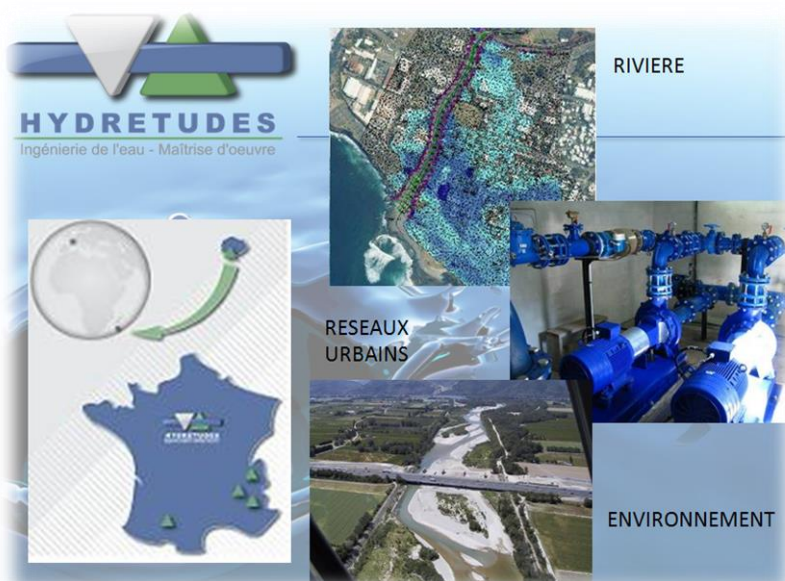




SYNDICAT D'ASSAINISSEMENT DU CANTON DE L'OISANS ET DE LA BASSE ROMANCHE

Phase 2
Rapport

PLAN DE GESTION DU TRANSPORT SOLIDE DU BASSIN VERSANT AMONT DE LA ROMANCHE Phase 2 : Orientations et plan de gestion



ARI-16-021
HYDRETUDES
Février 2018

Émetteur

HYDRETUDES

815 route de champ Farçon
74 370 ARGONAY
Tél. : 04.50.27.17.26
Fax : 04.50.27.25.64



Agréé digues et barrages

24 novembre 2012 JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE Texte 25 sur 119

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

Arrêté du 15 novembre 2012 portant agrément d'organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques

NOR : DEP1228754A

IV. – Dignes et petits barrages - études et diagnostics

NUMERO D'AGREMENT	DESIGNATION DE L'ENTREPRISE OU DE L'ORGANISME AGREÉ : digues et barrages - études et diagnostics	AGREÉ JUSQU'AU
1-d	HYDRETUDES	10 juin 2017

V. – Dignes et petits barrages - études, diagnostics et suivi des travaux

NUMERO D'AGREMENT	DESIGNATION DE L'ENTREPRISE OU DE L'ORGANISME AGREÉ : digues et petits barrages - études, diagnostics et suivi des travaux	AGREÉ JUSQU'AU
1-d	HYDRETUDES	10 juin 2017

Réf. affaire : ARI-15-123

Titre : Plan de gestion du transport solide du bassin versant amont de la Romanche

Indice	Date	Description	Statut	Établi par	Vérifié par	Approuvé par
01	19/10/2017	Première diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> Provisoire <input type="checkbox"/> Définitif	JMD-CM	DC	DC
02	23/02/2018	Refonte suite au COTECH du 18/12/2017	<input type="checkbox"/> Provisoire <input checked="" type="checkbox"/> Définitif	JMD	DC	DC

Directeur de projet : Didier Clément

Chef de projet : Jean-Manuel Deleuze

Maître d'Ouvrage : Syndicat d'Assainissement du Canton de l'Oisans et de la Basse Romanche

Document protégé, propriété exclusive d'HYDRETUDES. Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers à des fins autres que l'objet de l'étude commandé

HYDRETUDES

SACO – Plan de gestion du transport solide du bassin amont de la Romanche

SOMMAIRE

1	Préambule.....	5
1.1	Un contexte particulier et complexe pour un plan de gestion	5
1.2	Un plan de gestion à divers niveaux.....	6
1.3	Du diagnostic au plan de gestion	7
2	Éléments de connaissance du bassin versant de la Romanche	8
2.1	Les enseignements de la Phase 1	8
2.2	Les points forts du diagnostic hydromorphologique.....	8
3	Identification des secteurs sensibles	10
3.1	Définition	10
3.2	Les secteurs sensibles identifiés.....	10
4	Orientations de gestion	12
4.1	Grands axes et bases d’une stratégie de gestion.....	12
4.2	AXE 1 : Eviter la fixation du stock alluvial hérité.....	16
4.3	AXE 2 : Accompagner le transit sédimentaire lors des crues morphogènes	20
4.4	AXE 3 : Soutenir la fourniture sédimentaire	23
4.5	AXE 4 : Protéger les secteurs sensibles et les intégrer dynamiquement	27
4.6	AXE 5 : Contrôler pour évaluer, évaluer pour évoluer	28
4.7	AXE 6 : S’appropriier les cours d’eau.....	31
5	Plan de gestion.....	33
5.1	Deux niveaux d’intervention	33
5.2	Des actions à long terme.....	33
5.3	Des fiches spécifiques	34
5.4	Portefeuille de fiches-action.....	36
6	Glossaire	37
7	Références bibliographiques	42

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : schématisation de la faiblesse du couplage stock paraglaciale - stock alluvial.....	6
Figure 2 : Evolution de la bande active et de la sinuosité de tressage en amont de la Bayette.....	9
Figure 3 : Structures alluvionnaires végétalisées en amont de l'entrée de l'endiguement.....	11
Figure 4 : secteur amont proche de la Bayette à travailler (gabarit).....	11
Figure 5 : Hiérarchisation des actions suivant leur niveau de priorité	15
Figure 6 : Structures alluvionnaires à travailler	17
Figure 7 : évolution de la bande active du gave de Pau suite à la crue de 2013. Notez la forêt alluviale mise en place après la crue de 1937 et la forêt résiduelle en post-crue (flèche rouge)	19
Figure 8 : Exemple de relevé et de classification d'embâcles sur le Verdon (Hydrétudes, 2017)	21
Figure 9 : Buclet-Bayette et endiguement du Bourg d'Oisans	22
Figure 10 : point d'injection (1), zone d'emprunt et point complémentaires (2 à 5).....	25
Figure 11 : cartes postales anciennes montrant le couplage sédimentaire latéral du Vénéon au début du XXème siècle. A gauche : la Bérarde ; à droite : Au-dessus du bourg d'Arud	26
Figure 12 : sites potentiellement intéressants dans VEN_1	26
Figure 13 : entrée du système d'endiguement.....	27
Figure 14 : Contexte de la gravière du Vénéon	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Secteurs sensibles de la Romanche et du Vénéon	10
Tableau 2 : synthèse des orientations de gestion du bassin amont de la Romanche	14
Tableau 3 : réparation du stock alluvial par tronçon et par stades d'évolution (Romanche et Vénéon)	16
Tableau 4 : Suivi dynamique préconisé pour le bassin amont de la Romanche	30

LISTE DES ENCARTS

Encart 1 : La crise morphogénique	5
Encart 2 : Le glaciaire de la Romanche	5
Encart 3 : L'intérêt général.....	10
Encart 4 : l'accompagnement dynamique.....	12
Encart 5 : Les forçages dirigés	13
Encart 6 : Structures alluvionnaires, la « course contre la montre »	17
Encart 7 : Dépôt-obstruction-défluviation	19
Encart 8 : Les embâcles.....	20
Encart 9 : La recharge sédimentaire	23
Encart 10 : Les pathologies du riverain	31

1 Préambule

Crise morphogénique

Les cours d'eau sont sous forçage climatique. Le forçage climatique influence directement sur deux variables de contrôle principales : le débit liquide et le débit solide.

Lorsque le climat change (réchauffement ou refroidissement), les cours d'eau se réajustent sur le long terme. Niveau de base, fournitures sédimentaires, végétation... varient sous l'effet du changement climatique générant une crise morphogénique qui constitue une période d'adaptation, c'est-à-dire de réajustements.

Actuellement, les cours d'eau vivent une crise morphogénique liée à la péjoration climatique post-Petit Âge Glaciaire et au tarissement sédimentaire qui en résulte. Cette crise se traduit notamment par la métamorphose fluviale (Bravard, 1989) et l'incision des lits fluviaux.

Elle est souvent accentuée par les activités humaines qui génèrent une métamorphose anthropique.

Encart 1 : La crise morphogénique

Le Syndicat d'Assainissement du canton de l'Oisans souhaite définir un plan de gestion du transport solide du bassin versant amont de la Romanche.

Il est nécessaire de remettre dans le contexte de la **trajectoire géomorphologique** du bassin de la Romanche, analysée dans le cadre de l'état des lieux et surtout du **contexte géomorphologique** marqué par le glaciaire ce plan de gestion pour qu'il soit efficace à court terme mais comporte également une dimension long terme.

Il est ainsi nécessaire de l'adapter à la crise morphogénique actuelle (*cf.* Encart 1) et à son contexte particulier caractérisé par une péjoration climatique.

Cette péjoration climatique inhibe la fourniture sédimentaire et favorise notamment l'incision des lits fluviaux.

1.1 Un contexte particulier et complexe pour un plan de gestion

L'élément moteur de la dynamique fluviale des cours d'eau est la **fourniture sédimentaire**. Cette fourniture sédimentaire et le bilan sédimentaire qui en découle, doivent être entendus dans un double contexte de **péjoration climatique** :

Glaciaire de la Romanche en quelques chiffres

Bassin glaciaire : 1 100 km² (à +/- 50 km²)

Surface d'ablation : 550 km²

Flux glaciaire : convergent avec le glacier de l'Arc

Épaisseur de glace : 2 500 m en amont du Bourg d'Oisans et 2 700 m à la Bérarde

DMG : ≈ 18 000 ans BP (Dernier Maximum Glaciaire)

Réurrence glaciaire : au PAG et actuellement forte rétraction des glaciers relictuels.

Encart 2 : Le glaciaire de la Romanche

très importante de colluvions¹ dont certains, *via* les cascades sédimentaires, ont pu atteindre les cours d'eau et les recharger en alluvions.

- Pour les bassins englacés et pratiquement déglacés (comme c'est le cas de la Romanche et du Vénéon), *cf.* Encart 2, nous sommes en **fin de séquence paraglaciaire** (au sens de Church & Ryder, 1972) et seuls des matériaux issus de la décompression des versants sont susceptibles d'être produits,

- La période actuelle de **réchauffement** depuis la fin du Petit Âge Glaciaire (fin du XIX^{ème} siècle) limite la fourniture sédimentaire.

Ainsi, depuis le Dernier Maximum Glaciaire ou DMG (*cf.* Encart 2), une crise morphogénique s'est déroulée qui s'est traduite par la libération d'une masse

¹ Colluvions : les colluvions sont des dépôts détritiques de versants dont le processus de mise en place est l'érosion diffuse.

Cette crise a ainsi conduit au **Remblaiement Post-glaciaire Principal** (ou RPP, au sens de Jorda, 1980) des grandes vallées et ainsi dans la Romanche a conduit par exemple au remblaiement de l'ombilic du Bourg d'Oisans.

Depuis le DMG les glaciers n'ont cessé de fondre avec quelques périodes de récurrences dont le PAG (*i.e.* petites avancées sous la forme de crues glaciaires). Actuellement, depuis la fin du PAG nous sommes dans une phase de dégel du pergélisol en montagne (sol gelé en permanence en profondeur) et de fonte des derniers appareils glaciaires. Ainsi le refuge de la Pilatte en tête du bassin du Vénéon s'est fissuré et le glacier de la Pilatte s'est également fortement rétracté (2 km depuis 1850).

Nous sommes donc dans une période de crise morphogénique qui se traduit depuis le début du XXème siècle par une baisse drastique et certainement durable de la fourniture sédimentaire. La forte limitation des apports sédimentaires (relation entre le stock paraglaciale et le stock alluvial) conduit ainsi à une **incision des lits fluviaux** (Mercier, 2010).

Toutefois il convient de noter que de nombreux **réservoirs colluvionnaires** sont présents sur le bassin, mais se trouvent actuellement déconnectés des cours d'eau et ne peuvent donc être des **sources sédimentaires** pour les cours d'eau. En effet, on considère que moins de 5% des sédiments libérés par la séquence paraglaciale depuis le DMG ont été exportés (via les cours d'eau) et sont donc stockés sous la forme de réservoirs sédimentaires (Otto *et al.*, 2007). On parle ainsi d'inefficacité de la séquence paraglaciale (Cossart, 2014) ou encore de *sediment delivery problem* (Walling, 1983). Ce problème est schématisé par la Figure 1.

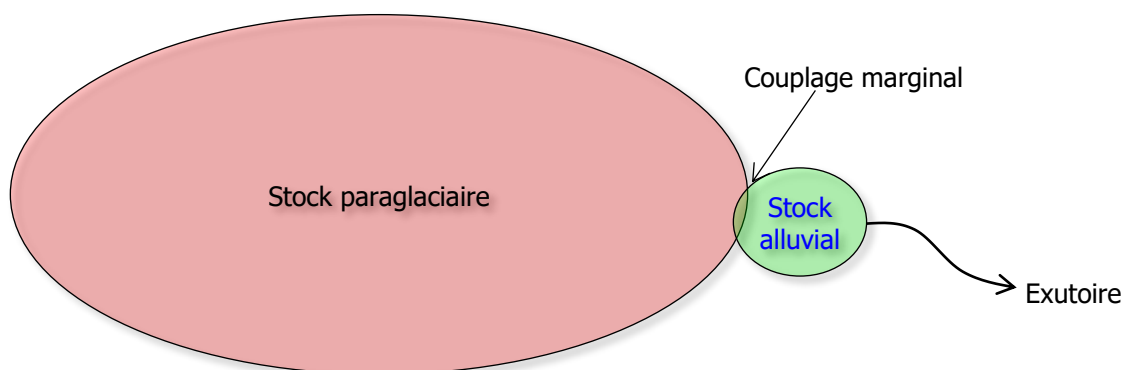


Figure 1 : schématisation de la faiblesse du couplage stock paraglaciale - stock alluvial

1.2 Un plan de gestion à divers niveaux

L'objectif principal est de proposer une gestion **sur le long terme** en **accompagnant la dynamique** de la Romanche et du Vénéon, afin d'impacter la trajectoire géomorphologique de ces deux cours d'eau et lisser les effets de la crise morphogénique en cours.

Comme l'a montré le diagnostic réalisé lors de la première phase, la plaine d'accumulation Buclet-Bayette constitue un **point d'inflexion majeur** dans le réseau Romanche-Vénéon. En effet c'est :

- La **principale zone de contribution sédimentaire** pour la Romanche en aval du Clapier. Le Chambon et le Clapier découplant sédimentairement la Romanche amont d'avec la Romanche s'écoulant dans l'ombilic du Bourg d'Oisans et son aval.
- Une zone de **stockage-régulation** dans la cinématique du transport solide du réseau Romanche-Vénéon,
- Une **zone de tressage relictuelle** probablement en cours de métamorphose compte-tenu des forçages climatiques et anthropiques du Vénéon globalement et de la plaine du Buclet plus localement.

C'est donc un point nodal qui contrôle et contrôlera l'évolution dynamique de la zone.

Le contexte particulier de la Romanche impose des interventions à différents niveaux pour que le plan de gestion soit réellement efficace dans l'espace (bassin versant) et dans le temps (en s'inscrivant dans la durée), notamment pour soutenir la recharge et le transit sédimentaire.

Ainsi, le plan de gestion intégrera des actions à plusieurs niveaux dans le temps : des **actions à impact immédiat ou à court terme** (*i.e.* les années à venir) et des **actions « de fond », à moyen voire long terme** (*i.e.* à échelle de plusieurs décennies, voire séculaire à pluriséculaire).

Par ailleurs, lorsque l'on traitera de la protection des enjeux, on favorisera autant que faire se peut, les actions **hydromorphologiquement positives ou neutres**. C'est-à-dire les actions qui permettent d'améliorer la trajectoire géomorphologique des cours d'eau ou pour le moins qui ne l'impactent pas. Les actions nécessaires (au regard des enjeux de sécurité publique et d'intérêt général) risquant de péjorer le fonctionnement dynamique, et donc l'évolution dynamique, seront ainsi réservées aux enjeux majeurs.

1.3 Du diagnostic au plan de gestion

Le présent rapport a pour objet de présenter les orientations de gestion et le plan de gestion de la Romanche qui s'inscrivent dans la suite du diagnostic hydromorphologique établi lors de la Phase 1 de la mission. Le rapport s'organise de la manière suivante :

- Rappel des éléments essentiels du diagnostic issus de la Phase 1 de la mission ;
- Identification des secteurs sensibles (enjeux *versus* hydromorphologie) dans le contexte de la crise morphogénique ;
- Définition des orientations de gestion, support de base au plan de gestion ;
- Élaboration du plan de gestion sous la forme de fiches détaillées et opérationnelles.

2 Éléments de connaissance du bassin versant de la Romanche

2.1 Les enseignements de la Phase 1

La Phase 1 de la mission a permis d'élaborer un diagnostic de la Romanche et du Vénéon intégrant et précisant la **trajectoire géomorphologique** de la Romanche et du Vénéon (héritage géomorphologique, fonctionnement et évolution dynamiques).

Ainsi, le diagnostic a permis de mettre en exergue l'impact des évolutions climatiques actuelles (forçage climatique) et des activités humaines sur la trajectoire géomorphologique de la Romanche et du Vénéon (extractions, endiguement, barrages...).

Il a également donné des éléments d'évolution future des deux cours d'eau dans un contexte de crise morphogénique (*cf.* Encart 1) lié au déficit d'apports sédimentaires, déjà bien visible au niveau de la rétraction des bandes actives, de l'incision, de l'évolution des zones en tresses...

Cette crise morphogénique qui impacte durablement le transport solide (moteur de la construction et de l'évolution des lits fluviaux) est **sous contrôle direct climatique** et impacté par les activités humaines.

2.2 Les points forts du diagnostic hydromorphologique

Le diagnostic hydromorphologique réalisé en Phase 1 de la mission a mis en avant la **faiblesse de la recharge sédimentaire** dans le bassin :

- La **connexion entre les versants et les lits** (Romanche et Vénéon) est globalement limité dans le bassin. C'est pourtant généralement la source principale d'apports sédimentaires des lits fluviaux. Mais le couplage versants-lits est souvent tamponné dans le bassin par des terrasses alluviales anciennes et la rétraction des bandes actives des cours d'eau ou encore le reboisement ou le boisement spontané des versants.
- La **contribution sédimentaire des différents affluents** (Ferrand, Lignarre, Sarrenne et eau d'Olle), est également limitée. Pour le Vénéon les apports de certains contributeurs apparaissent limités (torrent des Etançons, ruisseau des Etages, de la Pisse, du Lauvitel), tandis que d'autres fournissent le Vénéon en matériaux comme la combe de la Pierre Noire, de la Pierre Blanche, le ruisseau du Vallon...) car ils s'écoulent dans des zones peu boisées.
- Les **érosions latérales** sont faibles et pèsent peu en termes de recharge sédimentaire ;
- L'ombilic du Bourg d'Oisans (tronçons ROM_2 à ROM_4) est **découplé sédimentairement de la partie amont du bassin** (ROM_1) par la présence des deux barrages (Chambon et Clapier). De fait la recharge sédimentaire de la Romanche aval (Bayette-Bourg d'Oisans) ne peut s'effectuer que par le Vénéon.

L'ensemble de ces éléments pèse fortement sur la recharge sédimentaire. Toutefois le **stock alluvial hérité** est relativement important (303 000 m³) et se localise majoritairement dans le Vénéon (pour ≈ 68% du volume total).

La **plaine Buclet-Bayette** constitue une zone de **stockage-régulation** du transport solide et stocke ainsi 251 000 m³. Elle se caractérise par un **tressage relictuel en incision**, dont la bande active se végétalise et se rétracte régulièrement depuis 1956. L'indice de tressage se diminue et l'incision gagne ce secteur. Ces indices convergents semblent témoigner des prémices d'une métamorphose fluviale (*cf.* Figure 2).

L'incision des lits et la rétraction des bandes actives (corollaires de la baisse de la fourniture sédimentaire) sont visibles tant sur la Romanche que sur le Vénéon :

- La Romanche présente des **incisions métriques à plurimétriques** par rapport à 1911. Le seul secteur en exhaussement récent est ROM_3 (Bayette) mais cette situation est liée vraisemblablement à la rupture du seuil amont du Buclet. Dans le secteur du Bourg d'Oisans du fait de l'endiguement la bande active est globalement stable.
- Le Vénéon est lui aussi incisé (**incision métrique** par rapport à 1911) sauf dans le Buclet où l'incision était plus importante pendant les périodes d'extraction et suite à leur abandon la zone s'est exhauscée par endroit. Par contre depuis la rupture du seuil la tendance à l'incision (érosion régressive) semble repartir. La **bande active se rétracte** globalement (-27% entre 1952-2010) et plus particulièrement dans les zones de rupture de pente (Plan du Lac, Buclet) où les tressages se métamorphosent.

On peut donc résumer ce bilan en indiquant que :

- Le **tarissement sédimentaire** affecte Romanche et Vénéon, les indices tangibles de cette situation sont l'incision, la rétraction des bandes actives y compris dans les zones de tressage du Vénéon (Buclet et Plan du Lac) ;
- Le **stock alluvial hérité est relativement important** et regroupé dans le Vénéon ;
- Le potentiel de **recharge sédimentaire est très limité** (contribution des versants, des contributeurs sédimentaires, érosion latérale...) ce qui devrait conduire à un déstockage du stock alluvial au gré des crues morphogènes ;
- Le bassin présente deux particularités qui impactent la fourniture sédimentaire et la géomorphologie du bassin : (1) le **découplage de la Romanche** et (2) Le **stockage-régulation Buclet-Bayette**, point nodal du système.

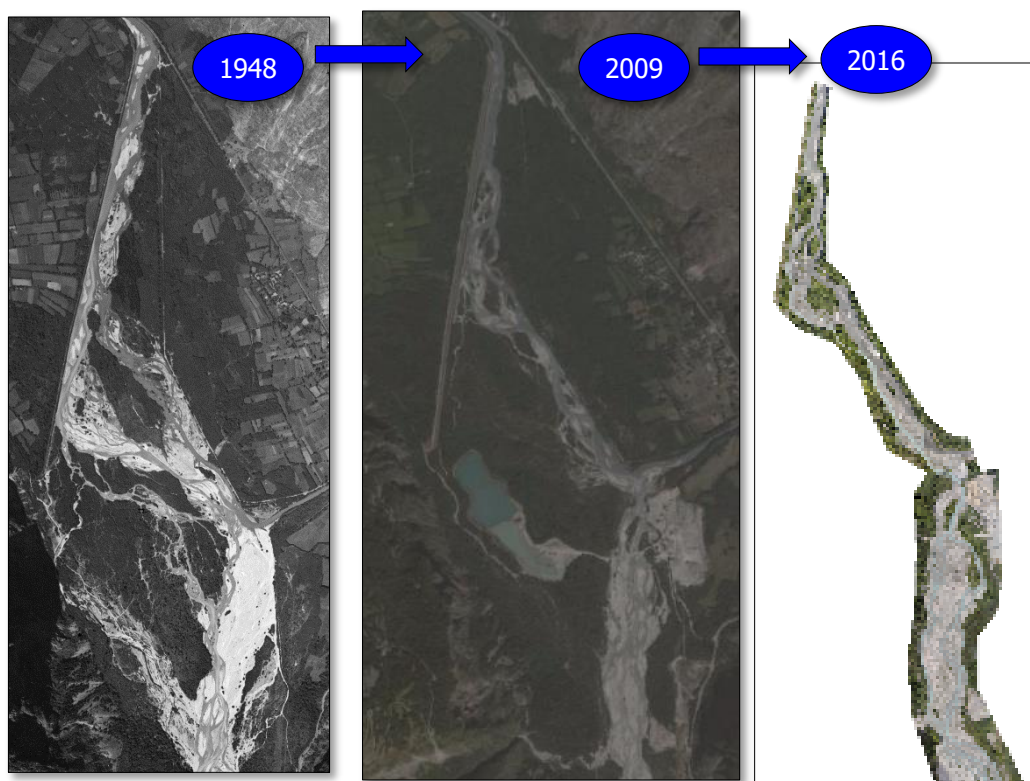


Figure 2 : Evolution de la bande active et de la sinuosité de tressage en amont de la Bayette

3 Identification des secteurs sensibles

3.1 Définition

L'intérêt général

L'intérêt général se décompose en trois éléments qui peuvent être éventuellement justificateurs d'interventions anthropiques dans le fonctionnement dynamique des cours d'eau :

L'**intérêt public** qui consiste à protéger les biens publics (*e.g.* routes, ponts, stations d'épuration...)

L'**intérêt sécuritaire** qui permet de protéger les populations (*e.g.* un lotissement, une maison...)

L'**intérêt dynamique** qui évite un dysfonctionnement majeur dans le fonctionnement dynamique du cours d'eau (*e.g.* avulsion importante)

On appelle « **secteur sensible** » un tronçon de cours d'eau ou un site ponctuel présentant des risques hydromorphologiques et/ou des enjeux anthropiques au regard de l'**intérêt général** (*cf.* Encart 3).

Lorsque l'on applique la notion d'intérêt général à un cours d'eau, on ne peut pas se limiter à l'intérêt public ou encore à la sécurité des personnes. En effet, il est nécessaire d'intégrer également l'**intérêt dynamique**.

On intègre ainsi des tronçons ou sites ponctuels nécessitant des interventions pour favoriser le fonctionnement et l'évolution dynamiques du cours d'eau. Si on n'intervenait pas sur ces points, la trajectoire géomorphologique du cours d'eau pourrait être impactée et péjorée à plus ou moins long terme.

Encart 3 : L'intérêt général

3.2 Les secteurs sensibles identifiés

Les principaux secteurs sensibles recensés dans le bassin versant amont de la Romanche sont présentés dans Tableau 1 en fonction de leur intérêt général.

LES SECTEURS SENSIBLES DE LA ROMANCHE ET DU VENEON					
Tronçon	Localisation	Intérêt général			Observations
		Public	Sécuritaire	Dynamique	
ROM_3	La Bayette	X	X	X	Aggradation à gérer
ROM_4	Entrée tronçon	X	X	X	Point nodal au regard du risque d'encombrement en entrée (Bayette aval)
	Tout le tronçon	X	X	-	Tout le tronçon en cas d'aggradation de matériaux
VEN_7	Le Buclet	X	X	X	Gestion du tressage et des matériaux
	Ancien seuil aval du Buclet	X	X	X	Gestion de l'incision et du déstockage des matériaux vers l'aval

Tableau 1 : Secteurs sensibles de la Romanche et du Vénéon

La commune du Bourg d'Oisans, protégée des inondations par les digues reste toutefois sous la menace d'un « **risque hydrodynamique** » constitué par la présence et l'évolution en cours du système Buclet-Bayette et par la conformation de l'endiguement.

En effet, plusieurs points au niveau de cet endiguement ne favorisent pas le transit sédimentaire :

- La **très faible pente** (0,39%) qui va limiter la compétence au transport,
- Le **désaxement de la Romanche** qui vient alors buter sur la digue de la Croix du plan,
- L'**effet d'étranglement** et le **tracé en baïonnette** à l'entrée de la partie endiguée.

Les structures alluvionnaires qui se forment dans ce secteur (4,7 ha, cf. Figure 3) et qui sont peu mobiles (actuellement végétalisées et donc mobilisables seulement pour des crues BFHM²) témoignent de la perte de compétence au transport engendrée. Leur mobilisation aurait certainement un impact particulièrement négatif en tête du système de digues avec des matériaux et des bois flottés (embâcles).

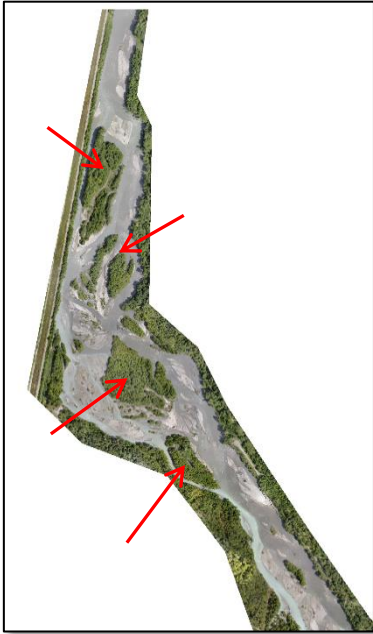


Figure 3 : Structures alluvionnaires végétalisées en amont de l'entrée de l'endiguement

Il est également important de préparer la section entre la structure alluvionnaire aval et le méandre de la Bayette (cf. Figure 4) en travaillant le gabarit d'entrée (profil en long et en travers) afin d'éviter l'encombrement de la section en amont proche de l'entrée par des matériaux alluvionnaires.

De plus, le **tressage** installé à la confluence Romanche-Vénéon, semble en cours de **métamorphose** (comme la plupart des tressages qui n'auraient plus qu'un caractère relictuel, Piégay *et al.*, 2009).

Cette métamorphose est certainement affectée d'un **artéfact** lié à la présence pendant 25 ans d'un seuil puis sa destruction en 2014. La destruction du seuil risque de favoriser deux processus interagissant (qui commencent à s'engager) : l'**engraissement** en aval et l'**incision** en amont. La concomitance de ces deux processus morphogéniques témoigne du **déstockage des matériaux**.

Le transfert par déstockage des matériaux générerait des aggradations en aval et certainement par progradation un transfert des matériaux vers l'aval (Bayette puis système d'endiguement du Bourg d'Oisans avec certainement dans ce système l'accrétion de bancs

alternes compte-tenu de la faible capacité de transit liée à la pente 0,15%).



Figure 4 : secteur amont proche de la Bayette à travailler (gabarit)

² Basse Fréquence, Forte Magnitude au sens d'Arnaud-Fassetta et Fort, 2004.

4 Orientations de gestion

4.1 Grands axes et bases d'une stratégie de gestion

En premier lieu (au vu du diagnostic et des secteurs sensibles) nous allons détailler les axes principaux (ou grands axes) des orientations de gestion pour le bassin du Verdon

En complément sont également mises en avant les actions et sous-actions découlant du diagnostic.

Ces éléments détaillés ci-dessous préfigurent les fiches-action qui constitueront le futur plan de gestion.

Les orientations de gestion déclinent les grands axes du futur plan de gestion et préfigurent ainsi les futures actions de ce plan. La problématique essentielle à laquelle ce plan de gestion doit répondre est comment **réamorcer la pompe sédimentaire** pour **améliorer la trajectoire géomorphologique** de la Romanche ?

A Développer une stratégie évolutive et adaptée à la crise morphogénique.

Le diagnostic a montré que le transit sédimentaire de la Romanche et du Vénéon est perturbé. En effet, nous sommes en fin de séquence paraglaciale et dans une période de **forçage climatique important** (réchauffement post-PAG), en début de crise morphogénique avec péjoration sédimentaire.

Le bassin sort donc d'une crise morphogénique importante (ayant favorisé le remblaiement des vallées et le stockage) et ce forçage climatique est en train de le faire basculer dans une **nouvelle crise morphogénique liée au tarissement sédimentaire**. Cette crise devrait donc conduire à la diminution notable du stock alluvial par déstockage, la disparition des zones de tressages, elle devrait également continuer à favoriser la rétraction des bandes actives et l'incision des lits.

Cette crise morphogénique déjà engagée va amplifier les principaux effets déjà constatés (*cf. supra*) à échéance brève de l'ordre certainement de quelques décennies.

❖ Une stratégie d'accompagnement dynamique

L'accompagnement dynamique

La notion d'accompagnement dynamique consiste sur, un cours dysfonctionnant (métamorphose climatique et/ou anthropique au sens de Bravard, 1989), à intervenir par des travaux plus ou moins lourds pour favoriser le bon fonctionnement du transit sédimentaire et modifier ainsi sa trajectoire géomorphologique (au sens de Wiederkehr *et al.*, 2008), c'est-à-dire son évolution dynamique.

Favoriser le bon fonctionnement du transit sédimentaire impose de mettre en œuvre plusieurs actions interagissant, concernant la recharge sédimentaire, l'assistance au transit sédimentaire, la limitation de l'incision, la gestion de la bande active...

Encart 4 : l'accompagnement dynamique

Il est donc nécessaire de bâtir une stratégie de gestion adaptée qui **accompagne notamment le transit sédimentaire** basée sur trois éléments interagissant :

- **Eviter la fixation du stock alluvial**, afin de permettre sa remobilisation lors des crues morphogènes. Cette remobilisation doit se faire dans de bonnes conditions d'écoulement, c'est-à-dire en fournissant seulement des matériaux intéressants pour le transport solide, exempts d'éléments freinant (*i.e.* embâcles). En effet, la rétraction de la bande active et sa végétalisation, l'incision du lit... ne manqueront pas de fixer la charge solide, la rendant ainsi difficilement mobilisable même pour des crues du type BFHM (au sens d'Aranud-Fassetta & Fort, 2004). On se trouverait alors dans une situation de rétroaction (*i.e.* un cercle vicieux), fortement préjudiciable au fonctionnement et à l'évolution dynamiques de la Romanche,
- **Accompagner le transit sédimentaire** en favorisant la mobilité de la charge solide, afin d'éviter sa fixation lors des phases de transport solide, notamment en travaillant sur les secteurs s'exhaussant par transfert-réinjection de matériaux,
- **Soutenir la fourniture sédimentaire par la recharge sédimentaire**, afin notamment de lisser l'incision et de soutenir la fourniture sédimentaire insuffisante.

Les forçages dirigés

Le climat et certaines actions anthropiques constituent des forçages (au sens de Hack, 1960) qui contrôlent l'évolution morphologique des cours d'eau.

Ce contrôle s'exerce principalement à travers la variation de la fourniture sédimentaire. Cette fourniture sédimentaire s'exacerbe sous l'effet de rétroaction et déclenchent de véritables crises morphogéniques sur le long terme ($> 10^4$ ans).

Pallier cette situation impose le développement de stratégies de forçage pour sortir ainsi du cercle vicieux des rétroactions en cours.

On parle ainsi de forçage dirigé. Ces forçages sont de deux ordres :

Les **forçages dirigés** : action de forçage réalisée de manière permanente (*e.g.* activation d'un réservoir sédimentaire),

Les **forçages dirigés post-crue** : action temporaire et généralement itérative entre deux crues pour « préparer » le lit à la crue suivante (*e.g.* favoriser la mobilité des structures alluvionnaires en les dévégétalisant).

C'est donc une stratégie d'**accompagnement dynamique** qu'il faut développer (*cf.* Encart 4).

Cet accompagnement dynamique passera par la mise en place d'actions de forçages dirigés, il s'agit ainsi de lisser voire contrecarrer les forçages anthropiques passés et lisser le forçage climatique en cours par :

- Des **forçages dirigés post-crue** (*cf.* Encart 5), préparant alors le lit à la prochaine crue afin de favoriser le transit sédimentaire. Ces actions seront donc mises en œuvre de manière **itératives** après chaque crue morphogène pour éviter l'encombrement du lit, l'effet de l'embâclage et favoriser mécaniquement le passage de la charge grossière (lors de la crue suivante).

- Des **forçages dirigés** (*cf.* Encart 5) qui sont des actions réalisées sans forcément être reliés aux crues. En effet, ce sont les actions de recharge sédimentaires qui peuvent ainsi se faire indépendamment de la survenue de crues.

Encart 5 : Les forçages dirigés

❖ Un suivi pour faire évoluer le plan de gestion

La stratégie d'accompagnement dynamique proposée doit se développer dans le temps pour impacter positivement l'évolution dynamique dans le bassin versant amont de la Romanche et donc impacter la trajectoire géomorphologique.

Il est essentiel d'avoir des éléments de **contrôle** et d'**évaluation** (mesures, indices...) des actions engagées qui permettront d'affiner le plan de gestion et de la faire évoluer dans le cadre du processus-réponse liés aux réajustements suite aux crues morphogènes.

Ce suivi permettrait ainsi de bancaiser de la donnée utilisable en termes de suivi et d'adaptation de la stratégie de gestion.

B Les grands axes du plan de gestion

Le plan de gestion s'articulera ainsi autour de 5 grands axes :

- Axe 1 : éviter la fixation du stock alluvial hérité,
- Axe 2 : Accompagner le transit sédimentaire lors des crues morphogènes,
- Axe 3 : Soutenir la fourniture sédimentaire,
- Axe 4 : Protéger les secteurs sensibles,
- Axe 5 : suivi dynamique
- Axe 6 : s'approprier le cours d'eau

C Synthèse

Les grands axes de gestion proposés, les actions et sous-actions sont synthétisés dans le Tableau 2, chacun des grands axes de gestion fait l’objet d’une description détaillée dans les paragraphes suivants. En complément la Figure 5 indique la répartition dans le temps en fonction du rang de priorité des différentes actions du plan de gestion du bassin amont de la Romanche :

ORIENTATIONS DE GESTION – ACTIONS ET SOUS-ACTIONS DU PLAN DE GESTION						
Axes	Actions	Sous-actions	Objectifs	Type de forçage	Prérequis	Calendrier
1. Eviter la fixation du stock alluvial hérité	1.1 Garder mobiles les structures alluvionnaires	1.1.1 Travailler les structures alluvionnaires de SFSG 1 et 2	Eviter la fixation des structures alluvionnaires	FDPC	Point sur les structures	Maintenant
		1.1.2 Travailler les structures alluvionnaires de SFSG 3 et 4	Remobiliser les structures alluvionnaires fixées	FDPC	Point sur les structures	Maintenant
	1.2 Eviter la rétraction des bandes actives	1.2.1 Travailler les bandes actives des tressages	Accompagner l'évolution du style fluvial	FDPC		Après une crue
2. Accompagner le transit sédimentaire lors des crues morphogènes	2.1 Accompagner en préparant le lit	2.1.1 Supprimer les embâcles impactant le transit sédimentaire	Eviter les accrétiens anarchiques	-	Banque de donnée	Maintenant
	2.2 Accompagner le transit dans la plaine du Bourg d'Oisans	2.2.1 Accompagner l'onde sédimentaire de déstockage au niveau de la Bayette (dépôt-régulation)	Eviter l'arrivée de matériaux dans l'endiguement	FDPC		Post-crue
		2.2.2 Accompagner la charge solide dans ROM_4	Eviter l'encombrement de la section,	FDPC		Post-crue
3. Soutenir la fourniture sédimentaire	3.1 Recharger le tressage	3.1.1 Injecter des matériaux en amont du tressage pour limiter sa métamorphose	Limiter l'incision et la métamorphose	FD et FDPC		Maintenant
	3.2 Activer des réservoirs sédimentaires	3.2.1 Créer un point de réinjection en amont de VEN_6	lisser l'incision dans VEN_6	FD et FDPC		Maintenant
		3.2.2 Couplage versant-lit au bourg d'Arud	Obtenir de nouvelles sources sédimentaires	FD		Maintenant
		3.2.3 Favoriser le couplage versant-lit dans VEN_1	Obtenir de nouvelles sources sédimentaires	FD		Maintenant
	3.3 Favoriser la contribution de certains contributeurs sédimentaires	3.3.1 Maintenir les contributeurs fonctionnels en travaillant les cônes de déjection	Faire de la recharge en utilisant les cônes de déjection	FD		Maintenant
4. Protéger les secteurs sensibles, les intégrer dynamiquement	4.1 Protéger le Bourg d'Oisans	4.1.1 Eviter l'encombrement de l'entrée du système de digues	Limiter tout risque d'embâclage	FD et FDPC		Maintenant
		4.1.2 travailler le gabarit d'entrée en amont de la Bayette	Limiter les risques d'aggradation	FD et FDPC		Maintenant
		4.1.3 Suivre la gravière dans le contexte de l'évolution de la plaine Buclet-Bayette	Eviter la capture du Vénéon	-	Suivi spécifique	Post-crue
5. Contrôler pour évaluer, évaluer pour évoluer	5.1 Continuer l'exploration du bassin versant amont de la Romanche	5.1.1 Rechercher de nouveaux réservoirs sédimentaires exploitables (Vénéon et affluents)	Recherche de réservoirs exploitables dans le futur	-	Vérifier en préalable faisabilité	Dans le futur
	5.2 Mettre en place un suivi dynamique	5.2.1 Suivre le transport solide	Bien appréhender les volumes charriés au-delà des données calculatoires	-		Post-crue
		5.2.2 Suivre l'évolution du stock alluvial en post-crues morphogènes	Bien appréhender le déplacement du stock alluvial	-		Post-crue
		5.2.3 Suivre l'incision en post-crues morphogènes	Bien appréhender l'évolution verticale du lit pour mieux cibler les opérations de recharge	-		Post-crue
		5.2.4 Suivre l'évolution des tressages (Buclet-Bayette) y compris zone de dépôt-régulation	Appréhender leur évolution (sinuosité, bande active) et réagir en conséquence	-		Post-crue
		5.2.5 Suivre la recharge sédimentaire	Appréhender son impact (sur le substrat, le milieu, l'incision...)	-		Post-crue
		5.2.6 Formation du personnel du SACO	Réaliser certaines actions en interne	-		Maintenant
6. S'approprier le cours d'eau	6.1 S'approprier la gestion des cours d'eau	6.1.1 Réaliser une plaquette explicative destinée aux riverains et habitants du bassin	Expliquer fonctionnement et gestion réactive	-		2/3 ans

Tableau 2 : synthèse des orientations de gestion du bassin amont de la Romanche

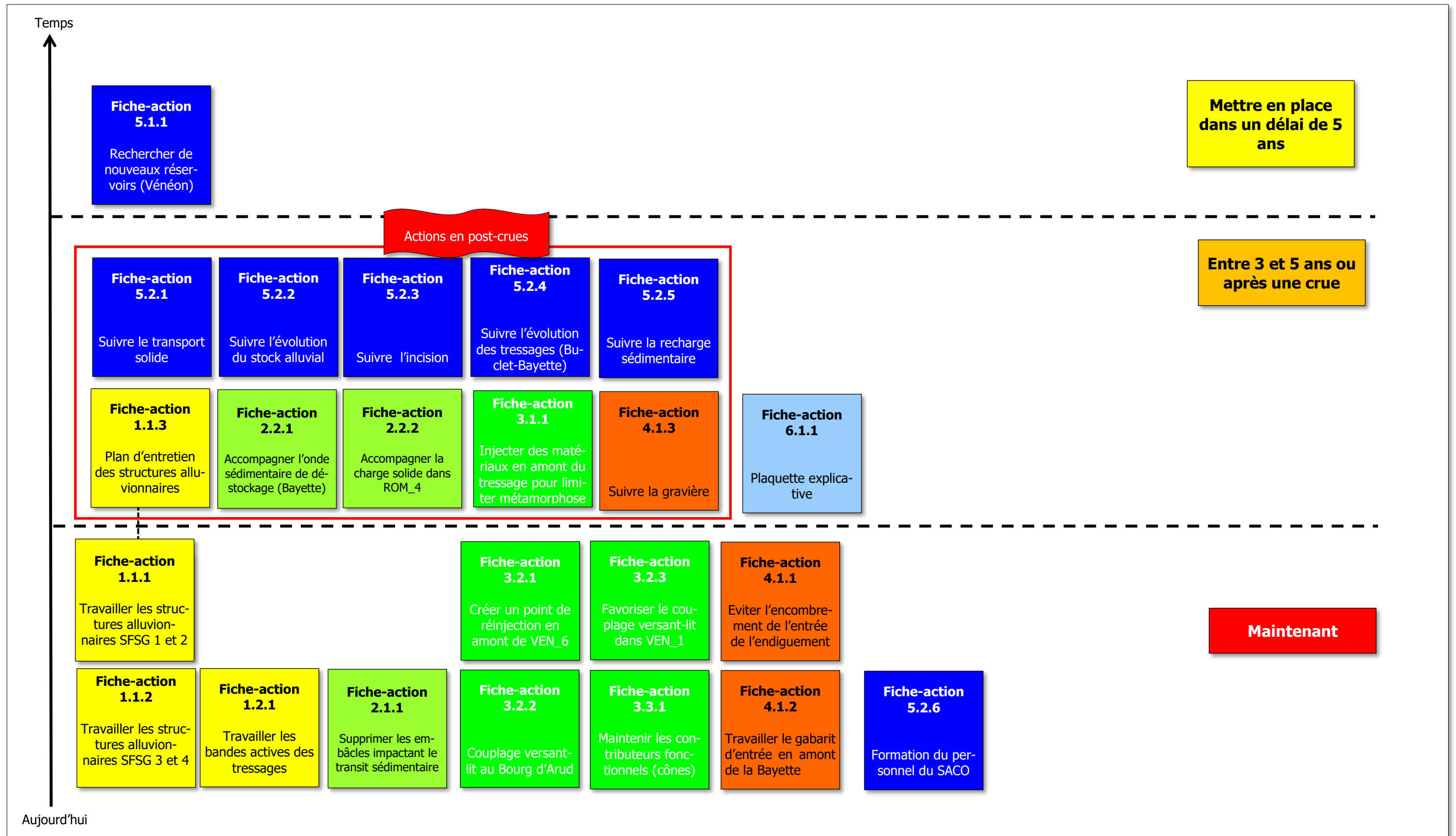


Figure 5 : Hiérarchisation des actions suivant leur niveau de priorité

4.2 AXE 1 : Eviter la fixation du stock alluvial hérité

Cet axe concerne plus particulièrement l'évitement de la fixation du stock alluvial hérité sous la forme de structures alluvionnaires et concerne plus particulièrement :

Les structures actuellement facilement mobilisables (stades d'évolution fluvio-sylvigénétique 1 et 2, cf. annexe 2 du rapport de phase 1) mais qui peuvent se fixer en cas d'absence de crues remobilisatrices et de végétalisation des structures par des espèces pionnières.

Eventuellement les structures quasi-fixées, voire fixées (stades d'évolution fluvio-sylvigénétique 3 et 4, cf. annexe 2 du rapport de phase 1) dans lesquels on pourrait mobiliser des matériaux alluvionnaires.

La répartition de la charge alluviale stockée sous la forme de structures alluvionnaires dans les différents tronçons de la Romanche est du Vénéon est rappelée dans le tableau ci-dessous :

STOCK ALLUVIAL TOTAL ET PAR STADES D'ÉVOLUTION POUR CHAQUE TRONÇON				
Cours d'eau	Tronçon	Stock alluvial total [m ³]	Stock alluvial de stades 1-2 [m ³]	Stock alluvial de stades 3-4 [m ³]
Romanche	ROM_1	24 257	13 254	11 004
	ROM_2	0	0	0
	ROM_3	72 739	24 005	48 733
	ROM_4	0	0	0
Vénéon	VEN_1	17 635	13 104	4 531
	VEN_2	4 924	4 730	194
	VEN_3	3 281	2 503	778
	VEN_4	289	289	0
	VEN_5	1 234	1 234	0
	VEN_6	0	0	0
	VEN_7	178 857	166 020	12 838

Tableau 3 : répartition du stock alluvial par tronçon et par stades d'évolution (Romanche et Vénéon)

A ACTION 1 : garder mobiles les structures alluvionnaires

Les deux opérations suivantes (concernant les structures alluvionnaires) imposent un prérequis : repasser rapidement sur les différentes structures répertoriées lors de la phase de terrain pour connaître leur état actuel.

❖ Travailler les structures alluvionnaires de SFGS 1 et 2 (FA 1.1.1)

Structures alluvionnaire

« Course contre la montre »

Les structures alluvionnaires se végétalisent très vite avec des espèces pionnières. Ces espèces pionnières (saules, peupliers...) contribuent à limiter la mobilité, voire à fixer les structures en quelques années.

Si aucune crue ne survient pour remobiliser les alluvions, la structure va se fixer, voire se déconnecter, du cours d'eau (d'autant plus lorsqu'il y a incision).

Démarre ainsi après chaque crue une véritable « course contre la montre » entre fixation et remobilisation. La préparation du lit entre deux crues (en gérant notamment la végétation) favorise ainsi la mobilisation au détriment de la fixation. C'est un forçage dirigé post-crue.



L'objectif principal de cette action est d'éviter l'**encombrement du lit** et de **favoriser le transit sédimentaire** dans un **contexte de péjoration**.

Il convient également de rappeler qu'en cas d'espacement des crues les structures alluvionnaires ont tendance à se **fixer** par **végétalisation**.

En effet, ce dernier processus génère une véritable « course contre la montre » (cf. Encart 6) pour éviter la fixation des structures alluvionnaires (y compris pour les plus mobiles), ce phénomène est encore amplifié dans les secteurs s'incisant.

Cet effort est à porter principalement sur les tronçons suivants :

- ROM_1 pour favoriser le transfert de la charge alluviale dans ce tronçon sédimentairement découplé du reste du bassin, cf. Figure 6 et Tableau 3.
- Les tronçons VEN_1 à VEN_5 pour là encore assurer un transit sédimentaire cohérent, cf. Figure 6 et cf. Tableau 3.

Les tronçons VEN_7 et ROM_3 (plaine d'accumulation Buclet-Bayette) sont traités à part. Le tronçon ROM_4 également. Cf. Figure 6 et cf. Tableau 3

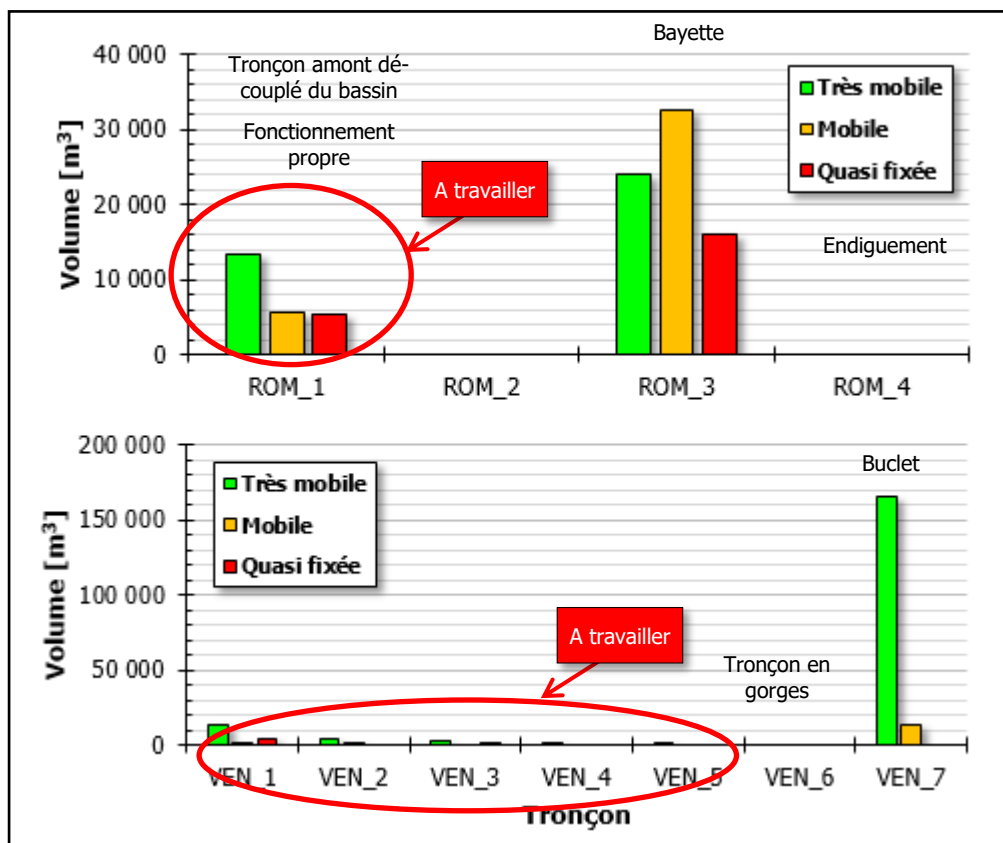


Figure 6 : Structures alluvionnaires à travailler

La gestion des structures alluvionnaires passe par la mise en place d'un **plan spécifique de gestion** de ces structures. Il s'agira donc d'intervenir une première fois et d'entretenir dans le futur au rythme des crues morphogènes. A cet effet la FA 1.1.3 prend en compte cet entretien post-crue, *cf. infra*.

Cette action doit se faire en évitant notamment que les structures alluvionnaires actuellement mobiles ne se végétalisent et se fixent, empêchant ainsi le cours d'eau de les remobiliser lors des crues morphogènes.

Ce travail classique consiste donc à éviter le développement d'une végétation arbustive entre deux crues morphogènes ou qu'une armure (couche superficielle) ne soit fossilisée ou cimentée notamment par des matériaux fins. Il s'agit donc d'un **forçage dirigé post-crue, préparant le lit à la crue morphogène suivante**.

L'action passe également par certains travaux (qui ne concernent pas que le traitement de la végétation) qui favoriseront la **mobilité des matériaux** lors des crues morphogènes. Ces travaux peuvent être de plusieurs types : déstabilisation de l'armure (couche superficielle), scarification, chenalisation avec bras de rabattement, création d'une chute alluviale, dérasement...

Pour certaines structures alluvionnaires, on utilisera une technique plus directe pour remobiliser les matériaux. En effet, elles seront arasées mécaniquement et les matériaux réinjectés (ou transférés-réinjectés). Cette action de forçage sédimentaire réalisée notamment en amont de zones incisées devrait permettre de recharger.

Il est à noter qu'il ne s'agit pas d'intervenir sur toutes les structures alluvionnaires de manière systématique, mais de :

- Suivre ces structures alluvionnaires et contrôler leur état de liberté (*i.e.* de mobilité potentielle en cas de crue morphogène) ;
- Intervenir entre deux crues sur les structures qui ont tendance à se végétaliser. En effet, la période entre deux crues morphogènes peut être longue (plusieurs années) et ainsi favoriser la colonisation de ces structures par des espèces pionnières (saules pourpres et drapés, peupliers...) à la croissance rapide et au fort pouvoir de fixation du fait de leur système racinaire.

❖ *Travailler les structures alluvionnaires de SFSG 3 et 4 (FA 1.1.2)*

Cette action est complémentaire avec la précédente et devra être menée en même temps. Elle doit s'effectuer également en favorisant la mobilité des structures quasi fixées pouvant être remobilisées après dévégétalisation.

Elle concerne les mêmes tronçons et la même temporalité :

- ROM_1 pour favoriser le transfert de la charge alluviale dans ce tronçon sédimentairement découplé du reste du bassin, *cf.* et Tableau 3.
- Les tronçons VEN_1 à VEN_5 pour là encore assurer un transit sédimentaire cohérent, *cf.* et *cf.* Tableau 3.

Seules les structures trop éloignées topographiquement de la Romanche ou du Vénéon ne seront pas traitées (*i.e.* les structures déconnectées).

Dans certaines structures des bras diachrones pourront être ouverts dans ce type de structure favorisant ainsi la remobilisation des matériaux.

B ACTION 2 : éviter la rétraction des bandes actives des tressages

Cette opération concerne de manière privilégiée les tronçons ROM_1 (zones non contraintes), VEN_4 (amont de Plan du Lac) et la plaine d'accumulation Buclet-Bayette soit les tronçons VEN_7 et ROM_3. Cette action concerne de manière privilégiée les zones de tressage.

Dépôt-obstruction-défluviation

Lorsque le cours d'eau ne peut plus transporter sa charge grossière (lorsqu'il y a par exemple une rupture de pente) et qu'il la dépose en lit, ou lorsque des embâcles bloquent partiellement (voire totalement) son lit, le cours d'eau va se désaxer et changer de cours en se créant un nouveau tracé par érosion pour contourner l'obstacle qu'il s'est créé.

On appelle ce changement de lit une défluviation (ou une avulsion). Il peut alors se créer un bras de décharge, voire un nouveau tracé du chenal principal.

Encart 7 : Dépôt-obstruction-défluviation

L'objectif principal de cette action est d'éviter la **rétraction des bandes actives** dans les zones de respiration latérale (respiration latérale contrôlée par les crues, Peiry, 1997).

En effet, la **végétalisation** des bandes actives conduit à leur **rétraction progressive**. Seules alors les crues peuvent les rajeunir (*cf.* Figure 7), mais ce rajeunissement a notamment comme corollaire (1) la fourniture d'**embâcles** par arrachage des arbres ayant poussé (entre deux crues) sur les marges voire dans la bande active, (2) le peignage des embâcles avec le développement du processus de **dépôt-obstruction-défluviation** (*cf.* Encart 7) qui pourrait alors être source d'**avulsion**.

Là encore il s'agira de préparer le lit à la crue d'après en maintenant des bandes actives opérationnelles permettant aux crues de s'épancher sans générer de problèmes d'embâclage voire d'avulsion.

La bande active s'est fortement rétractée depuis 1956 en particulier dans le secteur Buclet-Bayette, c'est là qu'il faudra porter l'effort pour :

- Eviter une **rétraction de la bande active sur le Buclet (VEN_7)** en la maintenant *a minima* à la largeur de la bande active actuelle voire en la travaillant (marges et surtout partie interne). Toutefois pour la Bayette la FA 2.2.1 se substitue à la présente en mettant en place un protocole d'**accompagnement de l'onde sédimentaire de déstockage** entre le Buclet et l'endiguement du Bourg d'Oisans. C'est dans ce cadre que sera traitée spécifiquement la bande active de ce secteur.
- Eviter l'embâclage de l'endiguement en aval par transfert d'embâcles.

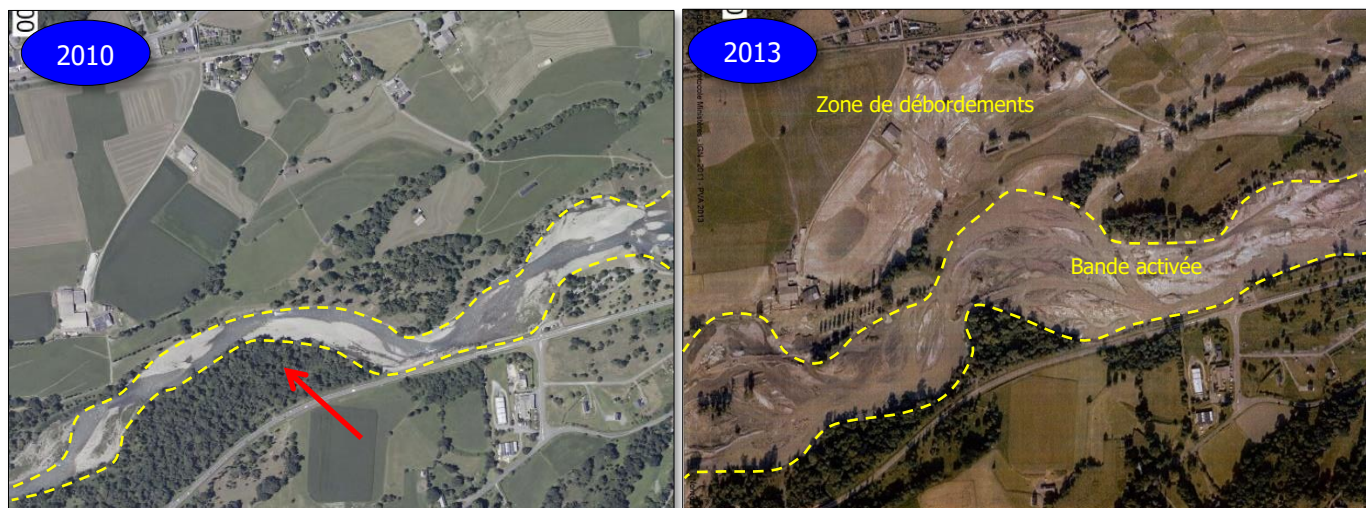


Figure 7 : évolution de la bande active du gave de Pau suite à la crue de 2013. Notez la forêt alluviale mise en place après la crue de 1937 et la forêt résiduelle en post-crue (flèche rouge).

4.3 AXE 2 : Accompagner le transit sédimentaire lors des crues morphogènes

A ACTION 1 : ACCOMPAGNER EN PREPARANT LE LIT

❖ Supprimer les embâcles impactant le transit sédimentaire (FA 2.1.1)

Les embâcles, double perturbateur

L'embâcle est un amas de matériaux en lit transportés par le cours d'eau et déposés soit en récession de crue par perte de compétence au transport, soit par blocage sur un obstacle (atterrissement...). Les embâcles sont généralement composés d'un mélange de matériaux charriés (alluvions...) et flottés (bois, feuilles, déchets...).

Lorsque le cours d'eau ne peut plus transporter sa charge grossière (lorsqu'il y a par exemple une rupture de pente), il la dépose en lit. Les dépôts ainsi générés se chargent en embâcles, obstruant partiellement, voire totalement, le lit.

Le cours d'eau peut alors se désaxer et changer de lit en se créant un nouveau tracé par érosion pour contourner l'obstacle qu'il s'est créé.

Encart 8 : Les embâcles

Les embâcles perturbent le fonctionnement du cours d'eau :

- Ce sont des **perturbateurs hydrauliques** car ils modifient la ligne d'eau en la réhaussant et peuvent ainsi engendrer des débordements plus ou moins importants ;
- Ce sont des **perturbateurs hydromorphologiques et sédimentaires** du fait de la modification des courants qu'ils engendrent. Ils initient ainsi des érosions de berge, des défluviations, voire des avulsions* (cf. Encart 8), et la génération de nouvelles structures alluvionnaires localisées par rétrogradation.

Dans le cas du bassin versant de la Romanche et du Vénéon, les embâcles contribuent à fixer la charge solide transitant, en favorisant les dépôts. Ils sont également par endroit de bons indicateurs des accré-

tions en lit suite aux crues. Il convient donc de retirer du lit certains embâcles susceptibles de limiter le transfert de la charge solide, notamment dans les tressages.

Pour ce faire, un repérage des embâcles à partir de l'orthophotographie issue d'un passage drone et leur classement en fonction d'une typologie préétablie seront dans un premier temps nécessaires. La typologie des embâcles regroupe quatre classes fonction du niveau de perturbation de l'embâcle (de très limité à très fort). Pour les parties du bassin versant non levé par drone, l'identification et la hiérarchisation des embâcles seront réalisées par reconnaissance de terrain dans les zones préférentielles de stockage d'embâcles.

La stratégie de suivi et d'intervention sera ensuite déterminée en fonction du classement de chaque embâcle (e.g. retirer les embâcles de type 3 et 4, à niveau de perturbation important à très important, c'est à dire impactant le fonctionnement hydraulique et sédimentaire des cours d'eau

La mise en place d'un **suivi dynamique** par orthophotographie (à l'instar des levés par drone réalisés en 2016 dans le cadre de la présente mission) régulier, c'est-à-dire après chaque crue morphogène, couplé à une inspection rapide mais précise dans les tronçons plus amont, permettra :

- Après chaque crue morphogène susceptible de générer une masse d'embâcles, d'avoir une **vision précise de l'embâclage du lit**, et ainsi d'affiner la stratégie de suivi à mettre en œuvre en particulier sur les reconnaissances de terrain ;
- De connaître les **zones de piégeage préférentiel** des embâcles en lit ;
- De déterminer une stratégie de gestion sur certains points ou secteurs **régulièrement affectés par le processus d'embâclage** (amélioration du transit par façonnage du lit, création d'un piège à embâcles, travail de la végétation en amont pour limiter l'embâclage...) ;
- De traiter les **embâcles ayant un impact réel** (niveau 3 et 4) et de suivre les embâcles (ou éventuels noyaux originels de futurs embâcles) sans incidence importante (niveau 1 et 2).

La figure ci-dessous illustre la méthodologie d'identification et de hiérarchisation des embâcles réalisée par HYDRETTUDES sur le Verdon à partir de l'orthophotographie.

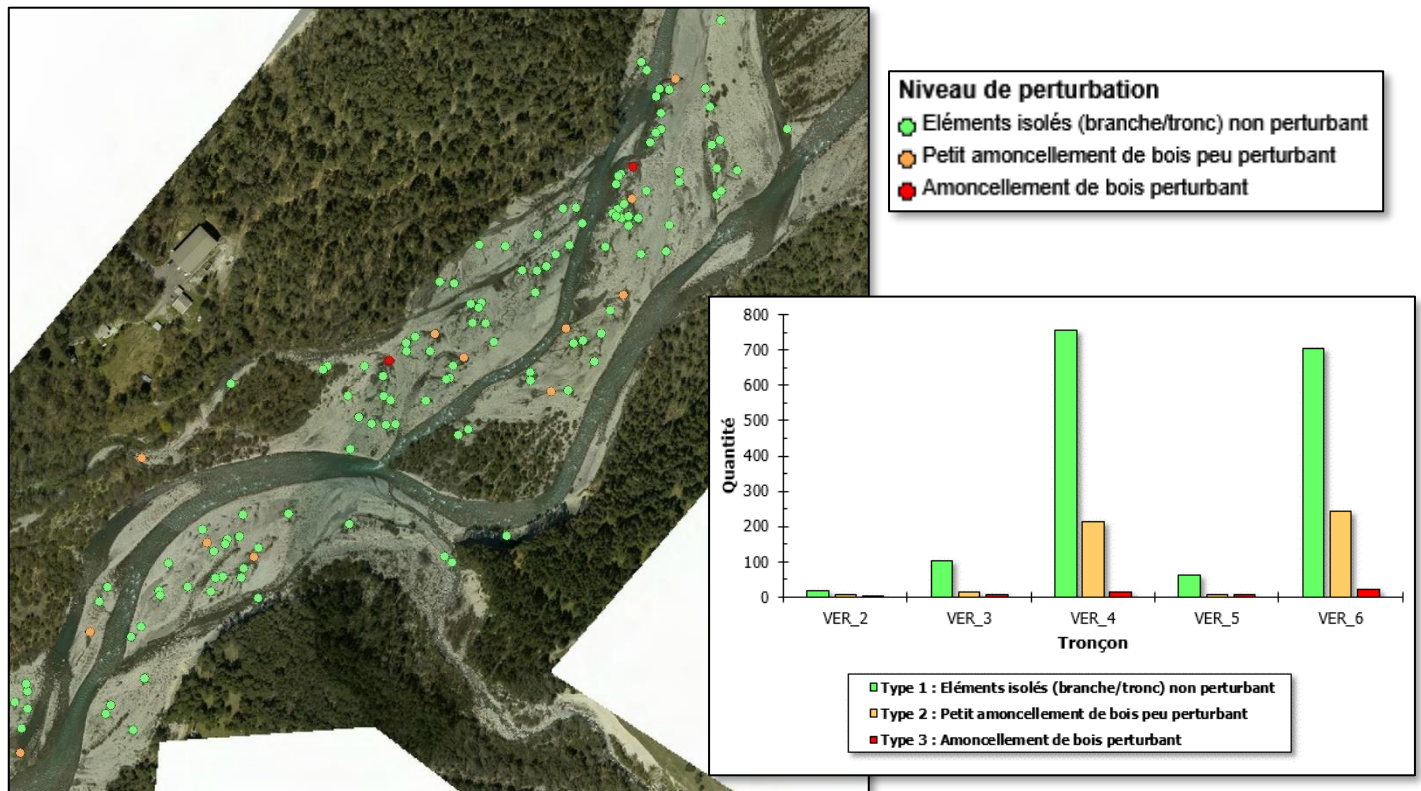


Figure 8 : Exemple de relevé et de classification d'embâcles sur le Verdon (Hydrétudes, 2017)

B ACTION 2 : ACCOMPAGNER LE TRANSIT AU BOURG D'OISANS

- ❖ *Accompagner l'onde sédimentaire de déstockage dans le secteur de la Bayette, tronçon ROM_3 (FA 2.2.1)*

Comme l'a indiqué le diagnostic le système Buclet-Bayette est en pleine mutation. Même s'il regroupe 251 000 m³ de matériaux, la rupture du seuil et le contexte de péjoration climatique indique que cet ensemble va fonctionner dans les suivantes (sans accompagnement dynamique) comme suit :

- Le tressage du Buclet va se **métamorphoser** : l'indice de tressage devrait **diminuer**, la bande active se **rétracter** et *a minima* le chenal dominant du tressage s'**inciser**. La tendance au déstockage Buclet → Bayette va générer au gré des crues des **ondes sédimentaires de déstockages**. Il est à noter que la pente de ce tronçon reste à la limite des rivières torrentielles avec 1%.
- Les ondes sédimentaires de déstockages vont se diffuser dans la Bayette dont la pente est faible avec 0,39%. **Or ce tronçon n'est pas, en l'état, apte à permettre le transit d'ondes sédimentaires de déstockage** compte-tenu de sa relative faible largeur, de sa pente limitée, de son écrasement sur la digue de Plan de Croix, de la rétraction et végétalisation de la bande active.

- L'**entrée du système d'endiguement** de Bourg d'Oisans avec un désaxement de 90° en tête d'endiguement ne favorisera pas non plus le transit des sédiments vers l'aval. Ce transit aurait un **impact pénalisant en réduisant la section d'écoulement**, favorisant alors l'**inondabilité** voire la **rupture de digues** et la défluviation éventuelle de la Romanche.

C'est pourquoi un système de **régulation de l'onde sédimentaire de déstockage** attendue lors de crues morphogènes doit être mis en œuvre. Il s'agit de travailler la zone (ROM_3) pour augmenter la capacité de stockage et piéger l'onde sédimentaire avant l'endiguement, en évitant ainsi sa propagation vers ROM_4.

Ce système consistera ainsi à travailler tout le tronçon ROM_3 en l'**élargissant** (dans sa bande active en supprimant les structures alluvionnaires visibles dans la bande active, cf. Figure 9 et latéralement). L'objectif serait de permettre le stockage du double d'actuellement (75 000 m³).

Les matériaux piégés seraient alors évacués (export du bassin avec vente éventuelle voire combler l'ancienne gravière après avoir vérifié que cette opération n'aurait pas d'impact pour les écoulements souterrains).



Figure 9 : Buclet-Bayette et endiguement du Bourg d'Oisans

❖ Accompagner la charge solide dans ROM_4 (FA 2.2.2)

Il s'agit d'éviter que dans le futur des matériaux puissent entrer dans ROM_4 (cf. action précédent). Dans le cas où des matériaux entreraient les mesures à prendre consisteraient à :

- Evaluer leur impact sur la section d'écoulement,
- Si cet impact est significatif, les retirer et les transférer dans la zone de stockage de la Bayette (cf. FA 2.2.1) voire les injecter dans la zone de tressage du Buclet suivant les volumes et les besoins.
- Dans le cas contraire, éviter leur végétalisation pour les maintenir remobilisables.

4.4 AXE 3 : Soutenir la fourniture sédimentaire

La recharge sédimentaire

La recharge sédimentaire concerne les cours d'eau dysfonctionnant (métamorphose climatique et/ou anthropique au sens de Bravard, 1989) qui sont affectés par un tarissement sédimentaire se manifestant par une incision du lit plus ou moins prononcée.

Il s'agit ainsi de travailler le stock alluvial mais également le couplage sédimentaire (au sens d'Harvey, 2001) entre les versants et les lits fluviaux les contributeurs sédimentaires, ou encore la mobilité latérale du cours d'eau.

Ainsi, les sources sédimentaires « activables » sont les structures alluvionnaires, les transferts-réinjections de matériaux prélevés dans les tronçons de lit s'exhaussant, les matériaux stockés par des seuils, les érosions de berge, les éboulis de versant, l'érosion des versants non boisés, les affluents, des bras pouvant fournir des matériaux...

Certains apports exogènes peuvent compléter ces interventions (matériaux de déroctage, matériaux de carrière...).

Les techniques d'injection (ou de réinjection en lit) permettent d'effectuer de la recharge adaptée aux problématiques locales (incision, érosion...)

Pour soutenir la fourniture d'un cours déficitaire en termes de production sédimentaire il est nécessaire de mettre en œuvre des opérations de recharge sédimentaire (au sens de Landon *et al.*, 1999), cf. Encart 9.

Ces actions consistent à :

- **Récupérer des matériaux** dans des réservoirs sédimentaires qui deviennent alors des sources sédimentaires (ces réservoirs sédimentaires peuvent être naturels comme les structures alluvionnaires, les versants ou anthropiques comme les remous régressifs solides des seuils...),
- **Activer l'érosion latérale** en déboisant des zones intéressantes (pente, lithologie...) qui se coupleront facilement avec le cours d'eau ou en créant des bras diachrones dans des terrasses alluviales...
- **Apporter des matériaux** exogènes, comme des matériaux de déroctage (*e.g.* tunnel du Boulc, 30 000 m³ injectés dans le Bez (Landon, 2007), verse de Pierrellys, 10 000 m³ de matériaux de déroctage de falaise qui vont être injectés dans l'Aude suite à l'étude menée par HYDRETUDES en 2015 ou encore 10 000 m³ de matériaux de carrière dans le même cadre).

Ces actions tout-azimut, c'est-à-dire diverses et utilisant tous les moyens à notre disposition, ont pour but

de mobiliser un maximum de matériaux et de les réinjecter (ou les injecter) en lit en amont ou directement dans les endroits les plus impactés par les dysfonctionnements de la fourniture sédimentaire.

Dans le cas du bassin versant amont de la Romanche, les ressources sédimentaires à renforcer ou à mobiliser pourraient ainsi être les suivantes (attention certaines ressources pourront être mobilisées dès la mise en place du plan de gestion, d'autres après une phase d'étude spécifique) :

- Les **structures alluvionnaires** présentes en lit (prévu dans la cadre de FA 1.1.2),
- Après avoir effectué l'étude concernant les réservoirs sédimentaires (cf. FA 3.2.1 et FA 5.1.2) réaliser des opérations de recharge grâce à des opérations de couplage sédimentaire avec des **réservoirs paraglaciaux**,
- A partir du recensement proposé dans FA 3.2.2 activer l'érosion sur certains versants propices à cette action (**connexion versants-lits**),
- Réaliser des opérations de **transfert-réinjection** de matériaux entre notamment **zones s'exhaussant** et **s'incisant** afin de lisser le phénomène d'incision, (cf. FA 2.1.2),

- Utiliser les **ondes sédimentaires de déstockage** provenant de la métamorphose du tressage du Buclet pour réinjecter des matériaux et en particulier les matériaux piégés dans la Bayette pour éviter qu'ils ne transitent vers l'endiguement du Bourg d'Oisans et modifient l'équilibre des écoulements en crue dans ce secteur (cf. FA 2.2.1),
- Favoriser le déstockage des matériaux de certains **cônes de déjection** pour renforcer la fourniture sédimentaire (cf. FA 3.3.1)...

Cette liste n'est pas exhaustive et la mise en place d'un suivi dynamique (cf. Axe 5) va permettre :

- De suivre et **évaluer** les actions de recharge sédimentaire les plus pertinentes pour les **améliorer** voire les intensifier,
- De trouver de **nouvelles actions de recharge sédimentaire** notamment en appréhendant mieux les processus, leurs réponses suite aux phases de recharge,
- De trouver **nouvelles sources** en améliorant la connaissance du bassin et du fonctionnement des processus le contrôlant.

A ACTION 1 : RECHARGER LE TRESSAGE

- ❖ Injecter des matériaux en amont du tressage pour limiter sa métamorphose (FA 3.1.1)

Afin de **recharger** le tressage du Buclet, il est nécessaire de réaliser des forçages dirigés pour soutenir la **fourniture sédimentaire** de cette zone en cours de métamorphose. Cette action doit ainsi permettre de conserver un tressage et une bande active large permettant l'expansion des crues et à haute valeur patrimoniale.

On utilisera pour cette action deux actions concomitantes, il s'agit ainsi de :

- **Tracer des embryons de bras** pour guider et favoriser ainsi le tressage et les réinjections,
- **Positionner des matériaux** dans la zone de tressage de sorte qu'elles puissent se recharger afin notamment d'en limiter l'incision et la métamorphose, préférentiellement sous la forme de de rehausse en matériaux alluvionnaires par endroits, de sorte que ces matériaux soient remobilisés rapidement

L'objectif étant d'éviter des transferts de matériaux sur des distances importantes plus coûteux économiquement et écologiquement.

B ACTION 2 : ACTIVER DES RESERVOIRS SEDIMENTAIRES

- ❖ *Créer un point de réinjection en amont de VEN_6 (FA 3.2.1)*

Le tronçon VEN_6 est en incision et présente une forte capacité de charriage.

En outre, son amont se situe à 2,8 km du tressage du Vénéon, on pourra ainsi se servir de ce tronçon VEN_6 comme d'un **vecteur sédimentaire**, en effet ce tronçon en gorges a une forte capacité théorique de charriage annuel (60 000 m³/an). Sa pente est forte (4,6%) et il est relativement court (2,3 km) ce qui devrait permettre d'effectuer de la recharge à l'échelle de quelques décennies,

La recharge sédimentaire en amont de ce tronçon se justifie donc pleinement.

La stratégie d'intervention serait la suivante :

- Dans un premier temps on crée un **point d'injection** en aval du pont des Ougiers dans VEN_6. Ce point d'injection pourrait contenir des volumes intéressants. Les travaux d'aménagement de ce point nécessitent de décaisser la berge et d'injecter ces matériaux et des matériaux provenant d'une zone d'emprunt située à 800 m.
- On trace certains matériaux réinjectés pour évaluer leur propagation et on mesure les volumes remobilisés par le cours d'eau lors des crues
- Dans le troisième temps, en fonction du résultat des injections on se contente de ce point ou **on en active d'autres** suivant le même modèle qui sont pré-repérés (cf. fin de fiche dans le tutoriel).

D'autres points pourraient en complément de ce premier point être utilisés dans le secteur et renforcer ainsi les capacités de recharge sédimentaire.

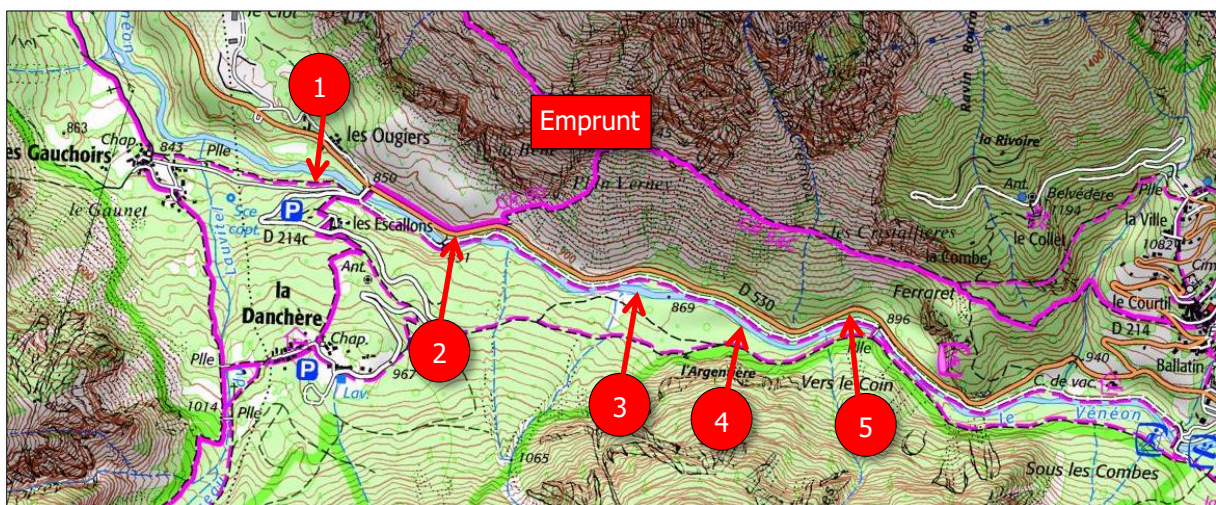


Figure 10 : point d'injection (1), zone d'emprunt et point complémentaires (2 à 5)

❖ *Couplage versant-lit au bourg d'Arud (FA 3.2.2)*

Le **couplage versant-lit du bourg d'Arud** est situé en amont du tronçon VEN_6 incisé et à environ une à deux décennies (temps de transit estimé) de VEN_7 tronçon tressant nécessitant une charge alluviale abondante.

Il s'agit d'un vaste **talus d'éboulis** qui pourrait être mieux connecté au Vénéon en dévégétalisant et en façonnant le pied.

❖ *Couplage versant-lit dans le tronçon VEN_1 (FA 3.2.3)*

Les photographies anciennes du début du XX^{ème} siècle (cf. annexe) montrent sur le Vénéon des **versants dénudés** et minéraux indiquant un couplage versant-lit actif à très actif (cf. figure 11)

Les talus d'éboulis ou de versant érodés descendant parfois jusqu'au Vénéon soutenaient alors la charge de fond. Actuellement le forçage climatique, la fin de la séquence paraglacière et les pratiques anthropiques ont conduit à la végétalisation de ces talus d'éboulis et des versants limitant fortement la charge entrante.

Il faut toutefois garder en mémoire que le **couplage sédimentaire** est un élément essentiel de la fourniture sédimentaire et du fonctionnement dynamique des cours d'eau.

4.5 AXE 4 : Protéger les secteurs sensibles et les intégrer dynamiquement

A Protéger le Bourg d’Oisans

❖ *Eviter l’encombrement de l’entrée du système d’endiguement (FA 4.1.1)*

Cette action spécifique prendra la forme d’une surveillance particulière de la zone de dépôt-régulation (cf. 2.2.1) visant à accompagner l’onde de déstockage et en particulier son aval (partie du cours de la Romanche le long de la digue de la Croix du Plan) pour éviter à terme un encombrement de la section d’écoulement par des alluvions et/ou des embâcles.

En effet, cet encombrement aurait potentiellement un effet destructeur pour la digue dans ce point sensible (entrée de l’endiguement avec méandre à 90°).

Il s’agit ainsi de **dévégétaliser** la zone et d’effectuer un **suivi de la végétalisation** de la zone pour éviter la formation et/ou le peignage de flottants et donc l’embâclage du lit,

❖ *Eviter l’encombrement de l’entrée du système d’endiguement (FA 4.1.1)*



Figure 13 : entrée du système d’endiguement

L’entrée du **système d’endiguement** (cf. figure 13) de la plaine du Bourg d’Oisans comporte en entrée un méandre (méandre de la Bayette) qui constitue un **point de fragilité** en tête du système.

Il est donc nécessaire dans ce secteur d’avoir un lit favorisant le passage des écoulements liquides et solides dans la zone la plus sensible, c’est-à-dire entre en amont les structures alluvionnaires végétalisées (traitées dans la FA 4.1.1) et le méandre de la Bayette en aval (ellipse rouge sur la photographie aérienne ci-contre).

Ainsi un **gabarit** (profil en long versus profil en travers) sera déterminé et devra être conservé.

Il est à noter également que la pente du lit diminue dans ce secteur passant de 0,39 % à 0,32 %.

❖ *Suivre la gravière dans le contexte de l’évolution de la plaine Buclet-Bayette (FA 4.1.2)*

L’ancienne gravière du Vénéon est relativement proche de tressage du Buclet (environ 220 m) et donc du Vénéon. Cette relative distance, l’évolution du tressage relictuel, la végétalisation de la zone ne semblent pas *a priori* plaider pour un risque de capture du Vénéon par la gravière.

Toutefois lors d’un évènement BFHM cette éventualité ne peut être écartée. En effet, la disparition du seuil pourrait favoriser la divagation du Vénéon, et donc un éventuel risque de capture par la gravière qui impacterait un secteur déjà particulièrement sensible.

La profondeur de la gravière (-23 m par rapport au fond du Vénéon, ETRM, 2014) est importante et la capture aurait des conséquences importantes.



Figure 14 : Contexte de la gravière du Vénéon

Il sera donc nécessaire :

- D'effectuer un **suivi régulier** de ce secteur pour évaluer en post-crue l'évolution du site et la précision ou non d'un risque de capture,
- En cas d'évolution laissant supposer une aggravation du risque des **mesures de protection** pourraient alors être mise en oeuvre.
 - o Eriger une protection anti-capture entre la gravière et le Vénéon,
 - o Éventuellement comblé la gravière du Vénéon, mais en préalable, il faudra vérifier (étude hydrogéologique) que cette opération ne modifie pas les écoulements souterrains et donc n'engendre pas un impact sur l'alimentation en eau potable du Bourg d'Oisans.

4.6 AXE 5 : Contrôler pour évaluer, évaluer pour évoluer

L'objectif de l'Axe 5 est double. Il s'agit d'**améliorer les connaissances** de la trajectoire géomorphologique du bassin amont de la Romanche et de **mesurer l'impact** des interventions et actions engagées dans le cadre du plan de gestion.

Il s'agit d'un **axe métrologique**, c'est-à-dire qu'il consiste à réaliser des mesures pour suivre et mieux comprendre le fonctionnement du cours d'eau et les réponses (*i.e.* les réajustements) qui s'initient suite aux actions engagées.

Cet axe est primordial et fait suite au point zéro constitué par la phase 1 de la mission (diagnostic hydromorphologique).

A ACTION 1 : Continuer l'exploration du bassin amont de la Romanche

Des éléments de connaissance manquent, il serait souhaitable de les acquérir dans le futur pour affiner le plan de gestion, voire proposer de nouvelles interventions pertinentes.

En effet, les actions les plus importantes à mener sont des actions de type processus-réponse (*i.e.* action-réaction). Or, le cours d'eau a un temps de réaction long, voire très long, compte tenu des linéaires impactés (Knighton, 1984 a précisé que la réponse dynamique (réajustements) aux forçages externes au cours d'eau comme le forçage climatique est bien au-delà du siècle lorsqu'il impacte la pente d'un tronçon.

- ❖ *Rechercher de nouveaux réservoirs sédimentaires exploitables (Vénéon et affluents)*

La recherche de nouveaux **réservoirs sédimentaires exploitables** sur le bassin qui pourraient être activés et transformés en sources sédimentaires par couplage sédimentaire. Cette étude viserait le Vénéon et ses principaux affluents afin de travailler sur le très long terme. Cette étude permettrait ainsi une meilleure connaissance du couplage sédimentaire (au sens de Harvey, 2001), notamment dans la partie haute du bassin et dans les affluents.

B ACTION 2 : METTRE EN PLACE UN SUIVI DYNAMIQUE EFFICACE SUR LE BASSIN

Le diagnostic hydromorphologique du bassin versant amont de la Romanche résulte de la confrontation entre une approche hydromorphologique et une approche calculatoire.

L'**approche hydromorphologique** est une approche par la recherche et l'analyse d'indices de terrain permettant la compréhension des phénomènes spatio-temporels. L'**approche calculatoire** est une approche basée sur des formules et/ou des codes numériques, dont les paramètres d'entrée ne sont pas toujours évidents à choisir et les domaines de validité pas toujours adaptés au cours d'eau.

La confrontation de ces deux types d'approche permet de mieux appréhender la trajectoire géomorphologique de la Romanche. Cette démarche reste toutefois au niveau de tendances. Le niveau de précision est inhérent au degré de précision des données collectables et collectées. Il est également difficile de trouver des formules et/ou des données adaptables strictement au cours d'eau étudié.

Ainsi, le **suiwi métrologique**, c'est-à-dire le suivi dynamique « par la mesure », est un élément complémentaire à ces deux types d'approches. À titre d'exemple, la vitesse de propagation de la charge alluviale est très mal connue et est pourtant un élément très important pour la connaissance du transport solide (déplacement des matériaux, tri granulométrique...), et ce d'autant plus dans le contexte de déficit de fourniture sédimentaire que l'on connaît actuellement.

L'approche métrologique est donc pertinente et primordiale pour affiner la compréhension de l'évolution dynamique, et ainsi engager un suivi dynamique du cours d'eau, afin d'**évaluer l'impact des actions proposées dans le cadre du plan de gestion sur l'évolution dynamique, et éventuellement de préciser et ajuster dans le temps ces opérations.**

Ce suivi dynamique doit être **rustique**, c'est-à-dire simple à mettre en œuvre et à interpréter, et **robuste**, c'est-à-dire être fiable sur les données obtenues.

Ainsi, le SACO pourra réaliser une partie des suivis proposés, moyennant une formation du personnel (interventions de terrain et exploitation des données collectées). Pour certain type de suivi, celui-ci devra être externalisé, dans la mesure où la technique de collecte des données ou l'exploitation nécessitent des appareils spécifiques coûteux (y compris en location) et/ou complexes à mettre en œuvre.

Les éléments du suivi dynamique proposé pour le bassin amont de la Romanche sont présentés au Tableau 4.

ÉLÉMENTS DE SUIVI DYNAMIQUE PRÉCONISÉS POUR LA ROMANCHE ET LE VÉNÉON					
Éléments suivis	Type de suivi	Technique	Localisation	SACO	Objectifs – Intérêt – Méthodologie
Transport solide	Volume matériaux	Helley-Smith	À préciser		Mesurer la fraction charriée pour affiner la connaissance du transport solide sur le bassin versant et comparer les données avec l'approche calculatoire
	Granulométrie	Granulométrie en lit	Exutoire tronçons et affluents	✓	Analyser l'évolution du substrat du lit après chaque crue et l'aspect biogène du substrat
	Bilans de masse	Levé bathymétrique	VEN_1, VEN_3, VEN_5 à VEN_7 ROM_2 à ROM_4		Affiner la compréhension du transport solide sur le bassin versant Suivi d'une série de profils en travers espacés régulièrement Après chaque crue, réalisation d'un bilan par bief de cours d'eau consistant à déterminer la variation du stock sédimentaire
	Vitesse de propagation de la charge alluviale	Traçage pit-tags		✓	Affiner la compréhension du transport solide sur le bassin versant en obtenant des informations sur le transfert des matériaux. Mesurer la distance parcourue lors d'une crue par les matériaux du lit, évaluer précisément le temps de transit des matériaux et définir le tri granulométrique
	Stock alluvial	LIDAR	VEN_1 à VEN_7 ROM_2 à ROM_4		Évaluer l'évolution du stock alluvial (volume et degré de mobilité). Le point zéro : Analyse de 2016
Incision	Évolution verticale du lit	Levé bathymétrique	VEN_1 à VEN_7 ROM_2 à ROM_4		Réaliser un profil en long post-crue pour suivre l'évolution verticale du lit (comparaison avec 1910 et 2016)
Tressage	Morphométrie	LIDAR et orthophoto	VEN_7 et ROM_3		Détermination de paramètres hydromorphologiques et comparaison des LIDAR suite à une crue permettant d'évaluer l'évolution du tressage (expansion, stabilité, rétraction) et le stock alluvial. Le point zéro : 2016
	Stock alluvial	LIDAR et orthophoto			
Recharge sédimentaire	Granulométrie	Granulométrie en lit	Aval des points d'injection	✓	Évaluer l'impact des opérations d'injections de matériaux à long et court termes (notamment pour maintenir une charge grossière en amont des zones tressage et accompagner, voire lisser, leur métamorphose) sur le substrat du lit
	Colmatage	Sticks hypoxiques et/ou conductivité hydraulique		✓	
	Vitesse de propagation de la charge alluviale	Traçage pit-tags		✓	

Tableau 4 : Suivi dynamique préconisé pour le bassin amont de la Romanche

❖ Former le personnel du SACO

Cette action consiste à former le, gestionnaire de terrain, sur certaines techniques de suivi-évaluation des cours d'eau qui sont proposées dans le cadre du suivi dynamique. L'objectif principal de cette action étant d'internaliser les interventions de suivi dynamique nécessitant peu de matériel pour :

- Impliquer le plus possible le personnel dans le suivi des cours d'eau ;
- Minimiser l'impact financier de ces opérations ;
- En limiter la lourdeur administrative et pouvoir avoir des temps de réponse... en temps réel.

Cette formation dispensée sur site par HYDRETTUDES comprendra deux volets :

- Former au suivi dynamique en général, et en particulier à l'interprétation des données ;

Former à certaines opérations réalisées directement par le SACO (cf. Tableau 4).

4.7 AXE 6 : S'approprier les cours d'eau

Les pathologies du riverain

Cette approche humoristique regroupe et détaille trois éléments comportementaux face à la rivière qui font que les riverains se réfugient parfois dans un mode de pensée unique dont il est assez difficile de les faire sortir.

Le syndrome « **je connais Ma rivière, je sais quoi faire** » qui touche beaucoup de riverains, consiste à penser que parce qu'on vit au bord de la rivière depuis très longtemps on la connaît très bien.

Il est certain que beaucoup de ces riverains atteints de ce syndrome ont des connaissances empiriques locales intéressantes, mais souvent c'est :

- La vision globale qui leur fait défaut ;
- La méconnaissance du contexte géomorphologique général et de la trajectoire géomorphologique qui leur fait défaut ;
- Une vision qui intègre leurs seuls enjeux.

Ce syndrome se couple souvent avec une autre pathologie : l'**Alzheimer de rivière**, pathologie qui leur fait oublier un fonctionnement passé du cours d'eau, pensant qu'il ne se reproduira plus (e.g. on oublie la crue d'il y a 10 ou 20 ans pensant qu'elle ne pourra plus se produire parce qu'on a reconstruit depuis).

La dernière pathologie est la **maladie de la pierre** qui laisse à penser à la personne qui en souffre qu'une protection en pierre est le *nec-plus-ultra* et que derrière on est en sécurité absolue. Alors qu'un enrochement se dimensionne à une crue de projet et que comme toute protection en rivière il a une limite.

L'appropriation est un élément important. En effet dans le contexte géomorphologique général (forçages climatique et anthropique dans l'hémisphère Nord) et dans le contexte particulier de la trajectoire géomorphologique de la Romanche (tarissement sédimentaire, métamorphose du tressage...), il est important :

- D'avoir un **socle de connaissances** de la trajectoire géomorphologique du bassin (diagnostic) ;
- D'avoir une **stratégie de gestion** basée sur la connaissance de ces deux éléments contextuels cité supra (contexte géomorphologique général, trajectoire géomorphologique de la Romanche) ;
- De faire **évoluer ce plan de gestion** après évaluation et de mesurer son impact effectif sur la trajectoire géomorphologique de la Romanche (il est évident de rappeler que l'on ne pèsera pas sur le contexte géomorphologique général !).

Pour affermir la démarche, deux éléments sont donc importants :

- L'amélioration de l'appropriation du cours d'eau par l'**amélioration de la connaissance** de sa trajectoire géomorphologique au sein du SACO ;
- Effectuer une démarche **vers les riverains** dont beaucoup sont atteints par le syndrome « *je connais Ma rivière, je sais quoi faire* » (cf. Encart 10).

Encart 10 : Les pathologies du riverain

A ACTION 1 : S'APPROPRIER LA GESTION DES COURS D'EAU

- ❖ *Réaliser une plaquette explicative auprès des riverains et des habitants du bassin*

Comme vu précédemment avec une note d'humour (*cf.* Encart 10), mais aussi parfois lors des réunions publiques, il est important de communiquer vers les riverains afin qu'ils s'approprient la démarche. Cette action se fera notamment sous la forme d'une plaquette de communication.

5 Plan de gestion

Le programme d'actions est élaboré selon les orientations de gestion définies précédemment. Il est restitué sous la forme d'un portefeuille de fiches-actions, dont chacune décrit une opération spécifique indiquée dans le Tableau 2. Les paragraphes suivants donnent quelques explications concernant la lecture des fiches-actions.

5.1 Deux niveaux d'intervention

Le plan de gestion vise à favoriser le fonctionnement hydromorphologique du bassin amont de la Romanche actuellement péjoré par les évolutions climatiques. À cet effet, lorsque cela est possible au regard des enjeux et en particulier des enjeux liés à la sécurité des personnes et des biens, deux niveaux d'intervention sont proposés :

- Le **niveau 1** est le niveau concernant une action **hydromorphologiquement positive** (*i.e.* impactant positivement la trajectoire géomorphologique) ou *a minima* ayant un impact neutre. C'est donc la solution à privilégier. L'action en découlant sera suivie précisément dans le cadre du suivi dynamique et en cas d'évolution pouvant menacer directement un enjeu à protéger, elle sera abandonnée au profit du « plan B », solution plus radicale et donc impactante. On passera alors à une action de niveau 2 ;
- Le **niveau 2** est un niveau à activer si le niveau 1 n'a pas donné satisfaction. C'est un niveau hydromorphologiquement négatif utilisant des techniques lourdes justifiées par les enjeux à protéger et l'intérêt général (*cf.* Encart 3).

Ces niveaux d'intervention sont signalés dans le cartouche du titre de la fiche-action en haut à droite par les symboles suivants :



Pour le niveau 1



Pour le niveau 2

5.2 Des actions à long terme

Dans un contexte de tarissement sédimentaire, la stratégie de gestion à mettre en œuvre doit prendre en compte, au-delà de la dimension spatiale du bassin (gradients amont – aval), la **dimension temporelle**.

Ainsi, la phase de diagnostic a mis en avant la notion de temporalité dans la trajectoire géomorphologique des cours d'eau et en particulier les durées de réajustements (temps de réponse) à certains *stimuli*.

C'est pourquoi certaines actions n'auront certainement pas de résultat « visible » à court terme, mais constitueront des **actions de fond. Leur effet se fera sentir à long terme**, c'est-à-dire après plusieurs décennies.

Ce type d'actions justifie d'autant plus le suivi dynamique pour mesurer le gain hydromorphologique lorsqu'il apparaîtra. Il s'agit d'accompagner et d'impacter la trajectoire géomorphologique : on parle alors de **forçage dirigé** (on pourrait même parler de forçage anthropique dirigé). Ce peut-être des actions de recharge sédimentaire, de décorsetage ou d'effacement de seuils. Dans ces deux derniers cas, ce sont même des forçages correctifs.

D'autres actions sont également des actions de fond, dans la mesure où elles sont effectuées de manière **récurrente** particulièrement **après chaque crue morphogène**, condition *sine qua non* pour obtenir un résultat efficace et durable. Elles relèvent de la même dynamique de forçage anthropique dirigé : on

parle de **forçage dirigé post-crue**. On peut citer les opérations visant à limiter la fixation de la charge solide ou la rétraction de la bande active.

Tous ces forçages sont basés sur le même principe :

- Bien connaître la trajectoire géomorphologique du cours d'eau et les forçages qu'il a subis (climatiques, anthropiques) ;
- Utiliser le système processus-réponse base de la dynamique fluviale (la dynamique fluviale est sensible et répond à divers *stimuli*) pour impacter à court et moyen termes, voire à long terme, cette trajectoire en menant des actions diversifiées.

Ces types d'action sont signalés dans le cartouche du titre de la fiche-action en haut à droite par les symboles suivants :



Actions de fond, forçage dirigé post-crue (actions maintenant et sur le long terme)



Actions de fond, forçage dirigé (actions à effets long terme)

5.3 Des fiches spécifiques

Le plan de gestion du bassin versant du bassin amont de la Romanche intègre trois types de fiches spécifiques :

- **Fiche-action** qui concerne une action locale ou globale (maître d'ouvrage, contexte, objectifs et attendus, détail de l'action à mettre en œuvre, chiffrage...)
- **Fiche-préconisation**, lorsque le Maître d'ouvrage n'est pas le SACO ;
- **Fiche-suivi** qui concernent le programme de suivi dynamique.

Les fiches, dont les modèles vierges sont présentés à la , font figurer les éléments suivants :

- **Dans le cartouche du titre** : axe, action, sous-action, type d'opération et niveau d'intervention ;
- **Motivation de la fiche** : description en lien avec le diagnostic hydromorphologique, localisation... ;
- **Enjeux concernés** : anthropiques et/ou hydromorphologiques ;
- **Stratégie à mettre en œuvre** : nature, caractéristiques et emprise des opérations à réaliser, description des techniques à employer et à développer ;
- **Précautions particulières à prendre en compte** : espèces invasives... ;
- **Attendus et objectifs** ;
- **Incidences sur la faune et la flore** : éventuels impacts sur le compartiment biologique ;
- **Suivi à mettre en œuvre** : consignes de suivi et/ou d'entretien, fréquence... ;
- **Obligations réglementaires** : cadre réglementaire applicable à l'action visée ;
- **Coûts de l'action** : chiffrage estimatif de l'opération ;
- **Relation avec d'autres fiches du plan de gestion.**

PLAN DE GESTION DU TRANSPORT SOLIDE DU BASSIN AMONT DE LA ROMANCHE

FICHE-ACTION
1.1.2



AXE 1
Action 1
Sous-action 2
Type d'opération

MOTIVATION DE LA FICHE :

ENJEUX CONCERNÉS :

STRATÉGIE À METTRE EN ŒUVRE :

PRÉCAUTIONS PARTICULIÈRES À PRENDRE :

ATTENDUS ET OBJECTIFS :

INCIDENCES SUR LA FAUNE ET LA FLORE :

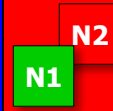
SUIVI À METTRE EN ŒUVRE :

OBLIGATIONS RÉGLEMENTAIRES :

COÛTS DE L'ACTION :

PLAN DE GESTION DU TRANSPORT SOLIDE DU BASSIN AMONT DE LA ROMANCHE

FICHE
PRÉCONISATION
1.1.2



AXE 1
Action 1
Sous-action 2
Type d'opération

MOTIVATION DE LA FICHE :

ENJEUX CONCERNÉS :

STRATÉGIE À METTRE EN ŒUVRE :

PRÉCAUTIONS PARTICULIÈRES À PRENDRE :

ATTENDUS ET OBJECTIFS :

INCIDENCES SUR LA FAUNE ET LA FLORE :

SUIVI À METTRE EN ŒUVRE :

OBLIGATIONS RÉGLEMENTAIRES :

COÛTS DE L'ACTION :

PLAN DE GESTION DU TRANSPORT SOLIDE DU BASSIN AMONT DE LA ROMANCHE

FICHE-SUIVI
4.2.1



AXE 4
Action 1
Sous-action 2
Type d'opération

MOTIVATION DE LA FICHE :

ENJEUX CONCERNÉS :

STRATÉGIE À METTRE EN ŒUVRE :

PRÉCAUTIONS PARTICULIÈRES À PRENDRE :

ATTENDUS ET OBJECTIFS :

INCIDENCES SUR LA FAUNE ET LA FLORE :

SUIVI À METTRE EN ŒUVRE :

OBLIGATIONS RÉGLEMENTAIRES :

COÛTS DE L'ACTION :

RELATION AVEC D'AUTRES FICHES DU PLAN DE GESTION :

5.4 Portefeuille de fiches-action

L'ensemble des fiches-actions constituant le plan de gestion du bassin amont de la Romanche est présenté ci-après. Un synoptique reprenant l'ensemble des fiches-action indique la hiérarchisation des actions selon leur niveau de priorité d'intervention.

6 Glossaire

ACCRETION

L'accrétion pour un banc de galets (structure alluvionnaire) est l'action de croître par juxtaposition de matériaux alluvionnaires à la structure préexistante. Ce terme est synonyme plus généralement de dépôt en lit.

ALLUVIONS

Dépôts meubles d'un cours d'eau (tant en lit mineur que majeur) formés de matériaux ayant été transportés par le transit sédimentaire.

ARMURE

Matériaux alluvionnaires déposés en lit constituant la partie supérieure d'un lit fluvial (rivières à graviers à lit mobile), dont l'épaisseur est celle des plus grosses particules la constituant (Simon, 1986). L'armure masque la sous-couche constituée de matériaux plus fins.



AVULSION

Changement brutal et radical du tracé d'un lit sur plusieurs centaines de mètres, voire kilomètres, lors d'une crue morphogène. Cette situation peut être due à un embâclage généralisé du lit par des bois flottés, une charge alluviale obstruant le lit et favorisant son basculement dans un ancien chenal ou une gouttière topographique. C'est généralement un phénomène relativement courant dans les styles en tresses où les secteurs s'exhausent (cône torrentiel, delta...).

BANDE ACTIVE

Espace dans lequel s'écoule un cours d'eau et où se concentre l'activité morphogène, notamment les chenaux et dépôts sédimentaires. C'est pour les systèmes en tresses qu'on parle préférentiellement de bande active. En effet, la bande active des cours d'eau en tresses se caractérise par des chenaux et des structures alluvionnaires* non végétalisées qui sont très mobiles. Elle est donc très facilement identifiable.

BASSE FREQUENCE HAUTE MAGNITUDE

Crues globalement supérieures ou égales à la décennale, fortement morphogènes. Il s'agit donc de crues plutôt rares présentant une forte morphogénie.

CASCADE SEDIMENTAIRE

Ensemble d'éléments interconnectés (sources sédimentaires, connecteurs, réservoirs sédimentaires, exutoires) qui produisent et exportent des sédiments. Ces sont de véritables machines à produire, transporter et exporter des sédiments. Spécifique au domaine torrentiel.

CHUTE ALLUVIALE

Chenal de décharge naturel situé entre une structure alluvionnaire latérale et la berge contre laquelle la structure s'est développée. Généralement, cette chute n'est fonctionnelle qu'en crue.

CONTEXTE DYNAMIQUE

Le contexte dynamique se caractérise par deux éléments : le fonctionnement dynamique* et son évolution dynamique*. Ces deux éléments sont intrinsèquement liés et évoluent essentiellement au gré des aléas climatiques et hydrologiques. On pourrait également parler de système dynamique.

CONTRIBUTEUR SEDIMENTAIRE

Affluent du cours d'eau principal contribuant par des apports d'alluvions à son bilan sédimentaire

DEFLUVIATION

Changement de lit temporaire lors d'une crue, le cours d'eau revenant après la crue dans son lit.

ECOTONE

Transition entre la bande active *stricto sensu* et le boisement latéral

ERODABILITE

Capacité d'une roche à être érodée

ÉVOLUTION DYNAMIQUE

Évolution du fonctionnement dynamique* liée à des modifications anthropiques et/ou des crues morphogènes*. Cette évolution crée de nouvelles conditions de fonctionnement dynamique*.

FONCTIONNEMENT DYNAMIQUE

Dynamique fluviale actuelle d'un cours d'eau. Ce fonctionnement évolue forcément (impact des activités humaines, succession de crues morphogènes* qui le modifie substantiellement). La dynamique d'un cours d'eau est évolutive et est constituée d'une succession de fonctionnements dynamiques différents.

GESTION DYNAMIQUE

Méthode consistant à gérer un cours d'eau en connaissant son fonctionnement dynamique* et en intervenant par des techniques de génie dynamique pour favoriser des réponses dynamiques* acceptables tendant à impacter l'évolution dynamique*.

GELIFRACTION

Processus géomorphologique d'érosion lié à l'éclatement des roches sous l'action répétée de cycles de gel/dégel.

INCISION

Efoncement vertical du lit, généralement lié à un déficit sédimentaire (modifications hydroclimatiques et anthropiques) ou à une érosion régressive.

INRADOS

Berge de rive convexe dans un méandre

METAMORPHOSE FLUVIALE

Évolution dynamique* marquée par une rupture définitive (sans possibilité de restauration à l'identique) dans le fonctionnement dynamique* qui a été initiée par l'anthropisation du cours d'eau.

Les usages ont dans un premier temps pesé sur le fonctionnement dynamique* (extraction de matériaux alluvionnaires, destruction de la végétation – ripisylve et végétation alluvionnaire*, seuils et barrages pour exploiter l'énergie hydraulique...).

Puis, au fil des réajustements géométriques* du lit et à l'effet amplifié de certains phénomènes (débordements, érosion...), les cours d'eau ont été corsetés avec des techniques contraignantes et déconnectées de son fonctionnement (enrochements, seuils, digues...). La métamorphose conduit inéluctablement à une évolution dynamique* irréversible.

MORPHOGENE

Action ou agent susceptible de modifier les formes fluviales. Une crue morphogène engendre des modifications des formes du cours d'eau (lit, berges...).

PERTURBATEUR HYDROMORPHOLOGIQUE

Élément transversal présent en lit mineur ayant un impact sur le fonctionnement dynamique* d'un cours d'eau. Il peut ainsi altérer la continuité sédimentaire et/ou écologique.

Cette altération peut conduire à une modification du style fluvial en aval (*e.g.* barrage, seuil altérant fortement la continuité sédimentaire...) : on parle alors de perturbateur majeur. Dans le cas où l'impact n'est que local, on parle de perturbateur secondaire (*e.g.* radier, gué...).

Les perturbateurs peuvent avoir une origine naturelle (seuil naturel), ce sont les perturbateurs géomorphologiques, ou une origine anthropique (barrage, seuil, pont, radier, gué...), il s'agit alors de perturbateurs anthropiques.

PROCESSUS ALLOGENIQUES

Processus externe d'évolution et de régénération. Dans notre domaine, il s'agit des crues débordantes qui viennent régénérer les boisements alluviaux. Ces crues purgent les arbres vieillissants et créent ainsi des taches (au sens biologique du terme) qui sont rapidement exploitées par des espèces pionnières, et ce d'autant plus que la crue aura amené des diaspores*. Cette régénération permet aux boisements alluviaux d'évoluer en présentant des successions végétales adaptées.

REAJUSTEMENTS GEOMETRIQUES

Ensemble des réponses physiques (érosion, incision*, sédimentation...) ayant des effets sur la géométrie (latérale et longitudinale) du lit d'un cours d'eau. Ces réponses peuvent être initiées par des à-coups hydrauliques (liés aux crues, inondations, étiages...), mais aussi par des modifications anthropiques.

RECHARGE SEDIMENTAIRE

Technique de génie dynamique consistant à intégrer des matériaux exogènes de forme et de granulométrie compatibles avec le cours d'eau, dans des tronçons à apports insuffisants. L'objectif de cette technique étant de compenser un apport naturel déficitaire.

REMOUS REGRESSIF SOLIDE

Dépôt de matériaux dans la retenue d'un ouvrage transversal (seuil, barrage). Ce remous se dépose d'abord au niveau de l'ouvrage, puis la retenue se remplit en remontant vers l'amont petit à petit au gré des crues.

Les matériaux manquant (piégés dans la retenue) vont générer à l'aval de l'ouvrage une incision* du lit par déficit sédimentaire.

RETROGRADATION

Phénomène d'aggradation (dépôt en lit) d'alluvions formant généralement une structure alluvionnaire se développant de l'aval vers l'amont par appui sur un élément (pile de pont, embâcle...).

SINUOSITE

Rapport entre la longueur développée du cours d'eau entre deux points en suivant l'axe du lit mineur et la longueur entre les deux mêmes points en suivant l'axe de la vallée.

STOCK ALLUVIAL

Ensemble des matériaux alluvionnaires (alluvions) disponibles en lits mineur et majeur (fond du lit, berges, terrasses alluviales...) et participant actuellement ou de manière différée (lors des épisodes de crues) à la dynamique alluviale d'un cours d'eau.

STRUCTURES ALLUVIONNAIRES

Bancs ou atterrissements correspondant à des exhaussements locaux liés à des réajustements géométriques du lit lors des crues morphogènes. Ils présentent une surface et une subsurface et sont remobilisables tant qu'ils ne sont pas végétalisés.

STYLE FLUVIAL

Morphologie du lit représentative d'un tronçon de cours d'eau. Cette morphologie dépend de divers paramètres (pente, fourniture sédimentaire...) et est variable en fonction de la position du tronçon dans le profil en long du cours d'eau

SUBSTRAT

Éléments grossiers tapissant le fond d'un lit fluvial. Ce tapis* exclut les éléments de rugosité* et les patches de colmatage* (matériaux fins – argiles, limons et sables – masquant généralement le substrat).

Ainsi, l'armure* et le pavage* (au sens de Bray & Church, 1980) sont des types de substrat liés notamment à la fourniture sédimentaire (plutôt abondante pour l'armure et déficitaire pour le pavage qui est un substrat associé à l'incision du lit).

TRANSFERT-REINJECTION DE MATERIAUX

Technique de gestion du stock alluvial* qui consiste à accompagner la dynamique fluviale en transférant des matériaux bloqués (soustrait au stock alluvial*) ou impactant trop fortement le fonctionnement dynamique* et/ou certains usages, et à les transférer mécaniquement dans des zones repérées préalablement où ils pourront être réinjectés dans le stock alluvial* (zone déficitaire) soit par injection-retard* ou directe*, suivant l'effet recherché.

7 Références bibliographiques

- ARNAUD-FASSETTA, G., FORT, M., 2004. La part respective des facteurs hydroclimatiques et anthropiques dans l'évolution récente (1956 - 2000) de la bande active du haut Guil, Queyras. *Méditerranée, Géosystèmes montagnards et méditerranéens* - mélange offert à Maurice Jorda, 102, pp. 143-156.
- BRAVARD, J.P., 1989. La métamorphose des rivières des Alpes françaises à la fin du Moyen-Âge et à l'époque moderne. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 25, pp. 145-157.
- CHORLEY, R.J., KENNEDY, B.A., 1971. *Physical geography: a system approach*. Prentice Hall International, London, 370 p.
- CHURCH, M., RYDER, J.M., 1972. Paraglacial sedimentation: consideration of fluvial processes conditioned by glaciation. *Geological Society of America Bulletin*, 83, pp. 3059-3072.
- COUTTERAND, S., 2010. Etude géomorphologique des flux glaciaires dans les Alpes Nord-occidentales au Pléistocène récent, du maximum de la dernière glaciation aux premières étapes de déglaciation, Université de Savoie, thèse, 468 p.
- GAZELLE, F., 2003. Les embâcles perturbateurs hydrologiques. Morceaux choisis de littérature hydrologique sur la vie des cours d'eau en hommage au Professeur Roger Lambert. CNRS, « GEODE », Univ. Toulouse-Mirail, pp. 107-114.
- HARVEY, A.M., 2001. Coupling between hillslopes and channels in upland fluvial systems: implications for landscape sensitivity, illustrated from the Howgill fells, Northwest England. *Catena*, 42(2), pp. 225-250.
- JORDA, M., 1980. Morphogénèse et évolution des paysages dans les Alpes de Hautes-Provence depuis le Tardiglaciaire, *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, 472, pp. 295-304.
- KNIGHTON, A.D., 1984. Fluvial forms and processes. *Edwards Arnold ed., London*, 218 p.
- LANDON, N., 2007. Du constat d'enfoncement du lit fluvial aux actions de recharge sédimentaire : quelles solutions pour une gestion raisonnée de nos cours d'eau? *Outils de gestion de l'eau en territoire de montagne*, PNR du Queyras, ONEMA et MEDR, pp. 28-39.
- MERCIER, D., 2010. La géomorphologie paraglaciale. Changements climatiques, fonte des glaciers et crises érosives associées. Editions Universitaires Européennes. 256 p.
- OTTO, J.C., KLEINOD, K., KÖNIG, O., KRAUTBLATTER, M., NYENHUIS, N., ROER, I., SCHNEIDER, M., SCHREINER, B., DIKAU, R., 2007. HRSC-A data : a new high resolution data set with multi-purpose applications in physical geography. *Progress in Physical Geography*, 312, pp. 179-197.
- PIEGAY, H., BELETTI, B., LIEBAULT, F., 2009. Typologie des rivières en tresses du bassin RMC. ZABR, rapport de l'année 1, 99 p.
- WIEDERKEHR, E., DUFOUR, S., PIÉGAY, H., 2008. Suivi physique et biologique des rivières en tresses. *Zone Atelier Bassin du Rhône*, 41 p.



HYDRETUDES

Ingénierie de l'eau - Maîtrise d'œuvre

Conseil - Etudes - Maîtrise d'œuvre - Assistance technique - Formation

Eau et infrastructures hydrauliques

- Eau potable/Traitement
- Irrigation
- Eau usée/Épuration
- Eau pluviale

- Risques naturels
- Aménagements fluviaux et portuaires
- Digue, ouvrages de protection

Environnement aquatique

- Gestion des ressources
- Préservation, restauration, valorisation
- Développement durable
- Réglementation



Siège social Centre technique principal

815 Route de Champ Fayon
74 370 ARGONAY

Tél : 04 50 27 27 26
Fax : 04 50 27 25 54
contact@hydretudes.com

Agence Dauphiné-Provence

9, rue Profiel
26 500 ROMANS SUR ISERE

Tél : 04 75 45 30 57
Fax : 04 75 71 04 37
contact-romans@hydretudes.com

SARL Océan Indien

« Les Kréols »
8-10, rue Assel Doreuil
97 420 SAINT PIERRE

Tél : 02 62 96 82 45
Fax : 02 62 32 59 05
Contact.reunion@hydretudes.com

SARL Alpes du Sud

Bât 2 - Rte Forest d'Entrals
29, rue du Forest d'entrals
34 000 GAG

Tél : 04 92 22 93 26
Fax : 04 92 22 87 83
contact-gag@hydretudes.com

SARL Grand Sud-Pyrénées

18 bis, chemin du Chapitre
31 200 TOULOUSE

Tél : 04 62 22 09 44
Fax : 04 62 24 08 95
contact-toulouse@hydretudes.com

Agence Sud-Ouest

41, Rue des Fontaines
64 300 LÈZ

Tél : 04 54 27 02 76
contact-toulouse@hydretudes.com

SARL Alpes du Nord

Alpicoor
50, Voie Albert Einstein
73 800 FRANCON

Tél : 04 79 95 44 37
Fax : 04 79 73 02 59
contact-savoie@hydretudes.com