = 6m. Donc d'après le tableau de calcul du transport, la distance de transport des BF moyens/longs est de 400m et des BF courts de 1000m. Il y a deux ouvrages contraignants sur le tronçon.

- Méthode de calcul du pourcentage du tronçon tel que  $Distance[amont\_ouvrage] < Distance[transport\_BF\_long]$  pour les BF moyens/longs : mesurer la longueur de tronçon qui se situe dans les 400m à l'amont de chaque ouvrage **contraignant** (il y en a deux)  $\rightarrow 800/2740=30\%$
- De même pour les BF courts :  $\approx 100\%$

**Le pourcentage retenu de tronçon où le BF est susceptible d'être transporté jusqu'à des ouvrages à risque est 30%, le score associé est donc de 2.**



Figure 25 : Localisation des verrous hydrauliques et distance de transport du BF

- E2 : Les ouvrages en travers de l'écoulement sont des lieux à risques d'obstructions très élevés car la capacité hydraulique de ces structures est souvent inférieure à celle du cours d'eau, ils agissent alors comme des verrous hydrauliques. La géométrie de ces ouvrages est le principal facteur influençant leur potentiel de piégeage.

**Ligne E2 : Impacts de la géométrie de l'ouvrage sur la formation d'embâcles**

Score	1	2	3
	Largeur Ouvrage/Largeur Rivière >1 ; pas de pile de pont ; section plus large que le chenal ; tirant d'air en crue > 1m	Largeur Ouvrage/Largeur Rivière ≈1 ; peu ou pas de rétrécissement de la section ; tirant d'air en crue <1m	Largeur Ouvrage/Largeur Rivière <1; Présence de pile en lit mineur ; réduction de la section au niveau de l'ouvrage ; ouvrage en charge lors des crues

Sur QGIS cochez la couche correspondante et les sous-couches « Piles et tirant d'air » et « Largeur de l'ouvrage » et chercher l'ouvrage le plus contraignant du tronçon à l'aide des photos. Regarder la grille d'évaluation ci-dessus : prendre le score le plus élevé qui a au moins critère présent.

Remarque : Si l'ouvrage est conçu pour être submergé (passage à gué, pont submersible, seuil,...), **ne pas** le considérer comme « ouvrage en charge »

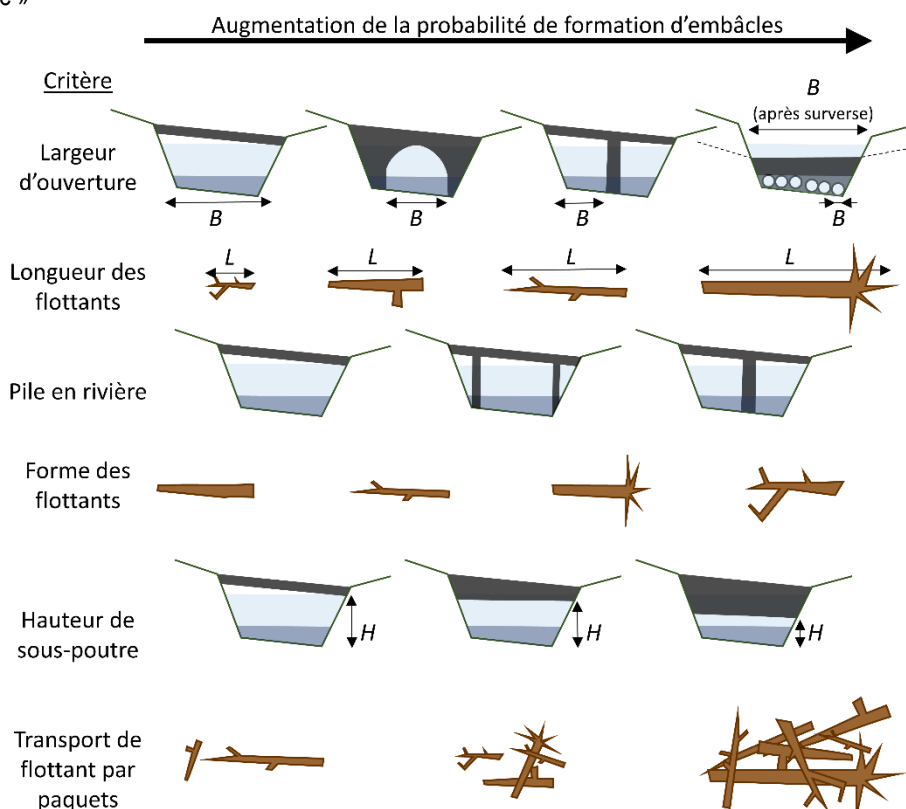


Figure 26 : Facteurs principaux pilotant la probabilité de formation d'embâcle (Quiniou et Piton, 2022)

Exemple : Dans le cas décrit au tableau ci-dessous, les valeurs des indicateurs relevés sur le terrain pour un pont donné ont été soulignées. Trois critères sont favorables au transit des flottants (pas de pile de pont, section d'ouvrage large et tirant d'air important), mais la largeur de l'ouvrage est faible en comparaison à celle de la largeur du chenal (indicateur très défavorable au transfert des flottants). Il faut alors attribuer le score de 3 en lien avec ce dernier indicateur.

**Ligne E2 : Impacts de la géométrie de l'ouvrage sur la formation d'embâcles**

Score	1	2	3
	Largeur Ouvrage/Largeur Rivière >1 ; pas de pile de pont ; section plus large que le chenal ; <u>tirant d'air en crue &gt; 1m</u>	Largeur Ouvrage/Largeur Rivière ≈1 ; peu ou pas de rétrécissement de la section ; tirant d'air en crue <1m	Largeur Ouvrage/Largeur Rivière <1; Présence de pile en lit mineur ; réduction de la section au niveau de l'ouvrage ; ouvrage en charge lors des crues

- E3 : Certains dispositifs présent sur ou proche d'un ouvrage en travers de l'écoulement peuvent aggraver ou réduire le risque qu'à celui-ci de piéger des BF. En effet, il existe des techniques de construction qui permettent de rendre l'ouvrage plus transparent aux



écoulement et aux flottants, et à contrario il y a certaines façons de concevoir des ouvrages qui aggravent le risque d'obstruction par des flottants.

### Ligne E3 : Dispositifs techniques/structuraux ayant un impact sur la formation d'embâcles

Score	1	2	3
	Piège à embâcles ; pont mobile ; passage à gué, ouvrage très submergé en crue ; carénage	Pont classique ; étrave/défecteur sur pile de pont ; rambardes amovibles ;	Structure en treillis ; canalisation en travers de l'écoulement ; angle par rapport à l'écoulement > 30° ; autres dispositifs favorisant l'accrochage

Peut être évalué en même temps que E2. Sur QGIS cochez la couche correspondante et la sous-couche « *Disposition constructive* » et chercher l'ouvrage le plus contraignant du tronçon à l'aide des photos. Regarder la grille d'évaluation du fichier « 3ResultatsProtocole\_epicollecte.xlsx » : prendre le score le plus élevé qui a au moins critère présent.

*Exemple : Dans le cas décrit au tableau ci-dessous, dont le tronçon N°2 se rapporte au tronçon présenté dans la Figure 23, les caractéristiques des ponts justifient directement les scores attribués. Les justifications des scores attribués pour chacun des tronçons sont décrites dans les remarques, basées sur les indicateurs du critère E3 présentés ci-dessus.*

Numéro du tronçon	Score	Remarques
2	2	Pas de disposition constructive, pont classique
3	1	Fortement submergé en crue

- **E4 :** De même que pour les enjeux locaux, *Les principaux dommages que peut créer les BF à l'aval avec la formation d'embâcle sont la rehausse du niveau d'eau en crue et donc l'aggravation des inondations, les érosions et affouillements qui peuvent déstabiliser les berges ou infrastructures, et la déviation du cours d'eau vers un bras secondaire. Ces impacts peuvent être peu ou très dommageables en fonction des enjeux présents autour des verrous hydrauliques.*

### Ligne E4 : Présence d'enjeux en lit majeur proches des verrous hydrauliques aval

Score	1	2	3
	Lit majeur aux alentours de l'ouvrage pas urbanisé et pas d'enjeux forts : chemin de randonnée ou forestier, zone naturelle, prairie, peupleraies et autres plantations, chemin agricole	Lit majeur aux alentours de l'ouvrage faiblement urbanisé avec peu d'enjeux importants : zone agricole, route secondaire, bâtiments isolés, infrastructure locale (camping, golf, étang,...)	Zone urbaine très proche du cours d'eau au niveau de l'ouvrage ; enjeux forts : route principale, voie ferrée, hameau/village, zone d'activité, ouvrage divers (canalisation, pylône, station d'épuration,...)

Sur QGIS cochez la couche correspondante, on s'intéresse aux enjeux proches des verrous hydrauliques relevés dans le formulaire Epicollect5 « Enjeux potentiellement vulnérables » dans le tronçon en question ou bien à tous autres enjeux connus par le praticien ou par analyse SIG :

- Si présence d'un enjeu fort exposé → score 3
- Si présence d'un enjeu modéré exposé → score 2
- Si présence d'un enjeu faible exposé ou pas d'enjeu exposé → score 1

**Astuce :** Ce critère a un poids relatif très fort. Il peut être utile d'utiliser des scores intermédiaires comme 1.5 ou 2.5 pour mieux distinguer des enjeux d'importance différentes.

## f) Volet F

- **F1 :** *Lorsque les bois flottants obstruent une partie du cours d'eau, ils peuvent dévier l'écoulement ou le concentrer et augmenter ainsi sa capacité à éroder les berges ou le fond du lit. Cela peut accroître les risques pour les enjeux alentours en déstabilisant les berges ou les ouvrages présents.*

### Ligne F1 : Erosion/affouillement imprévue de la berge adjacente ou opposée associée au BF

Score	1	2	3
	BF influence peu les érosions ; majoritairement en berge/lit majeur ou complètement mobile ; cours d'eau très large ; berges peu érodables	BF influence marginalement les écoulements ; berges relativement érodables (présence de végétation légère,...)	BF forme obstacle et détourne les écoulements ; nature des berges érodables (peu de végétations, matériaux peu cohésifs,...)

Score évalué dans le formulaire Epicollect5 « Protocole de gestion du bois flottants » (voir le document « 1méthodologie relevés sur le terrain »). En parcourant le tronçon à pieds, relever les endroits où des bois flottants engendrent des érosions puis vérifier s'il y a des

enjeux qui peuvent être impactés. En effet, si les érosions ont lieu dans une zone totalement sauvage les conséquences sont limitées.

- **F2 :** *En obstruant une partie du cours d'eau, les BF peuvent jouer un rôle de barrage en empêchant les sédiments de transiter ou en créant des zones de faibles vitesses qui favorisent le dépôt de sédiments. Cela peut provoquer une rehausse du fond pouvant augmenter les inondations voir créer un chenal secondaire à travers des enjeux.*

**Ligne F2 : Dépôts locaux associés au BF aggravant les inondations/dommages aux infrastructures**

Score	1	2	3
	Influence géomorphologique de l'embâcle très limitée	Influence géomorphologique de l'embâcle localisée	Modifications géomorphologiques majeures associées à la présence de l'embâcle (rehausse des fonds par effet barrage,...)

Score évalué dans le formulaire Epicollect5 « Protocole de gestion du bois flottants » (voir le document « 1méthodologie relevés sur le terrain »). Procédez de même, relevez les endroits où des bois flottants engendrent une accumulation des sédiments puis vérifiez s'il y a des enjeux qui peuvent être impactés.

- **F3 :** La présence de BF peut avoir d'autres effet géomorphologiques indésirables tels que créer une rupture de la continuité sédimentaire en cas de forte obstruction ou colmater le lit et réduire les échanges nappe-rivière.

**Ligne F3 : Autres changements géomorphologiques indésirables**

Score	1	2	3
	Absence d'effet morphologique indésirable	Situation intermédiaire	Colmatage du lit par des sédiments fins ; rupture de la continuité sédimentaire générant une altération du milieu aval

Score évalué dans le formulaire Epicollect5 « Protocole de gestion du bois flottants » (voir le document « 1méthodologie relevés sur le terrain »). Procéder de même pour d'autres effets morphologiques indésirables.

# Annexe D. Suggestion d'assignation des poids relatifs des sous-critères

## Principe

Afin de définir les pondérations des différents critères, une analyse AHP (Analytical Hierarchical Process) a été menée tel que décrit par Philippe et al. (2018). Des supports pédagogiques et le tableur Excel utilisé pour définir les pondérations ont été tirés des documents mis à dispositions par Jean-Marc TACNET<sup>4</sup> dans le cadre du projet NAIAD.

Cette analyse consiste à comparer chaque paire de sous-critère et à juger de leur importance relative. Les poids numériques associés à ces importances relatives sont repris de l'échelle de Saaty tel que présenté dans la figure suivante. Ce choix est arbitraire, c'est simplement une échelle par défaut utile quand on manque d'éléments numériques permettant de définir une échelle ad hoc.

Critère A	Critère B	
	(critère A) aussi important que (critère B)	1
un peu plus important que	3	4
plus important que	5	6
beaucoup plus important que	7	8
absolument plus important que	9	

Figure 27 : Echelle de Saaty et poids associés aux formes littérales de comparaison (Tacnet 2021)

## A. Volet A : Risques associés au fait de retirer du BF sur les écosystèmes aquatiques

- A1 : Présence d'habitats alternatifs dans le lit mineur est **plus important** que A2 : Contributions du BF à créer divers habitats aquatiques

*Justification sommaire* : En l'absence de faciès alternatifs, seule la présence du bois permet la diversification du milieu. Enlever le bois est, dans ces milieux, une altération majeure. La présence d'habitats créés par le bois flottant (bon score A2) a moins d'importance que l'existence ou l'absence de l'ensemble des autres habitats du tronçon. La relative absence de bois flottant dans le milieu aquatique a de plus tendance à tirer les scores de A2 vers le bas, ce qui ne doit pas laisser penser que le risque environnemental associé à son retrait est faible.

- A1 : Présence d'habitats alternatifs dans le lit mineur est **plus important** que A3 : Disponibilité du BF pour les espèces aquatiques et benthiques

*Justification sommaire* : En l'absence de faciès alternatifs, seule la présence du bois permet la diversification du milieu. Enlever le bois est, dans ces milieux, une altération majeure. La disponibilité du bois flottant en place pour les habitats aquatiques (bon score A3) a moins d'importance que l'existence ou l'absence de l'ensemble des autres habitats du tronçon. La relative absence de bois flottant dans le milieu aquatique a de plus tendance à tirer les scores de A3 vers le bas, ce qui ne doit pas laisser penser que le risque environnemental associé à son retrait est faible.

- A1 : Présence d'habitats alternatifs dans le lit mineur est **plus important** que A4 : Persistance dans le temps de l'habitat engendré par la présence de BF

*Justification sommaire* : En l'absence de faciès alternatifs, seule la présence du bois permet la diversification du milieu. Enlever le bois est, dans ces milieux, une altération majeure. Le score du sous-critère A4 est

<sup>4</sup> Jean Marc TACNET, 2021, "Aide à la décision", <https://doi.org/10.15454/WWDBQF>, Recherche Data Gouv, V1

d'autant plus difficile à évaluer que la présence de bois flottant est faible, en particulier les pièces maîtresses et les accumulations anciennes.

- A2 : Contributions du BF à créer divers habitats aquatiques est **un peu plus important** que A3 : Disponibilité du BF pour les espèces aquatiques et benthiques

*Justification sommaire* : Tandis que le sous critère A3 est influencé par l'hydrologie, le sous-critère A2 est plus robuste et mesure directement la présence des faciès apportés par le bois.

- A2 : Contributions du BF à créer divers habitats aquatiques est **un peu plus important** que A4 : Persistance dans le temps de l'habitat engendré par la présence de BF

*Justification sommaire* : Les deux sous-critères sont partiellement liés : les habitats aquatiques les plus intéressants sont généralement créés par des accumulations persistantes. Toutefois, les espèces aquatiques étant partiellement mobiles, c'est l'intérêt des faciès qui prime sur leur persistance dans le temps : il vaut mieux de multiples faciès qui se renouvellent et changent de localisation qu'un faciès unique mais persistant.

- A3 : Disponibilité du BF pour les espèces aquatiques et benthiques est **un peu moins important** que A4 : Persistance dans le temps de l'habitat engendré par la présence de BF

*Justification sommaire* : A3 reste très influencé par l'hydrologie de la rivière pendant la visite tandis que A4 l'est moins. Les deux sous-critères sont évidemment influencés par l'historique récent de production de bois flottant et de gestion de ce dernier. Le sous-critère A4 semble de plus rendre compte d'une propriété plus importante pour l'intérêt des faciès créés.

Les poids calculés par la méthode AHP et normalisés de façon à avoir une somme cumulée égale à 10 sont alors :

- A1 : 5.8
- A2 : 2.1
- A3 : 0.8
- A4 : 1.3

## B. Volet B : Risques associés au fait de retirer du BF sur les écosystèmes terrestres

- B1 : Présence d'habitats alternatifs dans la ripisylve ou lit majeur est **plus important** que B2 : Contributions du BF à créer divers habitats terrestres

*Justification sommaire* : En l'absence d'habitats alternatifs hors de portée des eaux, seule la présence du bois émergé dans le lit mineur, en berge ou en lit majeur permet la présence d'habitats relative au bois mort. Enlever le bois est, dans ces milieux, une altération majeure. La présence d'habitats diversifiés créés par le bois flottant (bon score B2) a cependant moins d'importance que l'existence ou l'absence de l'ensemble des autres habitats du tronçon (score B1). La relative absence de bois flottant dans le milieu terrestre inondable a de plus tendance à tirer les scores de B2 vers le bas, ce qui ne doit pas laisser penser que le risque environnemental associé à son retrait est faible.

- B1 : Présence d'habitats alternatifs hors de portée des eaux est **un peu plus important** que B3 : Qualité de l'habitat associé à la présence du BF

*Justification sommaire* : En l'absence d'habitats alternatifs hors de portée des eaux, seule la présence du bois émergé dans le lit mineur, en berge ou en lit majeur permet la présence d'habitats relative au bois mort. Enlever le bois est, dans ces milieux, une altération majeure. La bonne qualité des habitats associés aux bois flottants (bon score B3) est évaluée selon le même indicateur que le sous-critère B1, c'est-à-dire en dénombrant les bois de diamètre significatif. Ces deux sous-critères semblent donc avoir une importance équivalente car ils mesurent le même paramètre soit en zone inondable soit hors de portée des eaux. Cependant, la relative absence de bois flottant dans le milieu terrestre inondable a tendance à tirer les scores de B2 vers le bas, ce qui ne doit pas laisser penser que le risque environnemental associé à son retrait est faible.

- B1 : Présence d'habitats alternatifs dans la ripisylve ou lit majeur est **plus important** que B4 : Persistance dans le temps de l'habitat engendré par la présence de BF

*Justification sommaire* : En l'absence d'habitats alternatifs hors de portée des eaux, seule la présence du bois émergé dans le lit mineur, en berge ou en lit majeur permet la présence d'habitats relative au bois mort. Enlever le bois est, dans ces milieux, une altération majeure. Le score du sous-critère B4 est d'autant plus difficile à évaluer que la présence de bois flottant est faible, en particulier les pièces maîtresses et les accumulations anciennes.

- B2 : Contributions du BF à créer divers habitats terrestres est **un peu moins important** que B3 : Qualité de l'habitat associé à la présence du BF

*Justification sommaire* : Le sous-critère B3 est robuste et le diamètre des bois morts est un facteur prépondérant quant à l'importance des habitats associés à la présence de ces derniers, le sous-critère B2 est également robuste et mesure directement la présence des faciès apportés par le bois mais ne prend pas en compte le diamètre du bois.

- B2 : Contributions du BF à créer divers habitats terrestres est **un peu plus important** que B4 : Persistance dans le temps de l'habitat engendré par la présence de BF

*Justification sommaire* : Les deux sous-critères sont partiellement liés : les habitats terrestres les plus intéressants sont généralement créés par des accumulations persistantes. Toutefois, c'est la diversité des habitats qui prime sur la persistance dans le temps : il vaut mieux de multiples faciès qui se renouvellent et changent de localisation qu'un faciès unique mais persistant.

- B3 : Qualité de l'habitat associé à la présence du BF est **plus important** que B4 : Persistance dans le temps de l'habitat engendré par la présence de BF

*Justification sommaire* : Le sous-critère B3 est robuste et le diamètre des bois morts est un facteur prépondérant quant à l'importance des habitats associés à la présence de ces derniers. Les deux sous-critères sont partiellement liés : les habitats les plus persistants sont généralement créés par des bois de taille et de diamètre conséquent. Les deux sous-critères sont évidemment influencés par l'historique récent de production de bois flottant et de gestion de ce dernier. Le sous-critère B3 semble toutefois rendre compte d'une propriété plus importante pour l'intérêt des faciès créés.

Les poids calculés par la méthode AHP et normalisés de façon à avoir une somme cumulée égale à 10 sont alors :

- B1 : 5.3
- B2 : 1.3
- B3 : 2.7
- B4 : 0.7

## C. Volet C : Risques d'élévation du niveau d'eau sur les berges et le lit majeur

- C1 : Présence d'enjeux en lit majeur au droit du tronçon est **beaucoup plus important** que C2 : Obstructions localisées de la section d'écoulement

*Justification sommaire* : Le risque associé à l'élévation de la ligne d'eau est en premier lieu lié à la vulnérabilité du lit majeur (C1) mais aussi par l'aléa (C2), toutefois le sous-critère C2 ne décrit qu'un état d'obstruction représentatif d'un moment donné : l'obstruction peut augmenter en cas d'apport massifs de flottants.

- C1 : Présence d'enjeux en lit majeur au droit du tronçon est **beaucoup plus important** que C3 : Augmentation de la rugosité moyenne du tronçon

*Justification sommaire* : Le risque associé à l'élévation de la ligne d'eau est en premier lieu lié à la vulnérabilité du lit majeur (C1) mais aussi par l'aléa (C3), toutefois le sous-critère C3 ne décrit qu'un état donné du lit qui peut évoluer significativement pendant les crues (mobilité des pièces de bois flottant).

- C2 : Obstructions localisées de la section d'écoulement est **aussi important** que C3 : Augmentation de la rugosité moyenne du tronçon

*Justification sommaire* : Selon la configuration du tronçon, des verrous et la localisation des enjeux

vulnérables, une obstruction localisée peut avoir autant d'importance que l'effet diffus d'augmentation des rugosités. *Cette pondération relative peut être adaptée aux contextes étudiés et n'est valable que dans un cas général.*

Les poids calculés par la méthode AHP et normalisés de façon à avoir une somme cumulée égale à 10 sont alors :

- C1 : 7.8
- C2 : 1.1
- C3 : 1.1

## D. Volet D : Stabilité du bois flottant et potentiel déplacement

- D1 : Stabilité potentiel du BF est **beaucoup plus important** que D2 : Localisation : lit mineur ou lit majeur

*Justification sommaire* : Considérant qu'en crue l'ensemble du lit mineur et du lit majeur sont inondés (sous-critère D2), la mobilité des bois flottant est contrôlée au premier ordre par leur longueur relative, la sinuosité du lit et les caractéristiques des accumulations (sous critère D1). Ceci est d'autant plus vrai pour des crues intermédiaires pour lesquelles D2 aurait de l'importance.

- D1 : Stabilité potentiel du BF est **un peu plus important** que D3 : Potentiel à être immobilisé par les arbres sur les berges

*Justification sommaire* : Même en présence d'un faible potentiel de stockage du corridor (score D3 faible), des longues pièces, de grosses accumulations et des chenaux sinueux (score D1 fort) peuvent engendrer une faible mobilité et inversement : les pièces courtes, isolées s'écoulant dans des chenaux rectilignes (score D1 faible) ne sont que très partiellement interceptés par des ripisylves larges et matures (score D3 fort).

- D1 : Stabilité potentiel du BF est **plus important** que D4 : Potentiel naturel de dynamique favorable au dépôt et piégeage de flottants

*Justification sommaire* : Même en présence de zones favorables au dépôts, c'est d'abord la longueur relative des bois flottants qui influence leur mobilité.

- D2 : Localisation : lit mineur ou lit majeur est **moins important** que D3 : Potentiel à être immobilisé par les arbres sur les berges

*Justification sommaire* : La position des flottants, initialement en lit mineur, berge ou lit majeur, est amenée à changer pendant les crues majeures et c'est alors la capacité de piégeage de la ripisylve qui aura une influence décisive sur le potentiel de déplacement des bois flottants.

- D2 : Localisation : lit mineur ou lit majeur est **un peu moins important** que D4 : Potentiel naturel de dynamique favorable au dépôt et piégeage de flottants

*Justification sommaire* : La position des flottants, initialement en lit mineur, berge ou lit majeur, est amenée à changer pendant les crues majeures. La présence de zones de dépôts propice aura une influence sur le potentiel de déplacement des bois flottants.

- D3 : Potentiel à être immobilisé par les arbres sur les berges est **plus important** que D4 : Potentiel naturel de dynamique favorable au dépôt et piégeage de flottants

*Justification sommaire* : Le sous-critère D4 décrit plutôt la présence de zones larges de lit mineur, c'est-à-dire, sans obstacles ou avec quelques obstacles minéraux, zones qui ont un potentiel à piéger le bois flottant. Potentiel qui reste toutefois assez inférieur à celui d'une ripisylve mature et large.

Les poids calculés par la méthode AHP et normalisés de façon à avoir une somme cumulée égale à 10 sont alors :

- D1 : 5.4
- D2 : 0.6
- D3 : 2.9
- D4 : 1.1

## E. Volet E : Proximité et risques sur les structures en aval, services et infrastructures

- E1 : Distance entre l'embâcle et les infrastructures en aval est **moins important** que E2 : Impacts de la géométrie de l'ouvrage sur la formation d'embâcles

*Justification sommaire* : La variabilité de la mobilité réelle des bois flottant peut-être forte et c'est en premier lieu les caractéristiques des verrous plus ou moins propices à la formation d'embâcle qui pilote sa probabilité.

- E1 : Distance entre l'embâcle et les infrastructures en aval est **aussi important** que E3 : Dispositifs techniques/structuraux ayant un impact sur la formation d'embâcles

*Justification sommaire* : Les caractéristiques décrites dans le sous-critère E3 jouent un rôle significatif sur la probabilité de formation d'embâcle au droit des verrous, a priori tout aussi important que l'augmentation progressive de la distance du verrou aux sources de bois flottant.

- E1 : Distance entre l'embâcle et les infrastructures en aval est **beaucoup moins important** que E4 : Présence d'enjeux en lit majeur proches des verrous hydrauliques aval

*Justification sommaire* : La vulnérabilité de la zone d'influence hydraulique d'un verrou est prépondérante sur le risque associé à ce dernier, même pour des distances intermédiaires et fortes.

- E2 : Impacts de la géométrie de l'ouvrage sur la formation d'embâcles est **un peu plus important** que E3 : Dispositifs techniques/structuraux ayant un impact sur la formation d'embâcles

*Justification sommaire* : La géométrie de l'ouvrage, en particulier sa largeur relative et sa potentielle mise en charge est prépondérante devant les dispositions constructives attachées à ce dernier.

- E2 : Impacts de la géométrie de l'ouvrage sur la formation d'embâcles est **moins important** que E4 : Présence d'enjeux en lit majeur proches des verrous hydrauliques aval

*Justification sommaire* : La vulnérabilité de la zone d'influence hydraulique d'un verrou est prépondérante sur le risque associé à ce dernier, même dans le cas de verrous peu adaptés au transfert des embâcles.

- E3 : Dispositifs techniques/structuraux ayant un impact sur la formation d'embâcles est **beaucoup moins important** que E4 : Présence d'enjeux en lit majeur proches des verrous hydrauliques aval

*Justification sommaire* : La vulnérabilité de la zone d'influence hydraulique d'un verrou est prépondérante sur le risque associé à ce dernier, même avec la présence de disposition constructive attachée au verrou.

Les poids calculés par la méthode AHP et normalisés de façon à avoir une somme cumulée égale à 10 sont alors :

- E1 : 0.7
- E2 : 2.2
- E3 : 0.8
- E4 : 6.3

## F. Volet F : Effets géomorphologiques indésirables

- F1 : Erosion/affouillement imprévue de la berge adjacente ou opposée associée au BF est **aussi important** que F2 : Dépôts locaux associés au BF aggravant les inondations/dommages aux infrastructures

*Justification sommaire* : Les risques associés aux érosions ou aux dépôts de sédiments dépendent très fortement du contexte de tronçon étudié, en l'absence d'information supplémentaire il est difficile de dire si l'un a un rôle plus important que l'autre sur le risque dû à des modifications géomorphologiques. Cette pondération relative peut être adaptée aux contextes étudiés et n'est valable que dans un cas général.

- F1 : Erosion/affouillement imprévue de la berge adjacente ou opposée associée au BF est **aussi**

**important** que F3 : Autres changements géomorphologiques indésirables

*Justification sommaire* : Les risques associés aux érosions ou à d'autres changements géomorphologiques indésirables dépendent très fortement du contexte de tronçon étudié, en l'absence d'information supplémentaire il est difficile de dire si l'un a un rôle plus important que l'autre sur le risque dû à des modifications géomorphologiques. *Cette pondération relative peut être adaptée aux contextes étudiés et n'est valable que dans un cas général.*

- F2 : Dépôts locaux associés au BF aggravant les inondations/dommages aux infrastructures est **aussi important** que F3 : Autres changements géomorphologiques indésirables

*Justification sommaire* : Les risques associés aux dépôts de sédiments ou à d'autres changements géomorphologiques indésirables dépendent très fortement du contexte de tronçon étudié, en l'absence d'information supplémentaire il est difficile de dire si l'un a un rôle plus important que l'autre sur le risque dû à des modifications géomorphologiques. *Cette pondération relative peut être adaptée aux contextes étudiés et n'est valable que dans un cas général.*

Les poids calculés par la méthode AHP et normalisés de façon à avoir une somme cumulée égale à 10 sont alors :

- F1 : 3.3
- F2 : 3.3
- F3 : 3.3



## Annexe E. Application du protocole à cinq autres bassins versants

Les données ayant servi à mener à bien ces cas d'études (exports d'Epicollect 5, fichiers SIG et tableau Excel de notation des sous-critères) sont disponibles en ligne au lien suivant : <https://doi.org/10.57745/KTFZQD>

### A. Bréda

#### a) Présentation synthétique du bassin versant et segmentation appliquée

Le Bréda prend sa source dans le massif de Belledonne (Alpes) à 1 990 m d'altitude, et s'écoule sur 32 km jusqu'à sa confluence avec l'Isère, à 255 m d'altitude. Son bassin versant a une superficie de 230 km<sup>2</sup> et sa largeur est de 10 m en moyenne. Il prend la forme d'un torrent de montagne dans les premiers tronçons mais draine une superficie suffisante pour être plutôt catégorisé comme une petite rivière alpine dans ses tronçons intermédiaires et finaux.

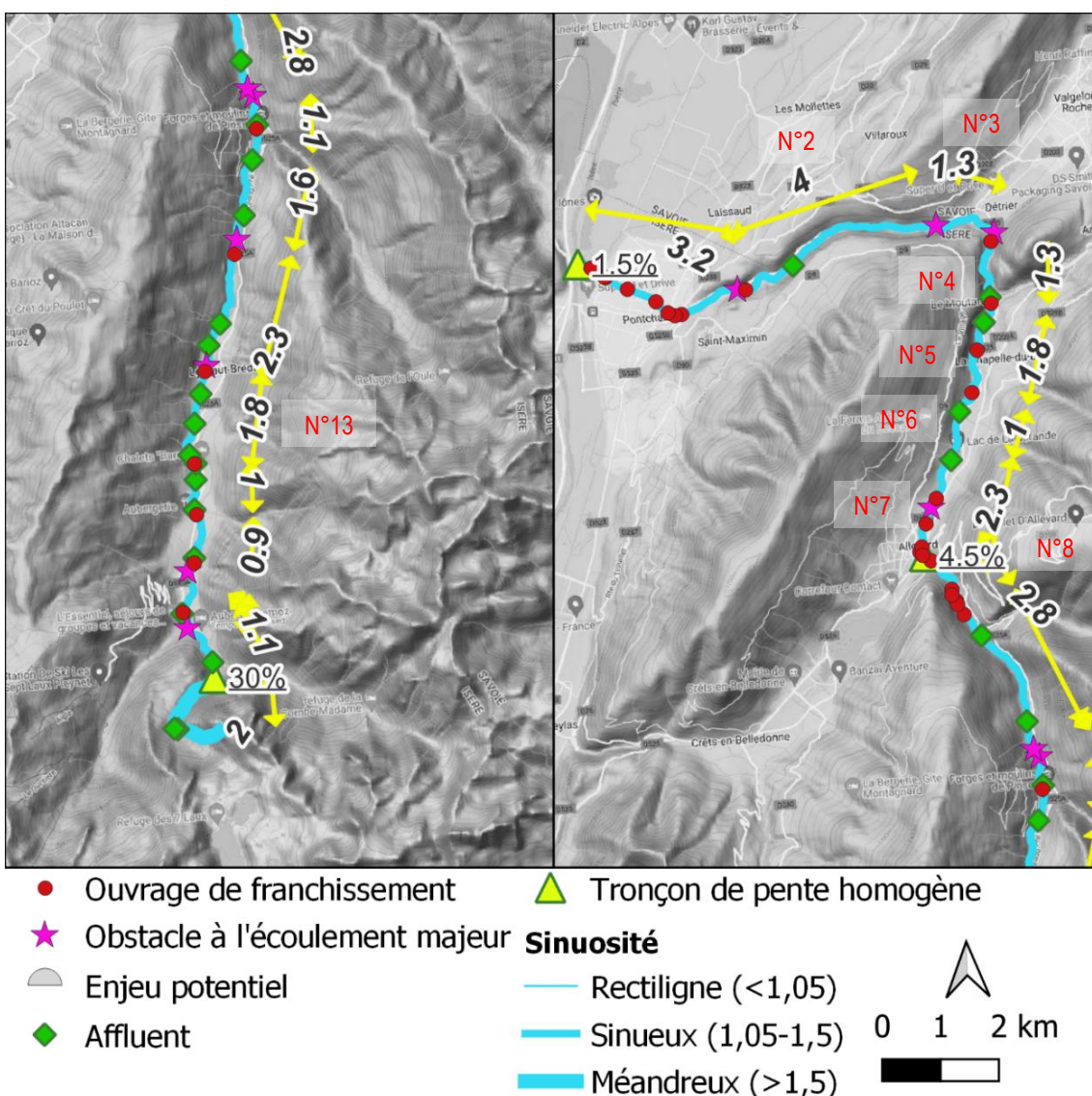


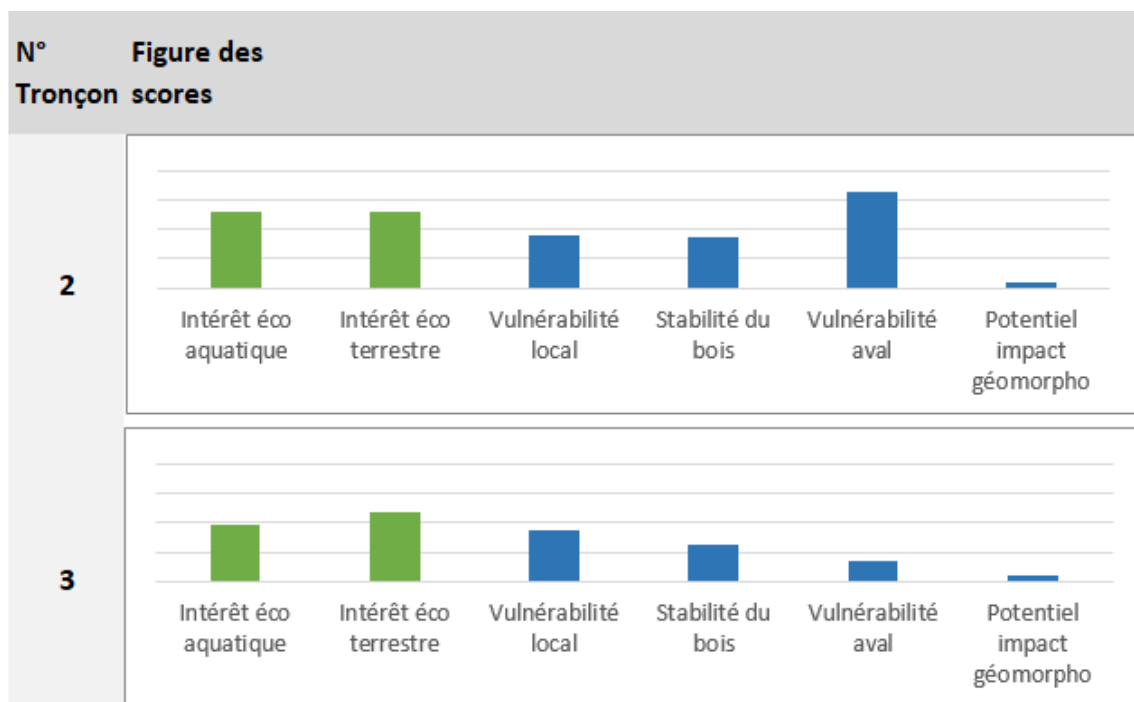
Figure 28 : Segmentation du Bréda (38) délimitée par les flèches jaunes (version avant d'avoir arpenté le cours d'eau), avec les tronçons arpentés numérotés en rouge, sur sa partie amont à gauche et sa partie aval à droite

Nous avons segmenté le cours du Bréda en 19 tronçons numéroté de l'aval vers l'amont. Ils sont principalement déterminés par l'occupation du sol en lit majeur (zone urbaine ou naturelle par exemple), l'encaissement du cours d'eau ainsi que les verrous hydrauliques (ponts et barrages). Après avoir arpenté le cours d'eau, les tronçons ont été légèrement remaniés car des obstacles potentiels avaient été considéré comme des verrous délimitant des tronçons, mais au vu des dimensions des ponts ils n'ont plus été considérés comme des verrous par la suite.

N° Tronçon	Longueur (km)	Pente approximative (%)	Confinement	Occupation du sol en lit majeur
1	3,2	1,5	Non	Urbain
2	4,0	1,5	Non	Naturel + route
3	1,3	1,5	Oui	Naturel + route
4	1,3	1,5	Oui	Naturel + route
5	1,8	1,5	Non	Naturel + route
6	1,0	1,5	Non	Naturel + route
7	2,3	1,5	Non	Urbain
8	1,2	4,5	Oui	Naturel
9	2,8	4,5	Oui	Naturel
10	1,1	4,5	Non	Urbain
11	1,6	4,5	Non	Naturel/Rural
12	2,3	4,5	Non	Naturel/Rural
13	1,8	4,5	Non	Rural
14	1,0	4,5	Non	Naturel/Rural
15	0,9	4,5	Non	Rural
16	0,2	4,5	Non	Rural
17	0,8	4,5	Non	Urbain
18	1,1	4,5	Oui	Naturel
19	2,0	30	Oui	Naturel

#### b) Scores des volets

L'ensemble des verrous hydraulique ont été visités mais, par manque de temps ou par manque d'accès, seuls huit des dix-neufs tronçons ont pu être parcourus dans leur intégralité pour y appliquer le protocole. Les résultats sont présentés ci-dessous : pour chaque tronçon, les scores de chaque volet ont été déterminé grâce au protocole.



**N°** **Figure des**  
**Tronçon scores**

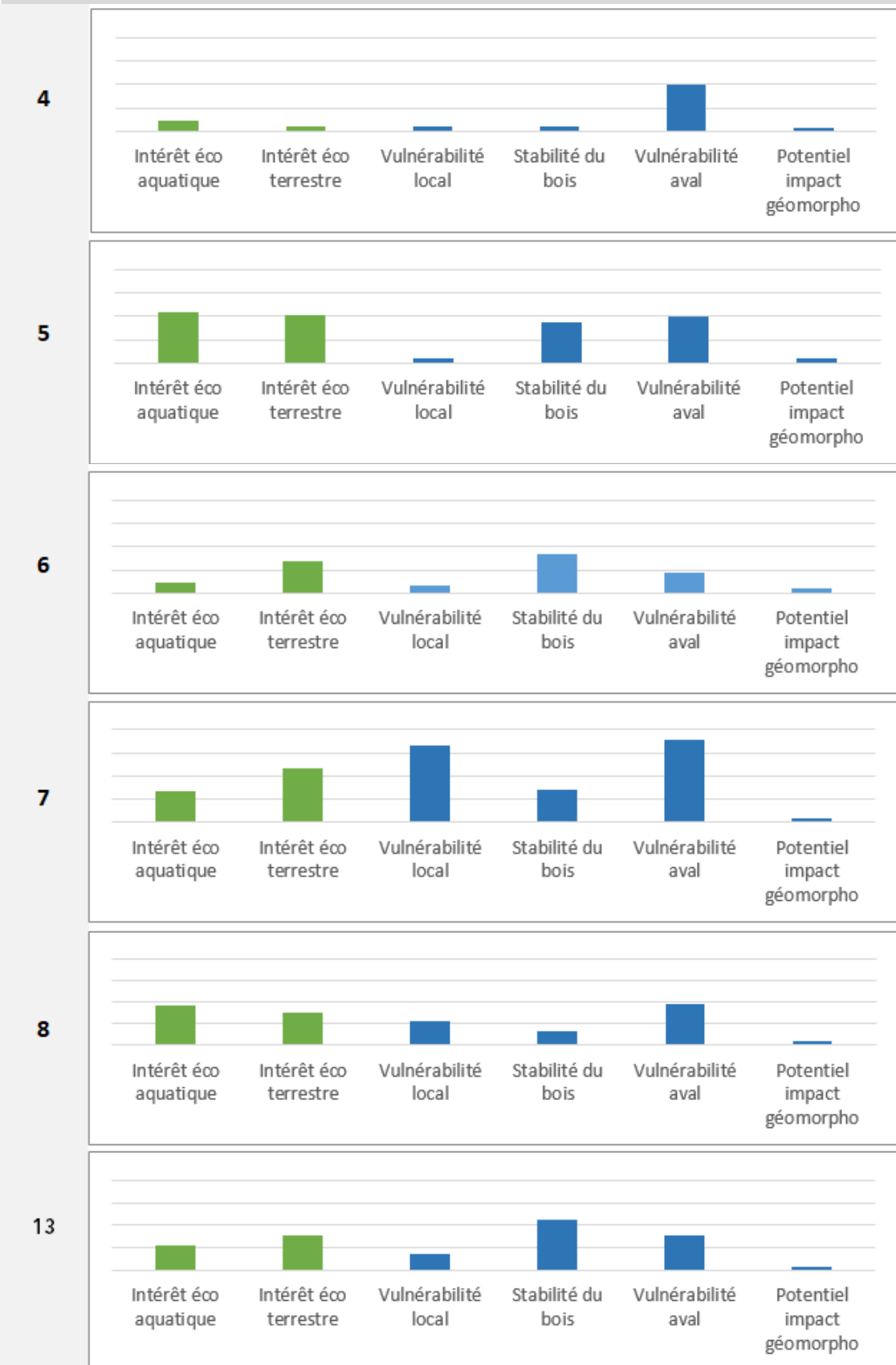


Figure 29 : Scores obtenus à l'aide du protocole sur les tronçons parcourus du Bréda (38)

### Commentaires sur des tronçons caractéristiques :

On remarque que pour le tronçon N°2 qui se situe juste à l'amont d'une zone urbaine, la vulnérabilité aval a été évalué forte à cause des enjeux et des verrous présents dans le tronçon N°1, et la vulnérabilité locale est modérée en lien avec la présence de la route D52B qui longe le Bréda. Un certain nombre de bois flottants ont été observé sur ce tronçon, ce sont des habitats pour la faune terrestre ou aquatique et leur retrait induirait donc une diminution de la diversité des habitats, cela est traduit par les scores élevés sur les volets « Intérêt écologique ».

En observant le tronçon N°7 qui traverse la zone urbaine d'Allevard, on remarque que la vulnérabilité locale et aval est très élevé à cause des enjeux au droit du tronçon et autour des verrous. En revanche, le tronçon N°8 juste à l'amont d'Allevard et qui est très naturel présente une vulnérabilité aval modérée du fait de verrous hydrauliques correctement conçu, et d'une occupation des sols moins vulnérables autour de ces verrous. De plus, la distance entre les bois flottants et les verrous problématiques du tronçon N°7 est relativement élevée.

### c) Modes de gestion suggérés

Nous proposons ici des modes des gestions alternatifs au retrait ou billonnage selon le contexte (méthode présenté dans le §3) sur certains tronçons caractéristiques du cours d'eau.

Sur le tronçon N°2, le bois flottant avait été évalué comme présentant un risque important pour l'aval, et un intérêt modéré à fort pour le milieu naturel (Figure 29). Pour cette raison, le curseur de ce tronçon a été placé plus ou moins au centre du graphique conceptuel (Figure 30), les modes de gestion alternatifs suggérés par la figure sont alors de la stabilisation pour le bois déjà présent dans le corridor fluvial, ainsi que la mise en place d'un piège à flottants ou l'aménagement des verrous hydrauliques pour les rendre transparent aux flottants. L'approche de gestion sur ce cours d'eau ne nous étant pas connu et les niveaux de lignes d'eau dans la zone urbaine non plus, nos suggestions seraient à confirmer à l'aide de données historiques relevant des blocages et de résultats de modélisation validant le risque de mise en charge des ponts., sinon la non intervention est sans doute à privilégier. Dans le cas présent, les ouvrages observés semblaient correctement dimensionnés, mais ne connaissant pas l'historique des crues du Bréda, nous pouvons considérer dans cet exemple que le secteur est jugé vulnérable au bois flottant. Les verrous à l'aval du tronçon N°2 semblant plutôt bien conçus, leur réaménagement ne semblent donc ici pas le plus pertinent. La mise en place d'un piège à flottants à l'amont de la zone urbaine en revanche, en choisissant là où le lit est le plus encaissé et en le dimensionnant correctement, permettrait de réduire fortement le risque d'embâcles au niveau des verrous hydrauliques tout en diminuant l'entretien à l'amont de l'ouvrage. La stabilisation de certains bois flottants déjà présents peut également être judicieux pour favoriser la diversification des faciès et des habitats dans le cours d'eau.

Le tronçon N°7 qui traverse la zone urbaine d'Allevard (38) est sensible aux crues car des habitations et infrastructures bordent l'ensemble du Bréda sur ce secteur, et car les ouvrages de franchissement sont de tailles intermédiaire ( $\approx 10\text{m}$ ). Ils présentent donc un risque potentiel vis-à-vis du bois flottant (formation d'embâcles et augmentation des désordres). Les scores obtenus sur ce tronçon indique une forte vulnérabilité locale et aval du tronçon à l'égard du bois flottants (Figure 29), le curseur associé a donc été placé très à droite du graphique conceptuel (Figure 30). Le mode de gestion alternatif qui en ressort est l'aménagement des verrous hydrauliques (ici encore à confirmer avec des éléments d'archives et des résultats de simulation hydraulique : la cartographie des zones inondable semble laisser entendre que le Bréda ne risque pas de déborder dans la traversée urbaine, ceci est à confirmer avec un scénario comprenant du transport de gros bois flottants) : sachant que plusieurs verrous sont présents sur le tronçon, les réaménager tous auraient un coût vraisemblablement important, il semble peu envisageable que cette solution soit retenue par une petite ville comme Allevard. Sinon, il faut regarder sur les tronçons amont quelles autres solutions peuvent être envisagées.

Le tronçon directement à l'amont du N°7 est le N°8, il présente très peu d'enjeu et une bonne diversité d'habitats pour le milieu aquatique et terrestre. Les modes de gestion alternatifs proposés à partir des scores obtenus sont : la mise en place d'un piège à flottants / aménagement des verrous et/ou de la stabilisation des flottants. Un ouvrage de piégeage des flottants serait en effet pertinent compte tenu des enjeux aval et de l'absence d'enjeu au droit du tronçon. Il faudrait le concevoir dans une zone assez proche de la zone urbaine mais où une surélévation du niveau d'eau n'engendrerait pas de risque supplémentaire. L'amont direct de la ville présente une configuration favorable. La stabilisation semble peu nécessaire au vue de la plutôt bonne diversité d'habitats déjà présents. Enfin, un entretien régulier à l'aval du tronçon est compréhensible au vu de la proximité des enjeux, mais sur le reste du tronçon la non intervention semble recommandée. Par ailleurs, lors des relevés sur ce secteur, des flottants de très grandes dimensions semblaient n'avoir pas bougé depuis des années, la stabilité de ces grandes pièces sur ce tronçon étant forte, cela confirme le peu de nécessité d'entretenir sur l'amont de ce tronçon.

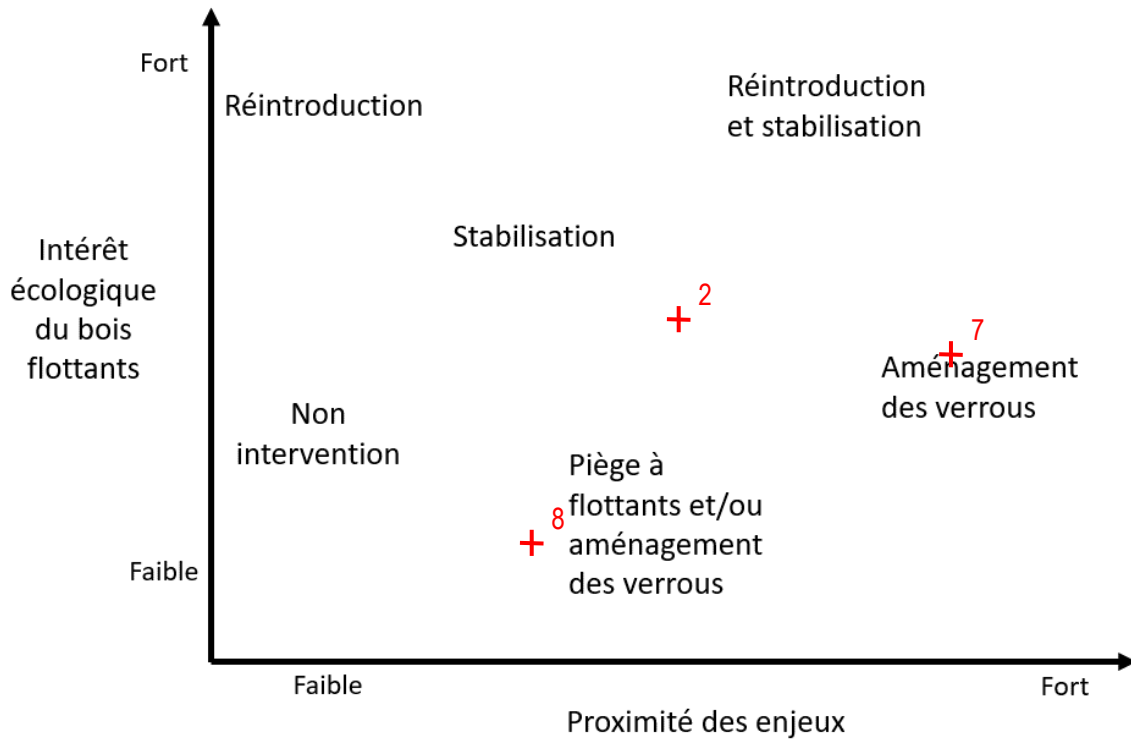
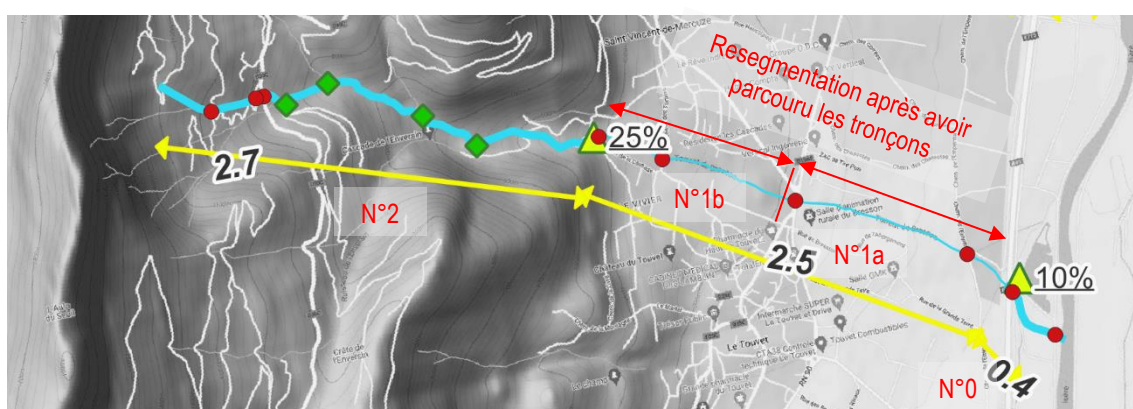


Figure 30 : Modes de gestion proposés pour quelques tronçons caractéristiques du Bréda (38), en rouge les numéros de tronçons concernés

## B. Bresson

### a) Présentation synthétique du bassin versant et segmentation appliquée

Le Bresson est un torrent de montagne prenant sa source dans le massif de la Chartreuse (Alpes) à environ 1 200 m d'altitude sous un dérochoir calcaire de grande hauteur. Cette falaise alimente le torrent en grandes quantités de sédiment. Il subit vraisemblablement des épisodes de laves torrentielles dans son haut bassin versant. Une plage de dépôt équipe le torrent à l'apex de son cône de déjection. Malgré cette dernière, le Bresson est un torrent visiblement très actif dans la partie haute de son cône de déjection. La morphologie du lit laisse toutefois plutôt penser à des crues de charriage très intense, capable de mobiliser de façon épisodique les très gros blocs qui pavent le lit. Le torrent s'écoule sur 6 km jusqu'à sa confluence avec l'Isère, à 240 m d'altitude. Son bassin versant a une superficie d'environ 8 km<sup>2</sup> et sa largeur est assez variable selon les tronçons. Son cône de déjection, très bien formé, est équipé de plusieurs barrages de correction torrentielle qui stabilisent sont profil en long. Des traces d'anciens accès au lit permettant à des engins de curer ce dernier étaient visibles. Au pied du cône de déjection, la pente du lit présent un point d'inflexion et des dépôts de charriages étaient visibles. Le Bresson est franchi par l'autoroute A41 sensiblement 400 m avant sa confluence avec l'Isère.



- Ouvrage de franchissement
  - ★ Obstacle à l'écoulement majeur
  - Enjeu potentiel
  - ◆ Affluent
  - ▲ Tronçon de pente homogène
  - Sinuosité**
  - Rectiligne (<1,05)
  - Sinueux (1,05-1,5)
  - Méandreux (>1,5)
- 0 0,5 1 km

Figure 31 : Segmentation du Bresson (38) délimitée par les flèches jaunes (version avant d'avoir arpenté le cours d'eau), avec les tronçons numérotés en rouge

Nous avons segmenté le lit en trois tronçons principalement déterminés par l'occupation du sol en lit majeur (zone urbaine ou naturelle par exemple), l'encaissement du cours d'eau ainsi que les verrous hydrauliques (ponts principalement). Après avoir arpenté le cours d'eau, un tronçon supplémentaire a été parcouru à l'aval, au niveau de la confluence avec l'Isère, et le tronçon N°1 a été séparé en deux tronçons : une rupture de la continuité sédimentaire au droit d'une rupture de pente a été identifiée au pied du cône de déjection.

N° Tronçon	Longueur (km)	Pente (%)	Confinement	Occupation du sol en lit majeur
0	0,4	1,8	Non	Rural
1a	1,3	10	Non	Urbain
1b	1,2	10	Non	Urbain
2	2,7	25	Oui	Naturel

### b) Scores des volets

La zone sauvage figuré par le tronçon n°2 n'a pas pu être arpentée faute de temps mais l'ensemble du lit depuis l'apex du cône de déjection jusqu'à la confluence avec l'Isère ont été arpentés pour y appliquer le protocole. Les résultats sont présentés ci-dessous : pour chaque tronçon, les scores de chaque volet ont été déterminé grâce au protocole.

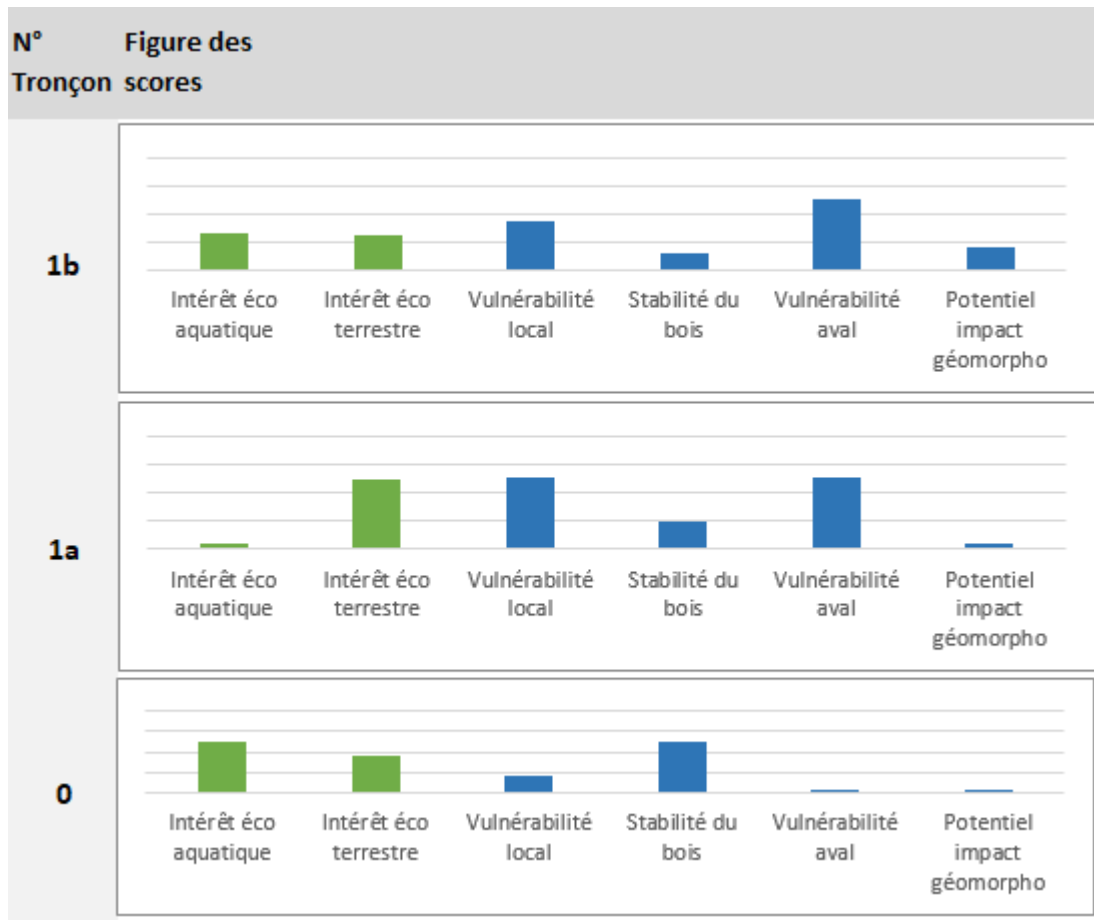


Figure 32 : Scores obtenus à l'aide du protocole sur les tronçons parcourus du Bresson (38)

#### Commentaires sur les tronçons :

On remarque que pour le tronçon N°0 qui est entre l'autoroute et la confluence avec l'Isère, la vulnérabilité aval est estimée très faible et celle locale relativement faible, cela reflète bien la non présence d'enjeu au droit ou à l'aval du tronçon. En revanche, l'intérêt écologique du bois flottant est fort car le cours d'eau présente peu d'habitats sur ce tronçon, la présence de bois est donc bénéfique et souhaitable sur ce secteur.

Le tronçon N°1a qui traverse des zones urbaines et rurales sur le cône de déjection a des scores sur les volets vulnérabilité locale et aval élevés, qui représentent bien la présence quasi-permanente d'enjeux modérés ou modérés/forts le long du cours d'eau sur ce tronçon.

Enfin, quelques habitations sont présentes sur le tronçon N°1b, l'activité torrentielle du Bresson fait que ces enjeux sont vulnérables malgré leur distance avec le cours d'eau mais c'est plutôt le pont sur la route départementale et les potentiels débordements vers les bâtis situés autour du tronçon aval qui sont relevés à travers le critère de vulnérabilité aval.

#### c) Modes de gestion suggérés

Nous proposons ici des modes des gestions alternatifs selon le contexte (méthode présentée dans le paragraphe §3) sur certains tronçons caractéristiques du cours d'eau.

Comme détaillé dans le paragraphe précédent, le tronçon N°0 du Bresson ne présente pas d'enjeu et un manque de diversité des habitats. Le curseur associé a donc été placé très à gauche du graphique conceptuel (Figure 33), et le mode de gestion proposé est la non intervention. Cette solution semble ici appropriée, le bois présent sur ce tronçon n'entraîne pas de risque pour les infrastructures ou propriétés, et permet de créer des habitats qui manquent aujourd'hui pour les espèces aquatiques et terrestres. L'option de réintroduire du bois pourrait être envisagée mais devrait vraisemblablement s'accompagner d'une analyse des potentiels effets morphologiques de ces derniers : le Bresson présente dans sa dernière portion un lit très étroit où la capacité érosive du cours d'eau semble limitée. La zone est aussi vraisemblablement soumise à des inondations par refoulement de l'Isère. Hors il ne peut être exclu que des embâcles génèrent des barrages dans ce lit trop étroit ce qui pourrait avoir des effets de remous hydraulique et de remous solide en amont jusqu'à l'autoroute et en amont. Dans un premier temps, il serait ainsi préférable de réintroduire

des flottants dans des configurations favorisant les érosions de berges et l'élargissement du lit afin que les écoulements puissent contourner les accumulations qui se formeront.

L'occupation des sols du tronçon N°1a est principalement rurale (agriculture et habitations) et deux ponts présentent des risques d'obstruction (franchissement de l'A41 et de la RD1090), les solutions de gestion du bois flottant proposées par le graphique (Figure 33) sont la mise en place d'un piège à flottants et l'aménagement des verrous hydrauliques. Le pont de l'A41 est globalement assez bien dimensionné, il semble inconcevable de rehausser l'autoroute sur cette portion et le lit du Bresson divague dans la zone naturelle de 300 m de long située directement à l'amont où le torrent dépose ses sédiments charriés : ce secteur est une zone de dépôt préférentiel des flottants qui fait finalement déjà office de piège à flottant tant que l'on maintient le caractère large et divaguant du torrent sur la zone. Concernant la route départementale, le principal risque semble être la présence du pont submersible juste à l'amont du pont de la D1090 qui de, par sa conception, présente une probabilité non négligeable d'être obstrué (faible gabarit, faible revanche, forts apports solides). Un aménagement de ce pont submersible ou la mise en place d'un piège à flottant environ 200m à l'amont permettrait de réduire le risque induit par le bois flottant en crue, les coûts de chacune de ces solutions sont à comparer entre eux ainsi qu'avec les dommages éviter pour choisir le mode de gestion le plus adapté.

Enfin, le tronçon N°1b est très naturel et le premier verrou hydraulique est assez éloigné, mais des enjeux à l'aval le rendent tout de même un peu sensibles au bois flottants au vu de la forte activité torrentielle du cours d'eau. Néanmoins, le risque est moins lié à la présence de bois, qui serait certainement broyé en grande partie par l'intensité du transport solide et les granulométries transportées dans le Bresson, qu'à l'activité géomorphologie intense. La quantité de bois flottant relevée dans le Bresson est d'ailleurs particulièrement faible (7 pièces ou accumulations par km en moyenne). Les modes de gestion suggérés par le graphique conceptuel sont la stabilisation du bois et la mise en place de piège à flottants ou l'aménagement des verrous. Compte tenu de la puissance des crues et de l'ouvrage plutôt correctement dimensionné : la stabilisation paraît peu judicieuse et l'aménagement des verrous concernerait ceux du tronçon N°1a (voir solutions proposés au paragraphe précédent). Enfin, une plage de dépôt est présente sur le tronçon N°1b et joue le rôle de piège à flottants, il ne paraît donc pas nécessaire de construire un nouvel ouvrage un peu plus à l'aval sans réflexion globale sur le transit sédimentaire de ce cours d'eau. Le maintien des zones de divagation située sur l'ensemble du tronçon N°1b qui contribuent à réguler le transport de bois flottant et une vigilance accrue sur le pont submersible situé à la jonction des tronçons N°1b et N°1a sont vraisemblablement les options à considérer sur ce torrent.

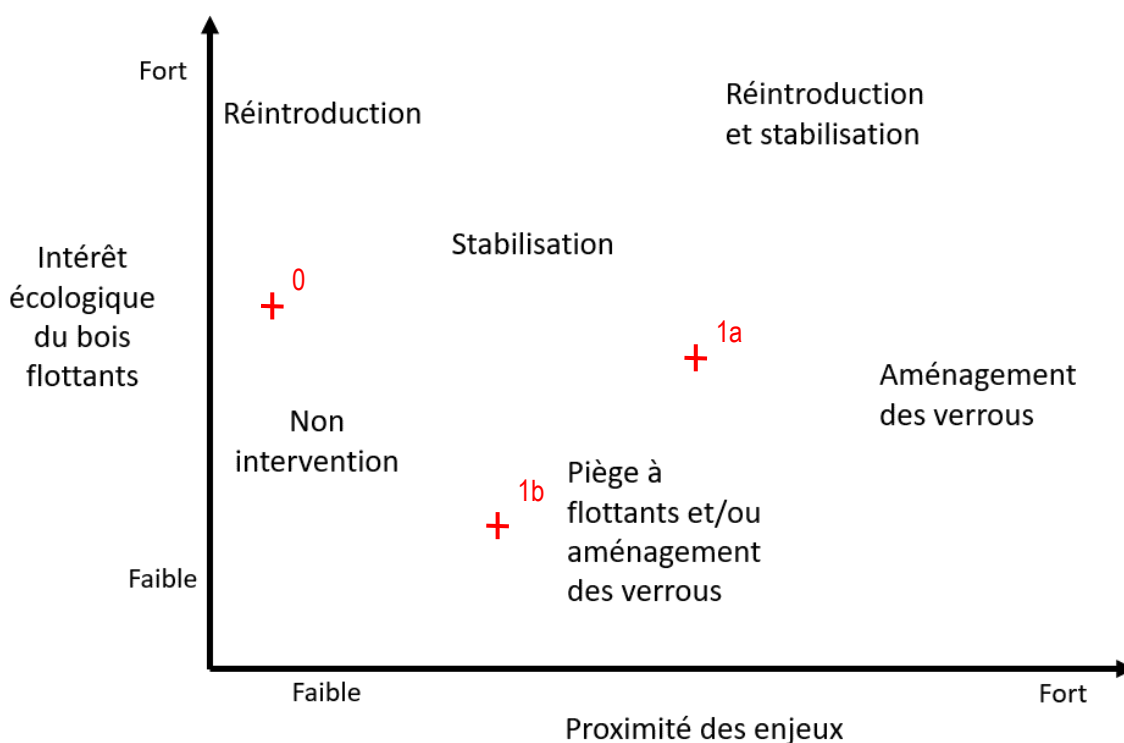


Figure 33 : Modes de gestion proposés pour quelques tronçons caractéristiques du Bresson (38), en rouge les numéros de tronçons concernés



## C. Alloix

### a) Présentation synthétique du bassin versant et segmentation appliquée

L'Alloix est le cours d'eau voisin du Bresson présenté dans le paragraphe précédent. Ce ruisseau de montagne prend aussi sa source dans le massif de Chartreuse (Alpes) à environ 1 350 m d'altitude. Au contraire de son voisin très actif, le ruisseau d'Alloix présente des sources sédimentaires beaucoup moins actives et relève plus de la catégorie des ruisseaux que de celle des torrents. Il s'écoule sur 7,1 km jusqu'à sa confluence avec l'Isère à 241 m d'altitude. Son bassin versant a une superficie de 14,8 km<sup>2</sup> et sa largeur est d'en moyenne 6 m sur le secteur visité. L'Alloix est aussi franchi par l'autoroute A41 juste avant sa confluence avec l'Isère.

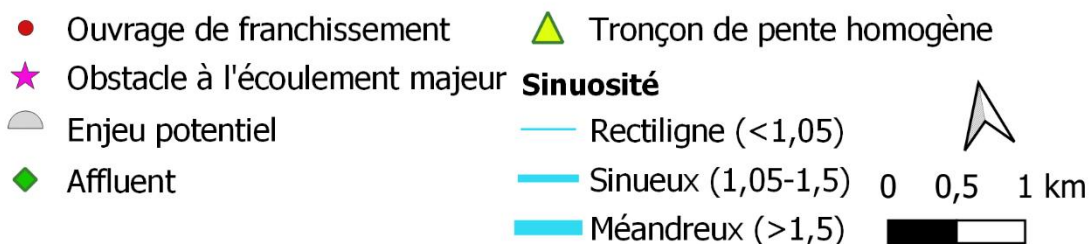
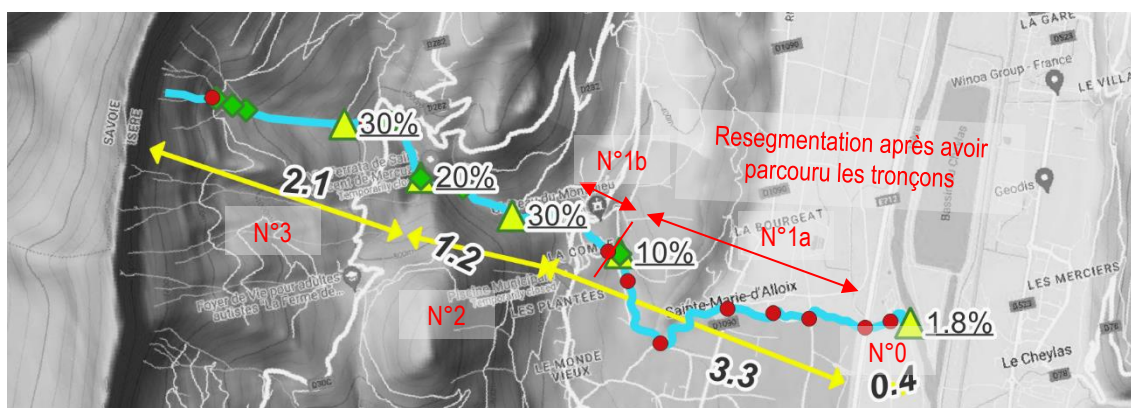


Figure 34 : Segmentation de l'Alloix (38) délimitée par les flèches jaunes (version avant d'avoir arpenté le cours d'eau), avec les tronçons numérotés en rouge

Nous avons segmenté quatre tronçons principalement déterminés par l'occupation du sol en lit majeur (zone urbaine ou naturelle par exemple), l'encaissement du cours d'eau ainsi que les verrous hydrauliques (ponts principalement). Après avoir arpenté le cours d'eau, un tronçon supplémentaire a été parcouru à l'aval, au niveau de la confluence avec l'Isère.

N° Tronçon	Longueur (km)	Pente (%)	Confinement	Occupation du sol en lit majeur
0	0,3	1,8	Non	Rural
1a	2,8	5-10	Non	Rural/Urban
1b	0,5	5-10	Non	Rural/Urban
2	1,2	10-30	Oui	Naturel
3	2,1	20-30	Oui	Naturel

### b) Scores des volets

L'Alloix a été parcouru sur environ 5 km, depuis la confluence avec l'Isère jusqu'à la grande cascade qui marque la transition entre les contreforts de la Chartreuse et le Plateau des Petites Roches et de Saint Marie du Mont. Le tronçon sommital n'a pas été parcouru faute de temps et parce qu'il était situé loin des enjeux. Les résultats sont présentés ci-dessous : pour chaque tronçon, les scores de chaque volet ont été déterminés grâce au protocole.

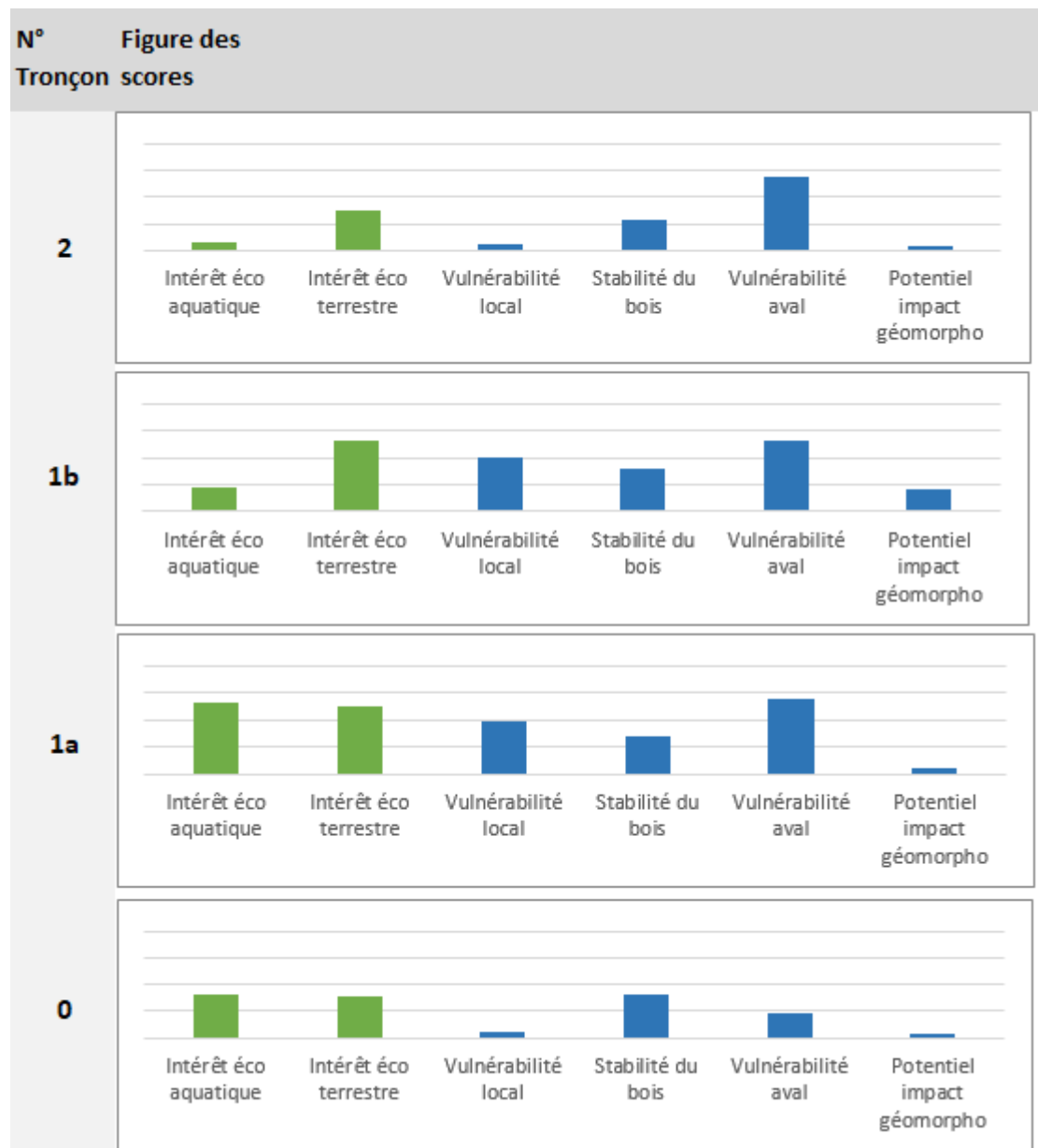


Figure 35 : Scores obtenus à l'aide du protocole sur les tronçons parcourus de l'Alloix (38)

#### Commentaires sur les tronçons :

On remarque que pour le tronçon N°0 qui est situé entre l'autoroute et la confluence avec l'Isère, la vulnérabilité locale est estimée très faible et celle aval relativement faible, cela reflète bien la non présence d'enjeu au droit ou à l'aval (présence d'une passerelle piétonne, seul enjeu situé sur le tronçon). En revanche, l'intérêt écologique du bois flottant est modéré car le cours d'eau présente relativement peu d'habitats sur ce tronçon, la présence de bois est donc bénéfique et souhaitable sur ce secteur. La configuration de ce tronçon terminal est très similaire à celui du Bresson. Les mêmes remarques s'y appliquent donc.

Les tronçons N°1a et N°1b qui traversent des zones rurales et faiblement urbanisées ont des scores sur les volets vulnérabilité locale et aval modérés, qui représentent bien la présence quasi-permanente d'enjeux modérés ou modérés/forts le long du cours d'eau sur ce tronçon.

Enfin, aucun enjeu n'est présent sur le tronçon N°2, ce qui est traduit par un score très faible du volet « Vulnérabilité locale », mais un score modérément fort a été attribué au volet « Vulnérabilité aval » du fait de la présence d'une zone urbaine autour des verrous hydrauliques aval.

#### c) Modes de gestion suggérés

Les modes de gestion du bois flottant suggérés par l'approche présentée dans le paragraphe §3 sur les tronçons arpentés du cours d'eau sont décrits ci-après.

Pour les mêmes raisons que pour le tronçon N°0 du Bresson, le mode de gestion proposé pour le tronçon N°0 de l'Alloix est la non intervention (Figure 36) : faible enjeu, et intérêt écologique du bois (le score faible au volet traitant du milieu aquatique vient principalement de la faible présence de bois immergé lors des observations de terrain). Notons par ailleurs que le cours d'eau est non – pérenne : il présente des phases d'absence totale d'écoulement dans la basse vallée par infiltration de ces derniers chaque été d'après les riverains.

Les tronçons N°1a et N°1b ayant à peu près les mêmes caractéristiques (ils auraient d'ailleurs pu être regroupés après la phase de terrain), les solutions de gestion du bois proposées sont pour les deux secteurs l'aménagement de verrous et la mise en place d'un piège à flottants. Du fait de la présence très importantes de verrous hydrauliques, il semble malheureusement peu probable que leur aménagement soit considéré. En revanche, en observant les scores du tronçon N°2 (forte vulnérabilité aval et faible vulnérabilité locale) et son bassin versant (boisé), la mise en place d'un piège à flottants comme préconisé par le graphique permettrait de répondre à la problématique du bois dans les tronçon N°1a et N°1b qui est principalement transporté depuis la tronçon N°2 très boisé. La fixation du bois sur ce type de cours d'eau (moins torrentiel que le Bresson) peut être envisagé sur les portions aux plus faibles pentes, mais l'ancrage doit être correctement étudié pour résister à la puissance des crues de l'Alloix.

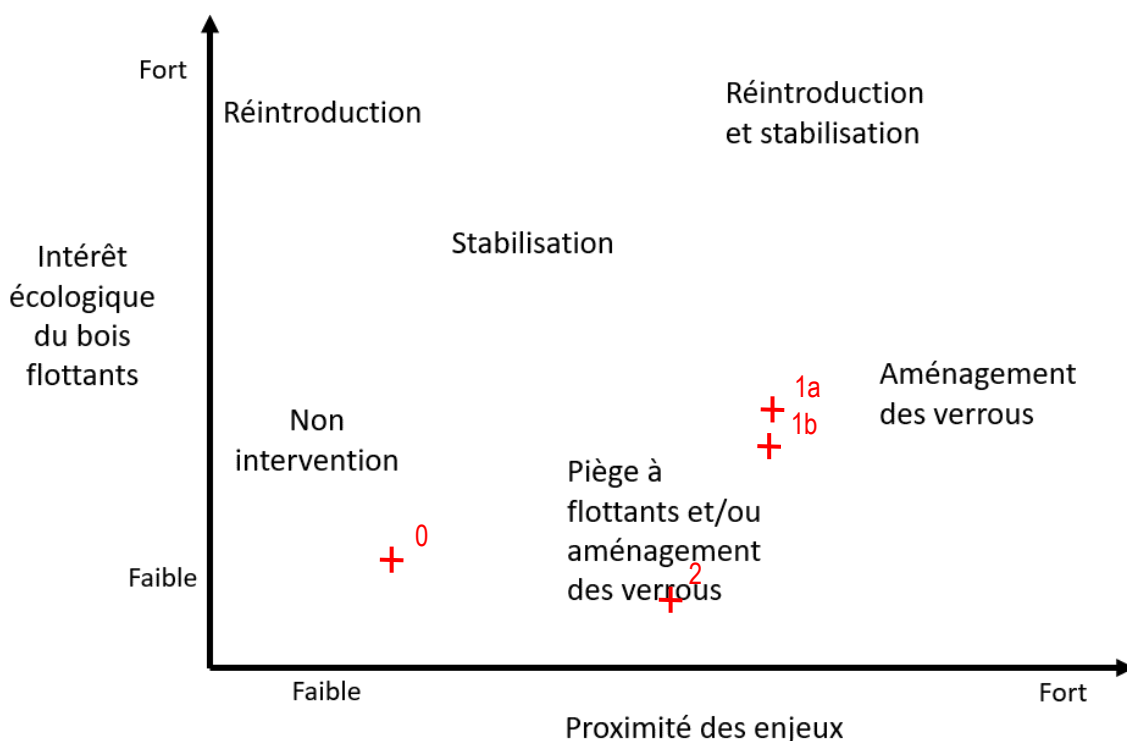


Figure 36 : Modes de gestion proposés pour quelques tronçons caractéristiques de l'Alloix (38), en rouge les numéros de tronçons concernés

## D. Brague

### a) Présentation synthétique du bassin versant et segmentation appliquée

La Brague est un fleuve côtier se jetant dans la méditerranée à Antibes (Alpes-Maritimes). Il prend sa source à Châteauneuf, à 340 m d'altitude, et s'écoule sur 21km jusqu'à son embouchure en mer. Son bassin versant a une superficie de l'ordre de 68 km<sup>2</sup> et sa largeur est d'en moyenne 10 m sur le secteur visité. La Brague a subi une très forte crue en Octobre 2015. Cette crue a été étudiée en détail dans lors du projet de recherche Européen NAIAD, notamment dans le rapport de Piton et al. (2018). Malgré de nombreuses années d'entretien, de grandes quantités de bois flottants ont été recrutés dans la ripisylve saine qui bordait le cours d'eau : le lit de la rivière s'est élargi en moyenne de 70% sur une longueur de l'ordre de 5 km. Plus de 3000 arbres ont été arrachés, formant près de 8500 m<sup>3</sup> de dépôt apparent dont seulement 1/3 a atteint la basse vallée et les enjeux, le reste s'est déposé naturellement dans les tronçons boisés.

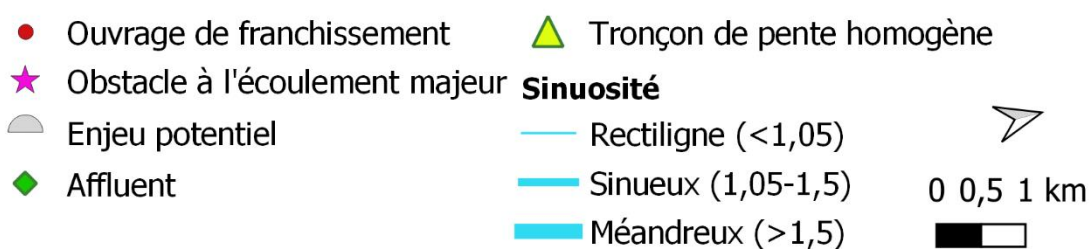
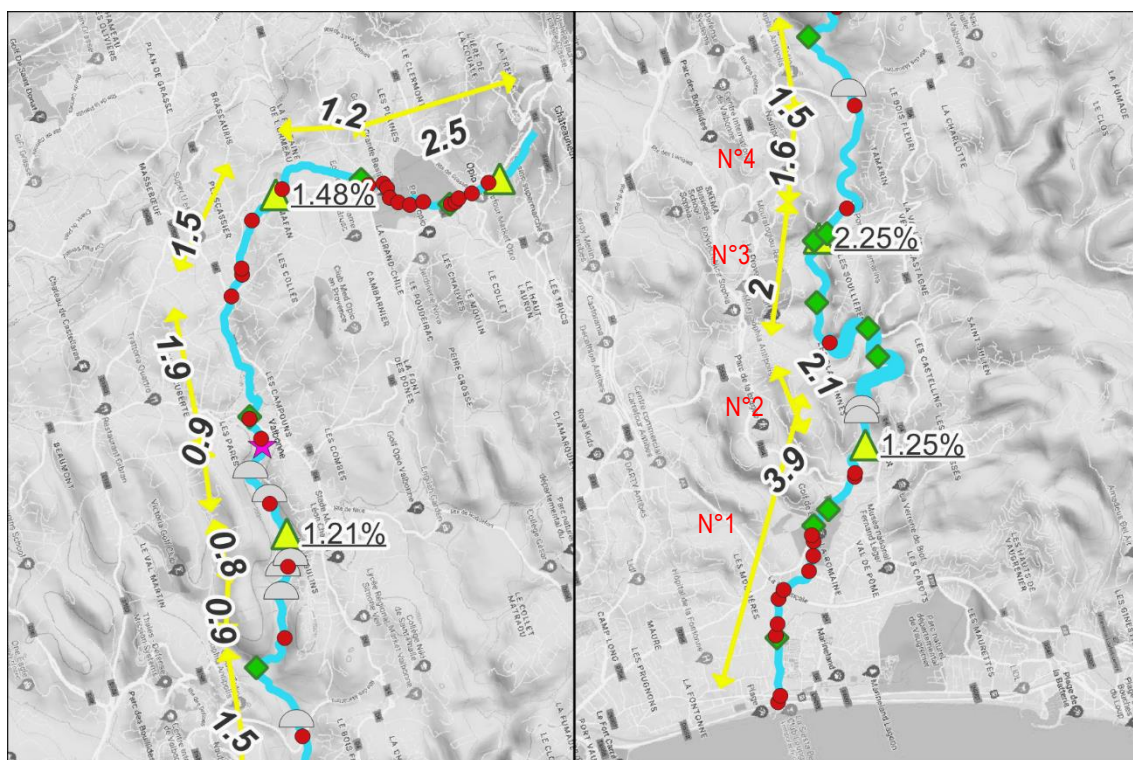


Figure 37 : Segmentation de la Brague (06) délimitée par les flèches jaunes (version avant d'avoir arpenté le cours d'eau), avec les tronçons arpentés numérotés en rouge, sur sa partie amont à gauche et sa partie aval à droite

Le lit de la Brague, depuis sa source jusqu'à son embouchure, a été segmenté en 12 tronçons principalement déterminés par les verrous hydrauliques (ponts principalement) et l'occupation des sols (lit majeur urbanisé ou boisé).

N° Tronçon	Longueur (km)	Pente (%)	Confinement	Occupation du sol en lit majeur
1	3,9	1,3	Non	Urbain
2	2,1	1,3	Oui	Naturel
3	2,0	1,3	Oui	Naturel
4	1,6	2,3	Oui	Naturel
5	1,5	2,3	Oui	Naturel
6	0,9	2,3	Oui	Naturel
7	0,8	2,3	Oui	Naturel
8	0,9	1,2	Non	Urbain/Naturel
9	1,9	1,2	Non	Urbain/Naturel
10	1,5	1,5	Non	Urbain
11	1,2	1,5	Non	Urbain
12	2,5	8,3	Non	Urbain

#### b) Scores des volets

Seuls quatre tronçons, les zones sources de bois flottant pendant la crue de 2015 ainsi qu'une zone amont moins active, ont été visités faute de temps. Les résultats sont présentés ci-dessous : pour chaque tronçon, les scores de chaque volet ont été déterminé grâce au protocole.

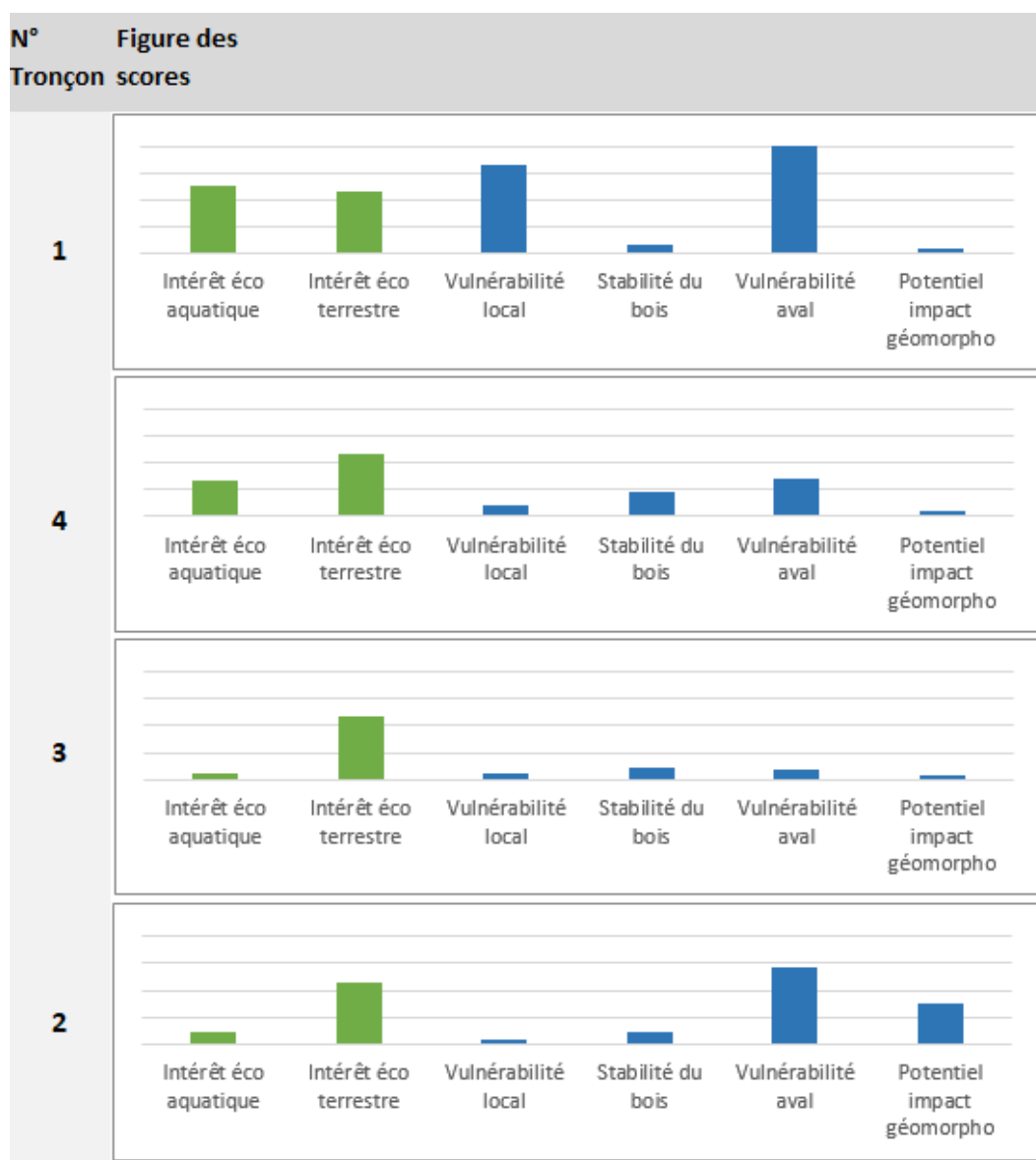


Figure 38 : Scores obtenus à l'aide du protocole sur les tronçons parcourus de la Brague (06)

### Commentaires sur des tronçons caractéristiques :

Le tronçon N°1 est celui le plus à l'aval du cours d'eau, la Brague y traverse Biot (06) puis Antibes (06), et de nombreux ouvrages de franchissement sont présents dont un ouvrage composé d'une multitude de buses de faibles travées qui permet le franchissement de l'autoroute A8. Les enjeux sont donc très importants et la vulnérabilité au droit du tronçon et autour des verrous hydrauliques (un en particulier) est forte. Les scores issus du protocole sur les volets traitant de la vulnérabilité traduisent alors bien les observations. De plus, le cours d'eau est très peu diversifié sur ce tronçon, et aucun bois flottant n'a été observé, les scores modérés à élevés des volets écologiques sont donc en adéquations avec ce qui a été observé, voir même sous-évalués par la non-présence de bois.

Le tronçon N°3 quant à lui est dépourvu d'enjeu et traverse une zone naturelle, on remarque que les scores obtenus pour les volets sur la vulnérabilité représentent bien cette caractéristique.

La représentativité des critères des volets étudiés succinctement à travers ces tronçons de la Brague semble donc pertinente : les scores obtenus sont en cohérences avec les observations faites sur le terrain.

### c) Modes de gestion suggérés

Le tronçon N°1 traversant une zone urbaine avec des verrous hydrauliques (un en particulier), le curseur associé aux scores obtenus aux différents volets thématiques se situe très à droite sur le graphique conceptuel (Figure 39). La solution proposée est l'aménagement des verrous. Le verrou principal permet le franchissement de l'A8. Cet ouvrage a été obstrué par une grande quantité d'embâcle pendant la crue de 2015 ce qui a entraîné l'inondation et la coupure de l'autoroute. L'adaptation de cet ouvrage pour le rendre transparent est une option efficace, mais cela aurait un coût et un impact sur la circulation très élevé (cette option a été étudiée dans les travaux de Piton et al., 2020). Les scores modérés aux volets sur les intérêts écologiques du bois flottant sont vraisemblablement sous-évalués par la non-présence de bois sur ces tronçons (les scores aux sous-critères A2, A3, A4, B2, B3 et B4 ont alors été difficile à évaluer). En réalité, le milieu est plutôt altéré et manque d'habitats (ce point avait déjà été mis en évidence dans le travail de Gnonlonfin et al., 2019) : la réintroduction de bois de manière judicieuse (bien fixé au fond du lit et/ou sur les berges par exemple) permettrait d'avoir un impact très positif pour la biodiversité et aurait un effet négligeable sur la ligne d'eau en crue au vu de la largeur et de la profondeur de la Brague sur ce tronçon. L'ancrage doit néanmoins être très bien réalisé pour éviter que le bois soit emporté jusqu'aux verrous. Des protections de berge en génie végétal (fascines de saule) récemment réalisées ayant résisté à la crue de 2015, on peut faire l'hypothèse que des aménagements de bois mort ancré de la même façon sauraient aussi résister aux crues de la Brague.

Le tronçon N°2 présente très peu d'enjeu localement, et une vulnérabilité aval élevée causée par le tronçon N°1. L'intérêt écologique du bois a été jugé modéré, la mise en place d'un piège à flottants ou l'aménagement des verrous existant est donc préconisé. Comme expliqué précédemment, l'aménagement des verrous est un projet à long terme. En revanche, la construction d'un piège à flottants à l'aval du tronçon où le lit majeur est principalement naturel, encaissé et sans enjeu, permettrait de retenir la plupart des flottants transporté par le cours d'eau, évitant ainsi l'obstruction des verrous hydrauliques à l'aval. D'après les échanges que nous avons avec les gestionnaires du bassin versant (CASA – Communauté d'Agglomération de Sophia-Antipolis et SMIAGE – Syndicat Mixte pour les Inondations, l'Aménagement et la Gestion de l'Eau maralpin), l'option des pièges à embâcle est d'ailleurs activement étudiée dans la mesure où la maîtrise d'ouvrage de l'aménagement éventuel de l'autoroute est portée nationalement et que les gestionnaires du cours d'eau n'ont que peu de prise sur un tel projet.

Enfin, le tronçon N°3 ne présentant ni enjeu local ni à l'aval direct la solution préconisée à l'issu du protocole est la non intervention. Cette option est tout à fait pertinente dans ce contexte si un piège à flottant est conçu sur le tronçon aval. Cela permettrait de laisser le bois se déposer naturellement dans le cours d'eau et sur ses abords, permettant la création de nombreux habitats pour la faune terrestre et aquatique. En effet, lors de notre passage sur ce tronçon, aucun flottant de taille suffisante (>1m) n'a été observé, ce qui est une altération majeure du milieu naturel. Notons par ailleurs que les analyses du transport de bois flottant qui a eu lieu pendant la crue de 2015 montraient bien que des dépôts massifs ont eu lieux dans la zone naturelle située à l'aval de ce tronçon. Ce cas d'étude bien documenté justifie bien qu'au-delà d'une certaine distance, l'entretien de la ripisylve dans l'objectif de réduire la quantité d'embâcle transporté est une option qui a peu d'efficacité.

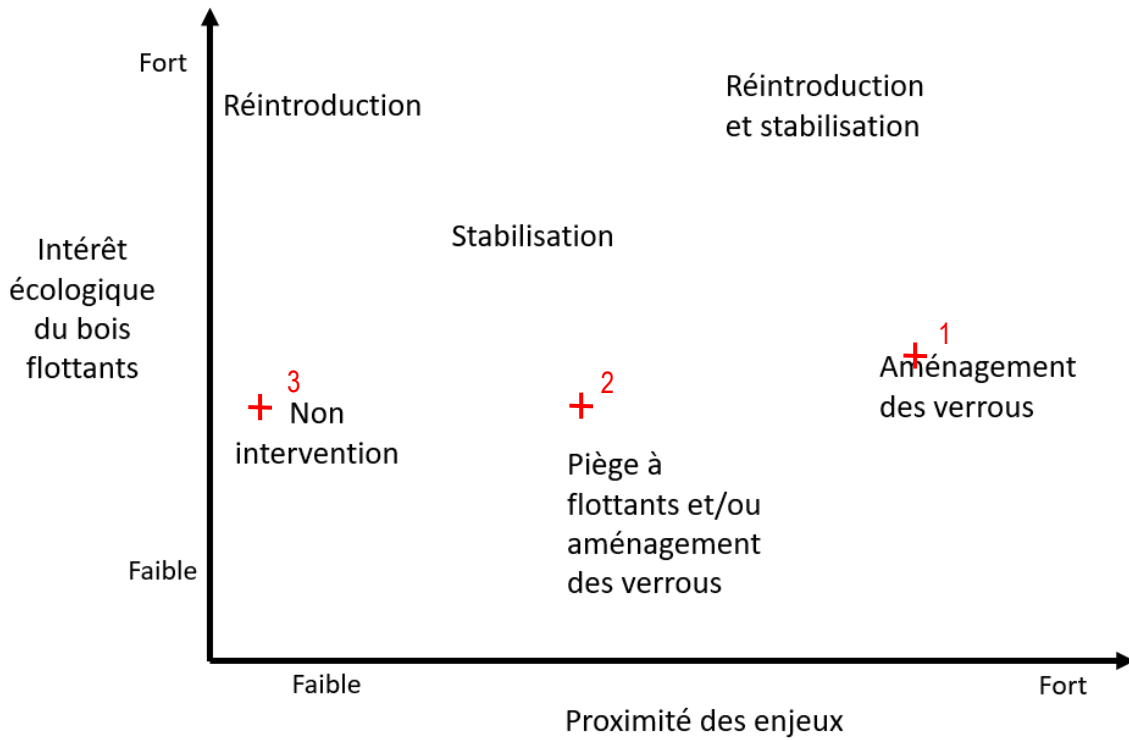
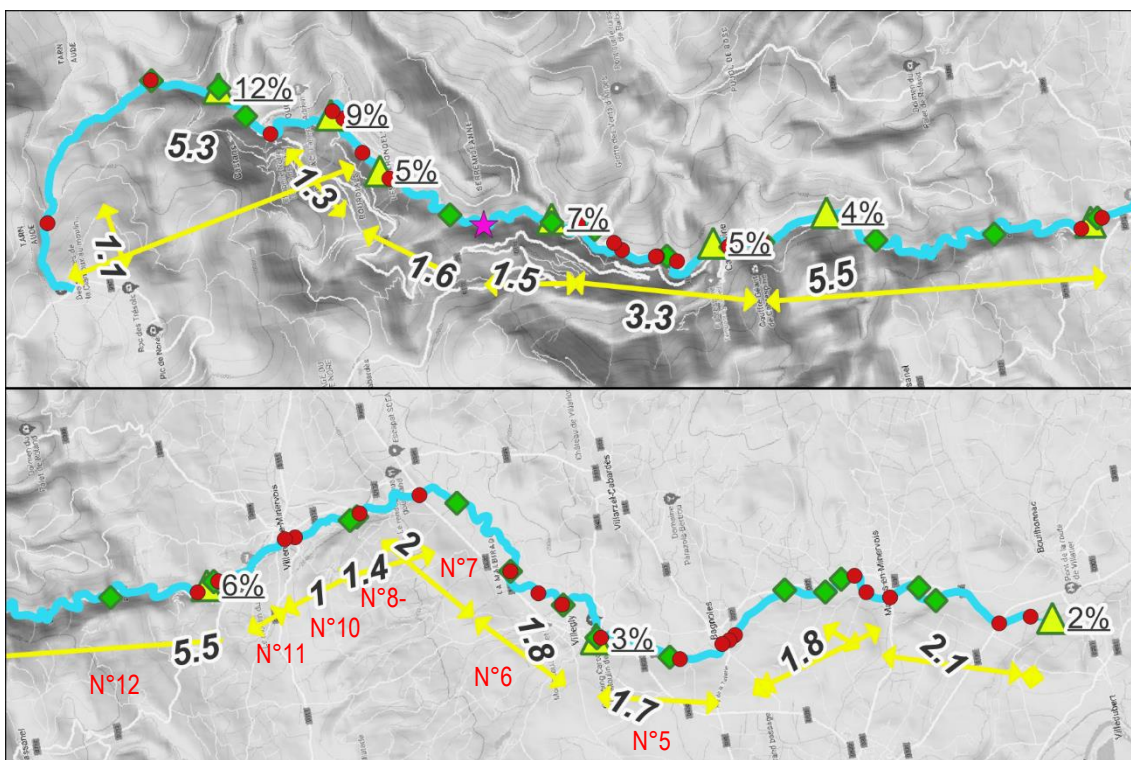


Figure 39 : Modes de gestion proposés pour quelques tronçons caractéristiques de la Brague (06), en rouge les numéros de tronçons concernés

## E. Clamoux

### a) Présentation synthétique du bassin versant et segmentation appliquée

La Clamoux est une rivière à caractère torrentiel soumise à une hydrologie cévenole. Elle prend sa source dans la Montagne Noire (Aude), à environ 1 200 m d'altitude, et s'écoule sur 32km jusqu'à sa confluence avec l'Orbiel, à environ 90 m d'altitude. Son bassin versant a une superficie de 89 km<sup>2</sup> et sa largeur est d'en moyenne 6 m dans le secteur arpenté mais varie selon les secteurs.



- Ouvrage de franchissement
  - ★ Obstacle à l'écoulement majeur
  - Enjeu potentiel
  - ◆ Affluent
  - ▲ Tronçon de pente homogène
  - Sinuosité**
  - Rectiligne (<1,05)
  - Sinueux (1,05-1,5)
  - Méandreux (>1,5)
- 0 1 2 km

Figure 40 : Segmentation de la Clamoux (11) délimitée par les flèches jaunes (version après avoir arpenté le cours d'eau), avec les tronçons arpentés numérotés en rouge, sur sa partie amont en haut et sa partie aval en bas

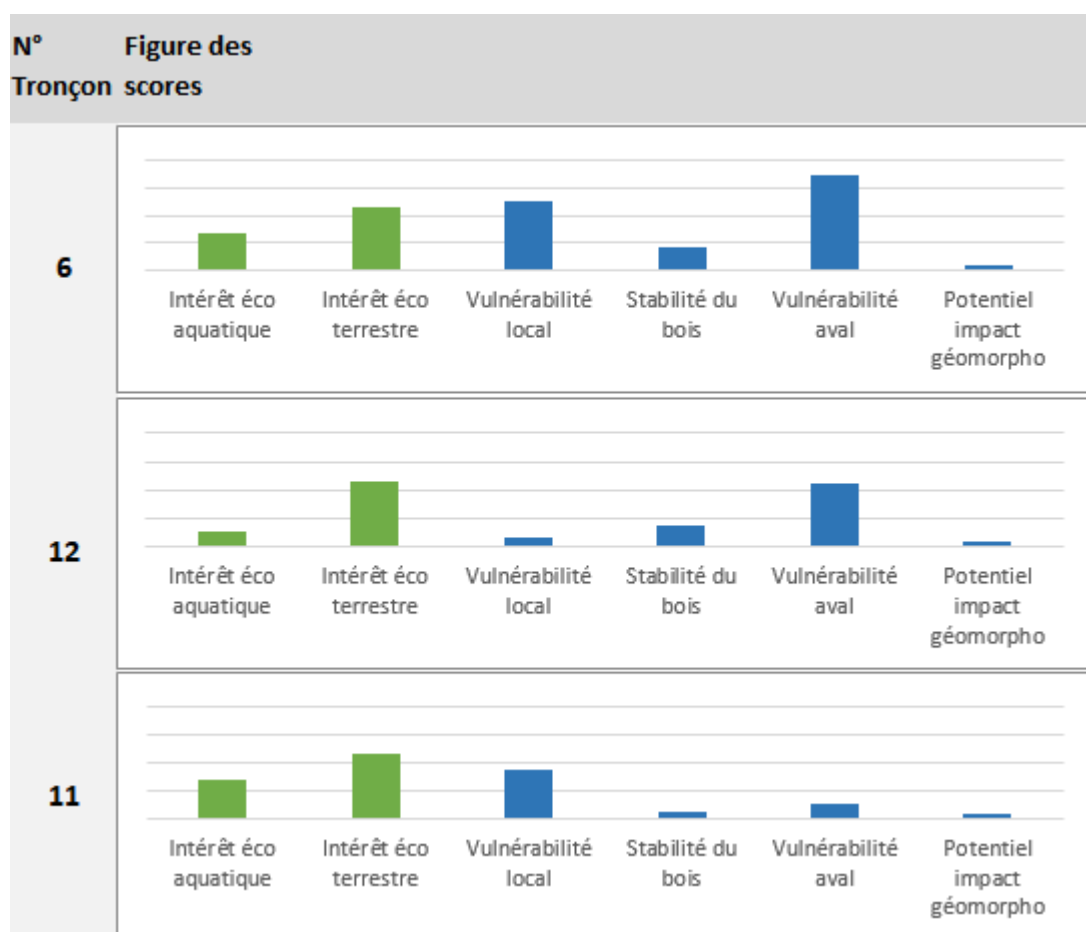
Le cours de la Clamoux a été segmenté en 17 tronçons principalement déterminés par les verrous hydrauliques (ponts principalement), l'occupation des sols (lit majeur urbanisé, agricole ou boisé) et l'encaissement (plaine ou gorges). Après avoir arpenté le cours d'eau, les tronçons ont été légèrement remaniés car des obstacles potentiels avaient été considérés comme des verrous délimitant des tronçons, mais au vu des dimensions des ponts ils n'ont plus été considéré comme des verrous par la suite.



N° Tronçon	Longueur (km)	Pente (%)	Confinement	Occupation du sol en lit majeur
1	0,3	2	Non	Rural
2	2,1	2	Non	Rural
3	0,6	2	Non	Rural
4	1,8	2	Non	Rural
5	1,7	2	Non	Rural
6	1,8	3	Non	Rural/Urban
7	2,0	3	Non	Rural
8-9	1,4	3	Non	Rural
10	1,0	3	Non	Urban
11	0,6	3	Non	Urban
12	5,5	6	Oui	Naturel + route
13	3,3	5	Non	Urban/Naturel
14	1,5	7	Oui	Naturel + route
15	1,6	7	Oui	Naturel + route
16	1,3	5	Oui	Naturel + route
17	5,3	9	Oui	Naturel
18	1,1	12	Oui	Naturel

#### b) Scores des volets

Neuf kilomètres du lit de la Clamoux, représentant sept tronçons, ont été arpentés dans leur intégralité pour y appliquer le protocole. Les résultats sont présentés ci-dessous : pour chaque tronçon, les scores de chaque volet ont été déterminés grâce au protocole.



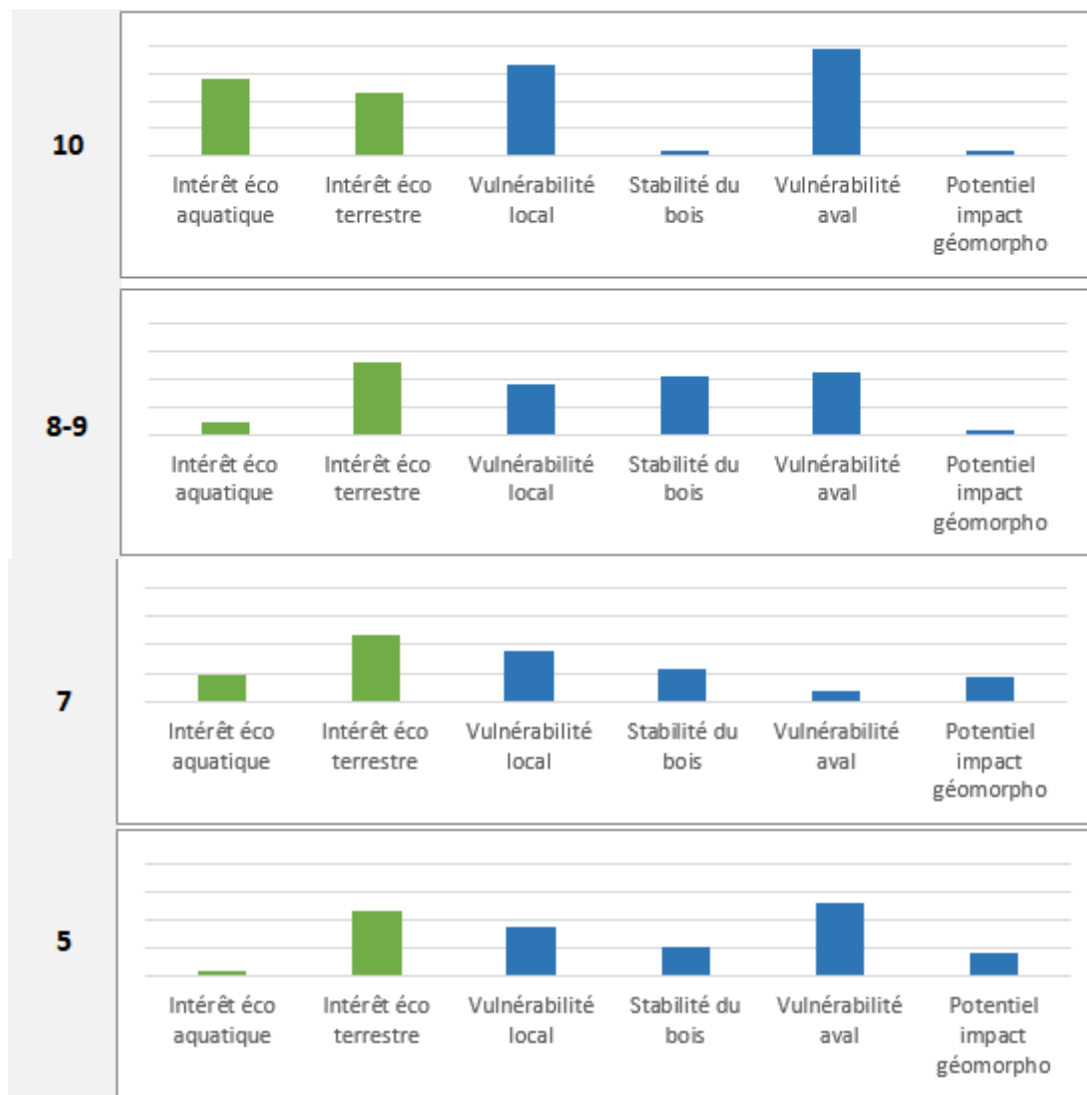


Figure 41 : Scores obtenus à l'aide du protocole sur les tronçons parcourus de la Clamoux (11)

#### Commentaires sur des tronçons caractéristiques :

Plusieurs ouvrages de franchissement sont présents sur le tronçon N°6 dont un pont à plusieurs arches qui est considéré comme un verrou hydraulique à l'extrémité aval, par ailleurs ce tronçon longe et traverse la commune de Villegly (11). Ces éléments font que le score du volet de vulnérabilité aval est élevé sur ce tronçon, ainsi que plus modestement le score du volet de vulnérabilité locale. Malgré la proximité entre la Clamoux et les habitations, le cours d'eau présente une certaine diversité d'habitats, d'où les scores modérés aux volets traitant des intérêts écologiques aquatique et terrestre du bois flottant. Le tronçon N°7 à l'amont de Villegly quant à lui, est entouré de zones agricoles et ne présente aucun verrou sur son linéaire. Un espace de bon fonctionnement y a été mis à disposition du cours d'eau pour laisser ce dernier divaguer au gré des crues sur une largeur définie préalablement. Les enjeux sont donc modérés sur ce tronçon, et malgré une zone urbaine à l'aval, la vulnérabilité aval est faible car les verrous sont éloignés et donc peu sensibles au bois issu du tronçon N°7. L'intérêt écologique aquatique du bois flottant a été estimé faible du fait de la présence de l'espace de bon fonctionnement : les faciès sont naturels et diversifiés grâce à cette politique de gestion. L'intérêt écologique terrestre reste modéré car très peu de bois mort non immergé a été inventorié. La stabilité du bois a été jugé relativement faible car les éléments observés étaient majoritairement petit par rapport à la largeur du cours d'eau et le potentiel de piégeage par les arbres était très limité (l'hydrologie du secteur est par ailleurs très forte, la crue de l'Aude de 2018 en était une manifestation caractéristique). Pour finir, le tronçon N°10 est intéressant car ses scores de vulnérabilité aval et locale sont très élevés : ces résultats sont cohérents car il traverse la zone urbaine de Villeneuve-Minervoise et un verrou hydraulique qui a déjà été en charge en crue est présent au milieu du tronçon. De plus, le cours d'eau étant assez fortement anthropisé, les milieux aquatique et terrestre présentent peu d'habitats et de diversité, ce qui explique les scores modérés à élevés des volets traitant de l'intérêt écologique du bois flottant.

### c) Modes de gestion suggérés

Les scores obtenus sur les différents volets pour le tronçon N°6 suggère la mise en place d'un piège à flottants ou l'aménagement des verrous pour répondre à la problématique du bois flottant. La présence d'un unique verrou (pont à plusieurs piles dans le lit situé au cœur du village) valide en effet ces deux options : l'aménagement de cet ouvrage réduirait fortement le risque lié au bois flottant sur ce tronçon. L'option de mise en place d'un piège à flottants aurait un effet assez comparable. Un secteur situé sur ce tronçon est déjà aménagé en ce sens : un ancien bras de la rivière situé en extrados d'un léger coude a historiquement été identifié par les gestionnaires comme une zone naturelle de piégeage des embâcles. La ripisylve sur les bords de ce bras mort est désormais entretenue pour faciliter la pénétration du bois flottant dans le bras mort et pour servir de peigne en travers des écoulements qui en ressortent. Le potentiel de piégeage des flottants est ainsi optimisé et le site est un piège à embâcle naturel en plus d'être une annexe hydraulique au cours principal de la Clamoux. Si l'option de mettre un piège à flottants complémentaire était envisagée, il faudrait cependant trouver un site où une augmentation de la ligne d'eau n'aurait pas de conséquences néfastes, les terres étant agricole et le lit assez peu encaissé, il ne sera probablement pas simple de trouver un tel site. Une alternative serait de reproduire la configuration de piège naturel dans d'autres endroits le long du tronçon. En définitive, c'est comme toujours l'aménagement des verrous qui règle la source des problèmes.

Le tronçon N°7 est situé juste à l'amont du N°6 précédemment analysé. Ce tronçon N°7 a fait l'objet d'une restauration de son espace de bon fonctionnement depuis plus d'une décennie. Ses abords présentent uniquement des enjeux agricoles (enjeux modérés) et le lit est seulement traversé par des passages à gué donc aucun verrou au transport des bois flottant ne le barre. Positionner un tel tronçon sur le diagramme conceptuel n'est pas trivial : la largeur du lit assez forte amène ce tronçon à avoir un score de stabilité du bois flottant plutôt faible. Cette largeur est en réalité liée à la restauration de l'espace de bon fonctionnement : la relativement large divagation du chenal et le transport sédimentaire y a permis le retour assez clair d'un style géomorphologique divaguant avec des bancs de graviers nombreux. Le transport de bois flottant dans une telle rivière est difficile à caractériser : en fonction de la magnitude de la crue, la présence régulière de bancs, de défluences et de bras secondaires aura tendance à piéger d'importants volumes de bois flottants. Lors de la crue de 2018, les gestionnaires ont par exemple bien relevé des dépôts de bois flottants dans ce secteur. Un platane au positionnement connu y a ainsi été transporté sur seulement 600 m tandis que des arbres du même gabarit avaient parcourus un linéaire dix fois supérieur sur le même secteur dans le lit étroit non restauré lors de la crue de 1998 (depuis le seuil en amont de la RD620 jusqu'au pont de Bagnoles qui avait été endommagé et qui a été refait suite à la crue, source : M. Dupuis du SMMAR). Si toutefois l'ensemble du lit moyen est noyé, il n'est pas exclu que les flottants ne parcourent d'importantes distances. La notion de proximité des enjeux est donc difficile à qualifier : le positionnement sur l'axe des abscisses du diagramme conceptuel est ainsi subjectif. La proximité avec les enjeux a finalement été évaluée « intermédiaire » dans sur le graphique conceptuel qui suit. Le mode de gestion du bois flottant proposé dans cette zone du graphique est la gestion par des pièges à flottants ou par l'aménagement des verrous. Les verrous menacés par d'éventuels flottants sont ceux situés sur le tronçon N°6 précédemment décrits. Comme aussi indiqué précédemment, un aménagement naturel visant à piéger les flottants est situé sur le tronçon aval. Si alternativement, il était considéré que le tronçon pourrait être placé plus à gauche sur le diagramme conceptuel dans la mesure où la présence de la zone restaurée régule partiellement le transit des flottants par sa morphologie plus large, aux tirants d'eau plus faibles et aux cheminements plus divaguant, le curseur du tronçon N°7 pourrait se retrouver dans la zone de gestion privilégié par « stabilisation », voire de « non intervention ». Ce dernier mode de gestion est le plus cohérent avec le principe d'espace de bon fonctionnement. Sa généralisation nécessitera vraisemblablement que plusieurs crues démontrent la capacité de la zone restaurée à correctement réguler le bois flottant avant d'être généralisé. Ce type d'observation nécessite un inventaire systématique et rigoureux des dépôts de bois flottant qui pourrait être réalisé par exemple à l'aide des formulaires Epicollect5 préparés dans le cadre de ce rapport. Un premier inventaire complet de ce secteur en septembre 2022 est déjà disponible à travers notre travail. L'option intermédiaire de mode de gestion par stabilisation des flottants semble, a priori, peut praticable dans des cours d'eau aussi actif tant d'un point de vue géomorphologique qu'hydrologique. L'option de stabilisation du bois flottant perd en effet de son sens dans les géomorphologies où les dépôts se font naturellement. Cette option est à étudier et à réfléchir plus en profondeur pour les cours d'eau les plus actifs.

Enfin pour le tronçon N°10 qui traverse la zone urbaine de Villeneuve-Minervois, il est proposé un aménagement des verrous hydrauliques. En effet, la vulnérabilité locale et aval est forte. Un seul ouvrage a été identifié comme pouvant poser problème en crue (pont mis en charge dans le vieux village). Rehausser le tablier de ce pont permettrait de réduire les risques liés au bois sur ce tronçon

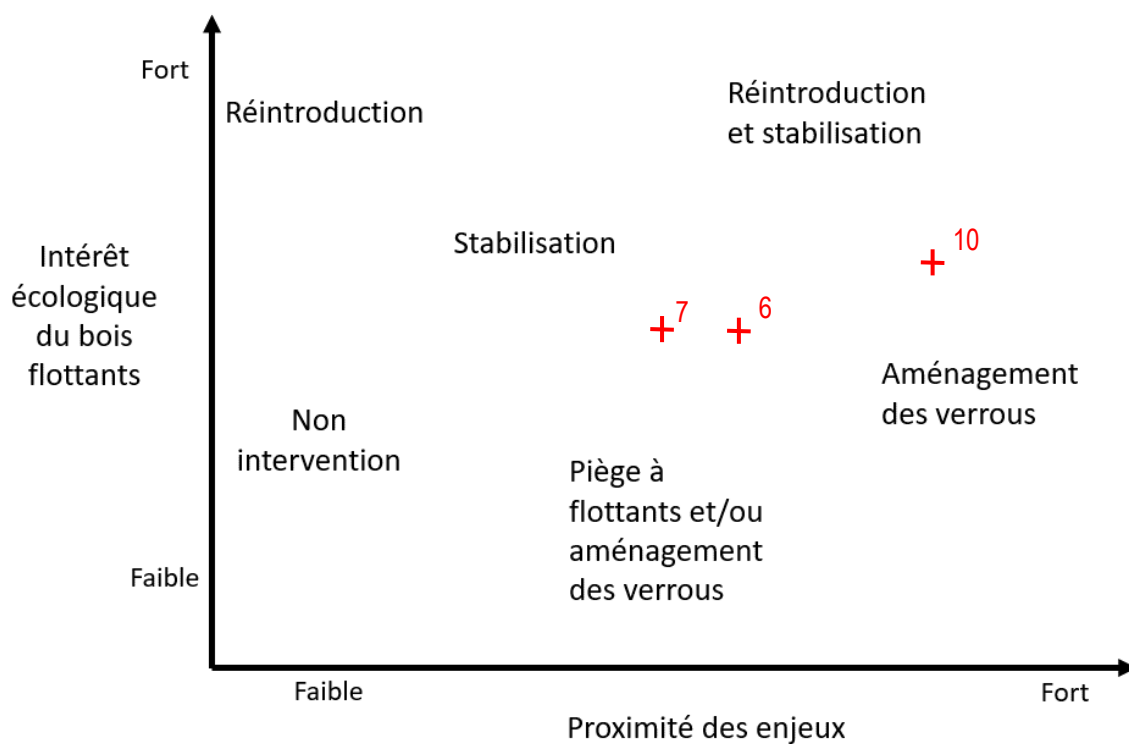


Figure 42 : Modes de gestion proposés pour quelques tronçons caractéristiques de la Clamoux (11), en rouge les numéros de tronçons concernés



**Centre Lyon-Grenoble - Auvergne-Rhône-Alpes**  
**2 rue de la Papeterie BP 76,**  
**38 402 St-Martin-d'Hères - France**

Rejoignez-nous sur :



<https://www.inrae.fr/centres/lyon-grenoble-auvergne-rhone-alpes>

