

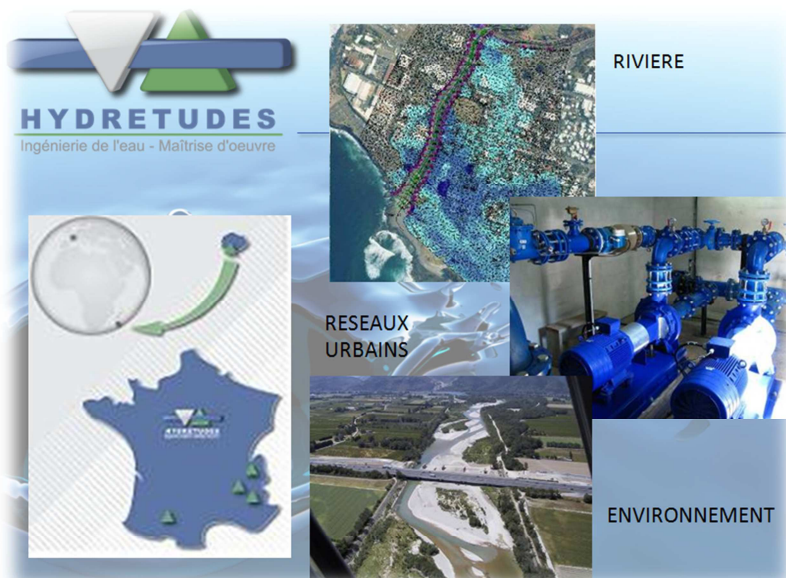


## SYNDICAT MIXTE DES BASSINS DE L'ESCOUTAY ET DU FRAYOL

Phase 2  
Rapport

# ÉTUDE DU FONCTIONNEMENT HYDROMORPHOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU FRAYOL ET ÉLABORATION D'UN PLAN DE GESTION PHYSIQUE DES COURS D'EAU

Phase 2 : Orientations et plan de gestion



ARI-16-021  
HYDRETUDES  
Septembre 2017

Émetteur

**HYDRETTUES**

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 : DESP12287544

**IV. – Dignes et petits barrages - études et diagnostics**

NUMÉRO D'AGREMENT	DÉSIGNATION DE L'ENTREPRISE OU DE L'ORGANISME AGRÉÉ : dignes et barrages - études et diagnostics	AGRÉÉ JUSQU'AU
1-d	HYDRETTUES	10 juin 2017

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

NUMÉRO D'AGREMENT	DÉSIGNATION DE L'ENTREPRISE OU DE L'ORGANISME AGRÉÉ : dignes et petits barrages - études, diagnostics et suivi des travaux	AGRÉÉ JUSQU'AU
1-d	HYDRETTUES	10 juin 2017

Réf. affaire : ARI-16-021

*Titre : Étude du fonctionnement hydromorphologique du bassin versant du Frayol et élaboration d'un plan de gestion physique des cours d'eau*

Indice	Date	Description	Statut	Établi par	Vérifié par	Approuvé par
01	20/10/2017	Première diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> Provisoire <input type="checkbox"/> Définitif	JMD-CM	BC	BC

Directeur de projet : Benoit Chapon

Chef de projet : Jean-Manuel Deleuze

Maître d'Ouvrage : Syndicat Mixte des Bassins du Frayol et du Frayol (SMBEF)

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

## SOMMAIRE

1	Préambule.....	6
1.1	Un contexte particulier et complexe pour un plan de gestion .....	6
1.2	Un plan de gestion à divers niveaux.....	7
1.3	Du diagnostic au plan de gestion .....	7
2	Éléments de connaissance du bassin versant du Frayol .....	8
2.1	Les enseignements de la Phase 1 .....	8
2.2	Les points forts du diagnostic hydromorphologique.....	8
3	Identification des secteurs sensibles .....	11
3.1	Définition .....	11
3.2	Les secteurs sensibles identifiés.....	11
4	Orientations de gestion .....	14
4.1	Grands axes et bases d’une stratégie de gestion.....	14
4.2	AXE 1 : Gérer l’aval (FRA_3 et FRA_4) pour protéger le Teil .....	19
4.3	AXE 2 : Protéger les secteurs sensibles .....	29
4.4	AXE 3 Soutenir la fourniture sédimentaire .....	36
4.5	AXE 4 : Contrôler pour évaluer, évaluer pour évoluer .....	37
4.6	AXE 5 : S’appropriier les cours d’eau.....	41
5	Plan de gestion.....	43
5.1	Deux niveaux d’intervention .....	43
5.2	Des actions à long terme.....	43
5.3	Des fiches spécifiques .....	44
5.4	Portefeuille de fiches-action.....	46
6	Glossaire .....	47
7	Références bibliographiques .....	52

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : impact du contexte géologique sur l'Escoutay ; 1 → écoulement sur les marnes hauteriviennes en amont d'Aubignas (FRA_2) ; 2 → écoulements sur les marnes hauteriviennes en aval d'Aubignas (FRA_3) ; corsetage lithologique par les marnes en amont des Combes (FRA_3).....	9
Figure 2 : éléments caractéristiques de la partie haute du bassin du Frayol : les nombreuses cascades qui compartimentent le profil en long .....	10
Figure 3 : Hiérarchisation des actions suivant leur niveau de priorité .....	18
Figure 4 : (1) figuier ( <i>Ficus carica</i> ) (2) peuplier noir ( <i>Populus nigra</i> ) poussant spontanément dans le lit du Frayol au niveau des Combes. (3) fermeture du lit en cours par végétalisation y compris du substrat du lit.....	20
Figure 5 : (1) arbres sous-cavés en berge, (2) et (3) géants sénescents asphyxiés par le lierre.....	21
Figure 6 : à gauche → début d'embâclage du lit, à droite → début de fermeture .....	21
Figure 7 : (1) peuplier sous-cavé ; (2) arbre mort ; (3) pins sylvestres en berge .....	23
Figure 8 : (1) jeune figuier poussant dans le lit ; (2) semis de peupliers, (3) jeune robinier (l'échelle photographique fait 50 cm).....	24
Figure 9 : (1) renouée vers la confluence avec le Rhône, (2) buddleja de David, (3) phytolacca avec sa fleur en médaillon, (4) ailante poussant en lit.....	24
Figure 10 : Elévation aval (1) et amont (2) du pont à créneaux, (3) rétrécissement de section en aval immédiat du pont à créneaux.....	25
Figure 11 : l'enfilade des trois ponts .....	26
Figure 12 : Elévation amont et aval du pont de l'avenue Ch. de Gaulle .....	27
Figure 13 : vue en élévation du pont SNCF .....	27
Figure 14 : (1) et (2) Elévation aval du pont SNCF, (3) vue de l'érosion de berge en rive gauche .....	28
Figure 15 : Vue en élévation amont du pont de l'Europe Unie. On note le rétrécissement de section et le désaxement avec érosion de la berge de rive gauche.....	28
Figure 16 : élévations amont et aval du pont de la Liberté .....	29
Figure 17 : différentes vues anciennes du pont de la Liberté (source CPA) dates non connues .....	30
Figure 18 : pont de la Liberté avant incision du lit .....	31
Figure 19 : appuis du pont de la Liberté, à gauche → culée C0 avec massif de renfort sous-cavé ; à droite → pile P1 partiellement reprise par enrochement bétonné.....	31
Figure 20 : à gauche → massifs de renforts de P1 et P2, on note T3 obstruée partiellement ; à droite → travée T3 obstruée et l'érosion générée par le passage du Frayol en crue.....	31
Figure 21 : seuil amont au pont avec mouille de surcreusement et muret de l'ancienne risberme. Notez l'affouillement en pied de seuil malgré le massif de renfort qui montre l'incision du lit. ....	32
Figure 22 : vue depuis la travée T2 vers l'aval. On distingue le seuil, une passée de marnes bleues du Bédoulien inf. et le niveau de l'ancienne risberme. Cette dernière est érodée du fait de l'incision du lit. ....	32
Figure 23 : état du radier parafouille encore visible notamment sous T1, vu depuis l'aval. Il est déstabilisé.....	32
Figure 24 : En haut → enrochement en aval du pont à créneaux partiellement ruiné ; en bas détail de la partie ruinée.....	33
Figure 26 : affouillement de la fondation de la passerelle Jarniac.....	34

Figure 25 : enrochement en amont rabouté à la passerelle Jarniac en cours de ruine .....	34
Figure 27 : ouvrage sous-cavé en amont du pont Mattéoti, à surveiller .....	35
Figure 28 : vue partielle en élévation du pont de la RD 86, on note en aval la confluence avec le Rhône et surtout le décrochement du seuil parafouille partiellement déstabilisé et affouillé.....	35
Figure 29 : vue aval RG du seuil parafouille partiellement ruiné. On note le décrochement important ainsi que l'érosion de berge.....	36
Figure 30 : seuil parafouille partie aval déstabilisée, le seuil sous-cavé par affouillement se déstructure petit à petit par rétrogradation lors des crues morphogènes. Le ressaut est important (plus de 2 mètres).....	36
Figure 31 : Modèles des trois types de fiche constituant le plan de gestion du Frayol.....	45

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Secteurs sensibles du Frayol.....	12
Tableau 2 : synthèse des orientations de gestion du Frayol.....	17
Tableau 3 : évolution altimétrique du lit constatée au Teil entre 2005 et 2016 .....	22
Tableau 4 : Suivi dynamique préconisé pour le Frayol.....	40

## LISTE DES ENCARTS

Encart 1 : La crise morphogénique .....	6
Encart 2 : L'intérêt général.....	11
Encart 3 : l'accompagnement dynamique.....	14
Encart 4 : Les forçages dirigés .....	15
Encart 5 : les embâcles.....	20
Encart 6 : La recharge sédimentaire .....	36
Encart 7 : Les pathologies du riverain .....	41

# 1 Préambule

## 1.1 Un contexte particulier et complexe pour un plan de gestion

Le Syndicat Mixte des Bassins du Frayol et du Frayol souhaite définir un plan de gestion du transport solide et des espaces de bon fonctionnement du Frayol. En effet, le Frayol a un fonctionnement particulier dit « cévenol » caractérisé par des étiages sévères, voire des assecs, et des crues aussi soudaines que violentes.

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 contexte de péjoration climatique conduisant à un tarissement sédimentaire qui est activé depuis le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle. (*i.e.* depuis la sortie du Petit Âge Glaciaire ou PAG).

### Crise morphogénique

Les cours d'eau sont sous forçage climatique. Le forçage climatique influe 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.

Le diagnostic hydromorphologique réalisé en Phase 1 de la mission a montré la **faiblesse du renouvellement du stock alluvial** du Frayol, effet logique du tarissement sédimentaire conjoncturel. Ce tarissement a conduit notamment au déstockage du plancher alluvial dans la partie amont du bassin versant.

Par contre la Frayol ne présente pas de bande active de stockage à son aval à l'instar du Frayol.

Le Frayol (comme beaucoup de cours d'eau) est en pleine **crise morphogénique** post-Petit Âge Glaciaire (*cf.* Encart 1).

La partie amont de ce bassin (les trois premiers tronçons) est caractérisée par un système en gorges dont le débouché se situe en amont proche du Teil.

Dans la traversée du Teil, le tracé Frayol se trouve contraint (berges, ouvrages d'art...) et sujet à débordements lors des crues.

Le Frayol s'écoule sur ses trois premiers tronçons largement sur la roche en place (marnes, calcaires) avec même l'apparition de seuils naturels d'origine

lithologique dégagés par l'érosion différentielle entre roche plus résistante et roche plus tendre. Cette situation témoigne du déstockage du plancher alluvial.

Le bassin du Frayol (comme son voisin l'Escoutay) est marqué par les effets du tarissement sédimentaire. Le bilan sédimentaire global (production *vs.* déstockage) est déficitaire (compte tenu notamment des capacités de production limitées). Cette situation pourrait ainsi conduire au **déstockage du stock alluvial hérité**, dont le volume est relativement faible ( $\approx 21\ 000\ m^3$ ), par contre ce stock alluvial reste globalement mobile (actuellement 93% des structures alluvionnaires restent potentiellement mobilisables). Sa caractéristique principale est toutefois d'être constituée d'un grand nombre de structures de faible volume.

Il convient également d'indiquer que le Frayol présente un **régime d'oued** avec des assecs importants lors des périodes estivales.

Le bassin versant du Frayol constitue donc un bassin composite marqué par les effets du tarissement sédimentaire post-Petit Âge Glaciaire et la présence sur les deux tiers amont de tronçons en gorge fortement pentés.

C'est donc dans ce contexte particulier, et l'évolution qui en découlera, qu'il convient de construire le plan de gestion du bassin versant du Frayol. Il faut toutefois noter la **complexité de la démarche**

liée à la **faiblesse particulière de la recharge sédimentaire** et certainement des réservoirs sédimentaires exploitables en termes de recharge sédimentaire assistée (forçages dirigés).

## 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** du Frayol, tout en intégrant la gestion des **secteurs sensibles** répertoriés, afin d'impacter la trajectoire géomorphologique du Frayol et lisser les effets de la crise morphogénique en cours.

Le contexte particulier du Frayol impose des interventions à différents niveaux pour que le plan de gestion soit réellement efficace dans l'espace (ensemble du bassin versant) et dans le temps (en s'inscrivant dans la durée).

Ainsi, le plan de gestion du bassin versant du Frayol 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 du Frayol 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 du Frayol 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 du Frayol

### 2.1 Les enseignements de la Phase 1

La Phase 1 de la mission a permis d'élaborer un diagnostic du Frayol intégrant et précisant les éléments suivants :

- La **trajectoire géomorphologique** du Frayol (héritage géomorphologique, fonctionnement et évolution dynamiques) ;
- Les **Espaces de Bon Fonctionnement** (EBF).

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 du Frayol (extractions en aval...).

Il a également donné des éléments d'évolution future du Frayol dans un contexte de crise morphogénique (cf. Encart 1) lié au déficit d'apports sédimentaires, déjà bien visible au niveau du déstockage du plancher alluvial des trois premiers tronçons en gorge et de l'incision en cours sur le tronçon FRA\_4 (pas de données en amont).

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 Frayol présente un régime hydrologique de **type oued**, avec des étiages sans eau (cours d'eau en assec) et des crues cévenoles. Cette spécificité a une incidence particulière sur la végétalisation du cours d'eau et sa gestion.

Le diagnostic hydromorphologique a ainsi mis en avant les points suivants :

- L'impact très important de la **géologie** et de la **lithologie**. En effet cet élément impacte la nature de la charge grossière (granulométrie et transport solide, avec la présence du basalte des Coirons en amont dans FRA\_1 et les marnes dans FRA\_1, FRA\_2 et FRA\_3), impacte également le profil en long (cascades et affleurements rocheux, cf. Figure 1 et Figure 2) et contraint la mobilité latérale (cf. Figure 1).
- Le **potentiel de recharge sédimentaire** du Frayol est faible, compte tenu des éléments suivants :
  - o La respiration latérale du lit (et donc l'érosion des berges) est très limitée sur les deux premiers tronçons et plutôt limitée sur les deux derniers. Les falaises corsetant le lit présentent un linéaire important (35,5% en rive gauche contre 26,4% en rive droite).
  - o Le couplage sédimentaire (au sens de Harvey, 2001) entre les versants et le lit est faible (source sédimentaire normalement principale pour un cours d'eau) notamment à cause d'une forte végétalisation.
  - o Les contributeurs sédimentaires sont de faibles contributeurs (linéaire court, connexion versant-lit très faible, végétalisation des bassins...), seul le ruisseau de Vaudeyron contribue mais sans apporter au Frayol de volumes importants.
- Le **stock alluvial** (stock alluvial hérité) est faible et comprend environ 21 000 m<sup>3</sup> de matériaux. Il se présente sous la forme de structures alluvionnaires nombreuses (259) et de faible volume unitaire entre 25 m<sup>3</sup> en amont (FRA\_1) et moins de 90 m<sup>3</sup> en aval (FRA\_3 et FRA\_4)
- L'**incision** n'est connue que sur la partie aval (FRA\_4), elle y est limitée. Par contre les tronçons amont en gorges s'écoulant largement sur un plancher rocheux déstocké

(lits d'érosion au sens de Tricart, 1977). Il s'agit d'une nappe alluviale périglaciaire, les matériaux la constituant provenant de la gélifraction lors de périodes froides quaternaires.

On peut donc résumer ce bilan en indiquant que :

- Le **tarissement sédimentaire** a affecté les trois premiers tronçons et s'est concrétisé par un **décapage du plancher alluvial** (7,6 km pour 10,9 km de linéaire, soit un écoulement sur la roche pour 77% du linéaire sur les trois tronçons amont), il s'agit d'une incision généralisée du lit qui est actuellement contrôlée par la géologie ;
- Le **stock alluvial hérité est limité** et il n'y a pas de bande active de stockage comme sur l'Escoutay en aval (FRA\_4). De plus le lit y est contraint ;
- Le potentiel de **recharge sédimentaire est très limité** ;
- **L'incision est mal connue** même sur le seul tronçon où elle a pu être étudiée compte tenu des données disponibles.

La partie amont du bassin a subi un déstockage de son plancher alluvial périglaciaire par progradation (comme pour l'Escoutay). Ainsi ce plancher alluvial s'est déjà majoritairement exporté (notamment à cause de la configuration du bassin en gorge sur une grande partie du linéaire, se caractérisant par des possibilités de stockage faibles mais des capacités d'exportation fortes) et la part résiduelle de ce plancher (stock alluvial hérité sous la forme de structures alluvionnaires) est faible.

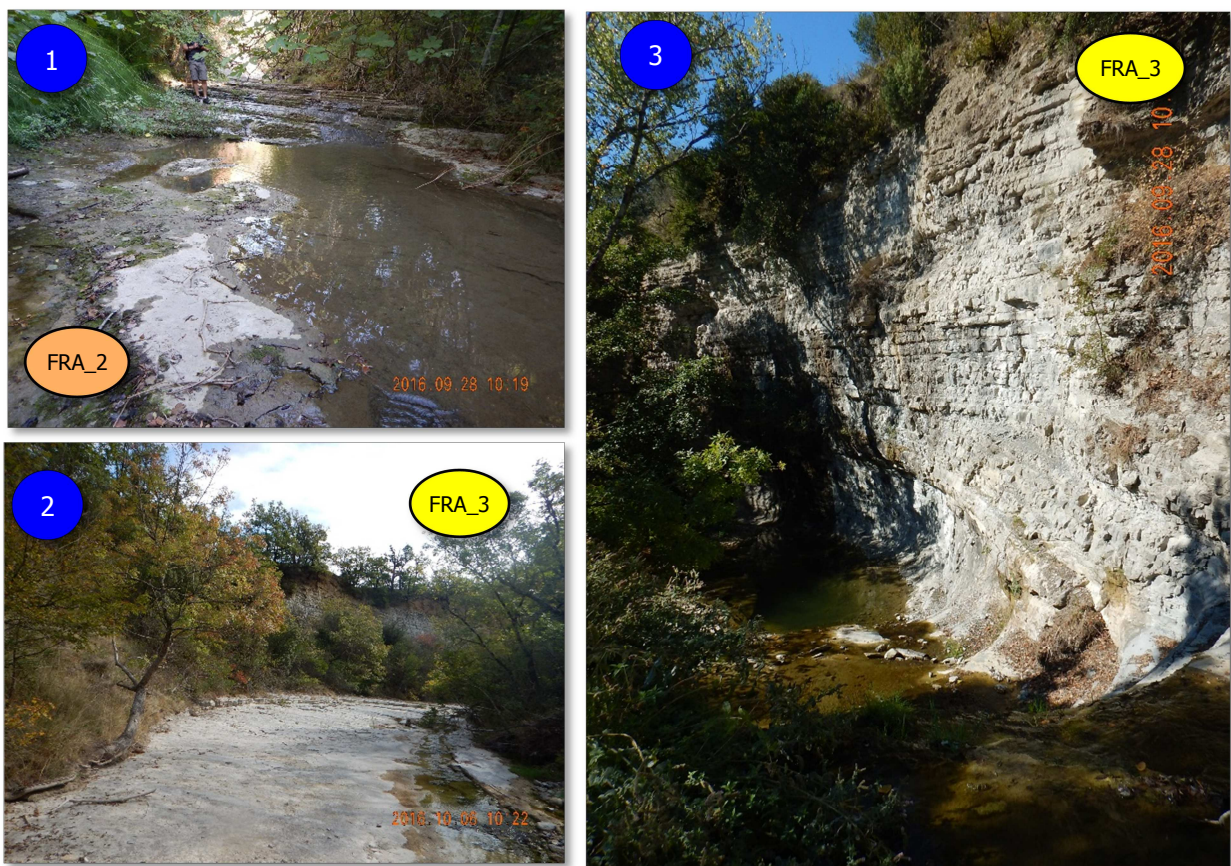
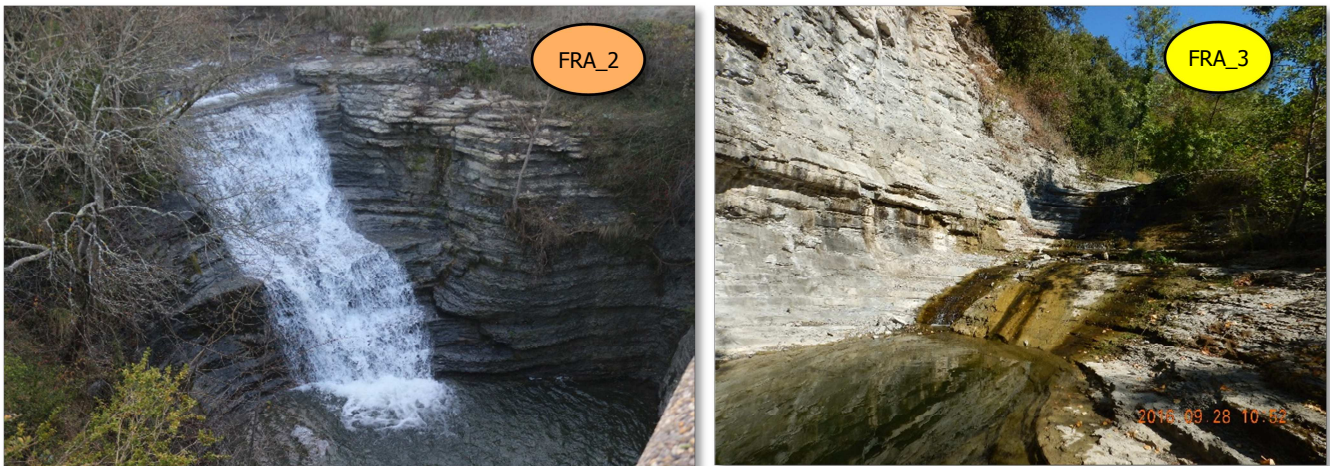


Figure 1 : impact du contexte géologique sur l'Escoutay ; 1 → écoulement sur les marnes hauteriviennes en amont d'Aubignas (FRA\_2) ; 2 → écoulements sur les marnes hauteriviennes en aval d'Aubignas (FRA\_3) ; corsetage lithologique par les marnes en amont des Combes (FRA\_3).



*Figure 2 : éléments caractéristiques de la partie haute du bassin du Frayol : les nombreuses cascades qui compartimentent le profil en long*

### 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)

Encart 2 : L'intérêt général

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 2).

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.

#### 3.2 Les secteurs sensibles identifiés

Le principal secteur sensible est constitué du tronçon FRA\_4 et concerne donc la traversée du Teil. Toutefois la partie aval du tronçon FRA\_3 en cours de végétalisation peut favoriser par son embâclage des effets de vague en aval sur le tronçon FRA\_4 comme cela s'est produit lors de la crue de 2014.

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

LES SECTEURS SENSIBLES DU FRAYOL					
Tronçon	Localisation	Intérêt général			Observations
		Public	Sécuritaire	Dynamique	
FRA_1	Néant	-	-	-	
FRA_2	Néant	-	-	-	
FRA_3	Aval des Combes notamment	X	X	-	Végétalisation avec risque d'augmentation des crues cévenoles sur FRA_4
FRA_4	Traversés du Teil	X	X	X	Quasiment l'ensemble du linéaire
	Pont de la Liberté	X	X	X	Pont affouillé
	Pont à créneaux		X	X	Ponts favorisant l'inondabilité et les accrétions
	Enfilade des ponts (avenue C. de Gaulle, SNCF, Avenue de l'Europe unie)	X	X	X	Enfilade de trois ouvrages au gabarit hétéroclite, favorisant les accrétions et érosions de berge entre
	Pont de la RD89 (seuil)	X	X	X	Seuil en cours d'affouillement

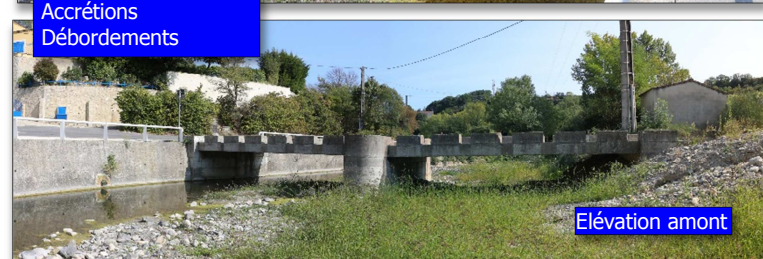
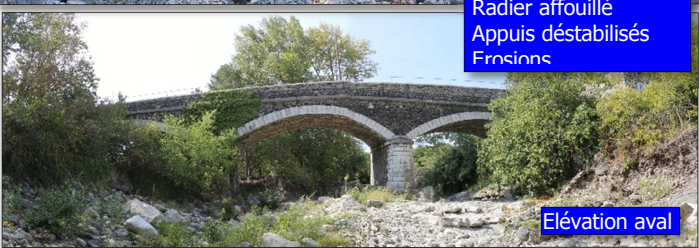
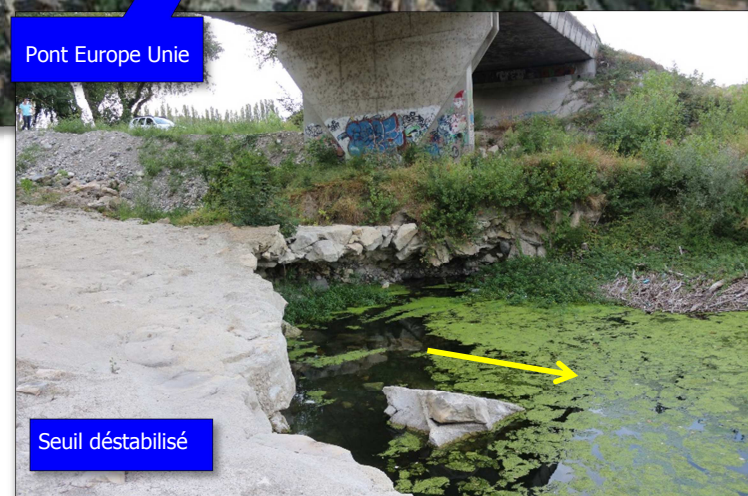
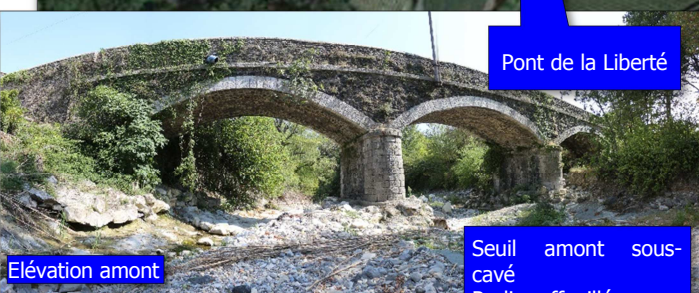
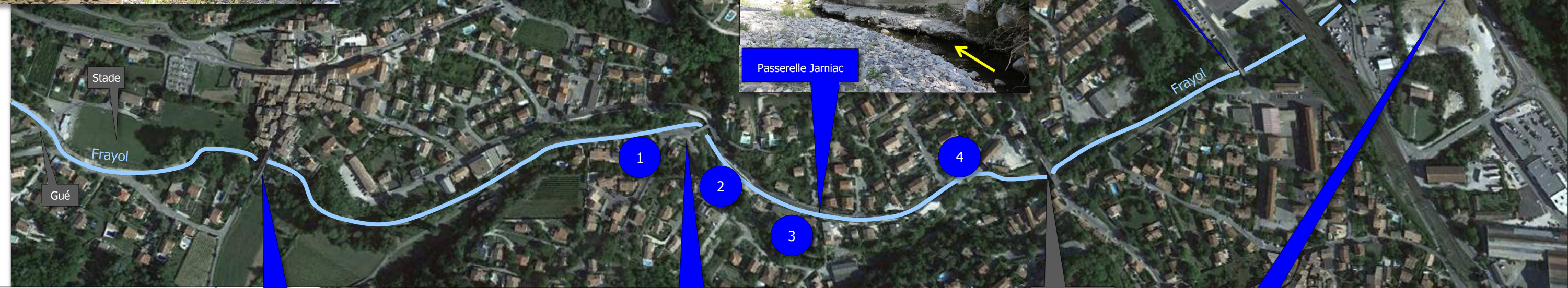
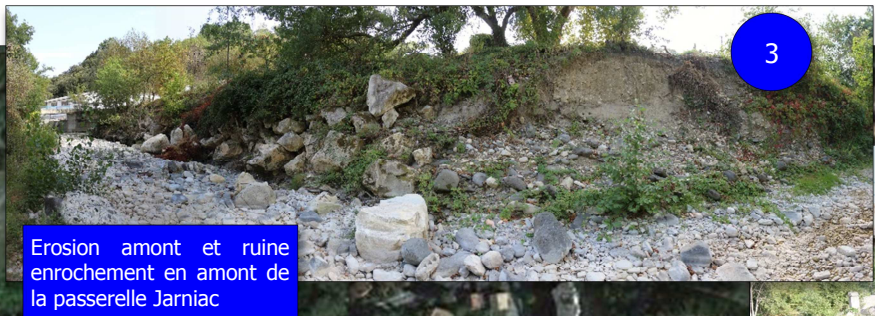
*Tableau 1 : Secteurs sensibles du Frayol*

La traversée du Teil se caractérise par une **forte anthropisation**, par un **gabarit hydraulique variable** et des contraintes importantes avec un tracé fixé.

Il convient de garder à l'esprit qu'en cas de crue cévenole l'ensemble du lit peut subir des dégâts (érosion, embâclage, accrétions et sur-inondabilité...). De plus, la **végétalisation** du lit et des berges peut augmenter fortement les dégâts si elle n'est pas adaptée.

En effet une végétation adaptée (espèces de bord de cours d'eau présentant des stades sylvigénétiques différenciés, géants sénescents non présents en berge...) va créer de la rugosité végétale et protéger les berges. Au contraire une végétation inadaptée (essences inadaptées à racines traçantes, banalisation des stades sylvigénétiques avec canopée équienne, arbres sous-cavés, espèces invasives, végétalisation du lit notamment dans les travées de pont rarement en eau...) va favoriser érosion des berges et embâclage du lit.

Toutefois les principaux points à mettre en avant dans ce tracé (à partir du gué) sont détaillés à la page suivante :



## 4 Orientations de gestion

### 4.1 Grands axes et bases d'une stratégie de gestion

#### A Une stratégie à double détente

Au vu du diagnostic hydromorphologique et des secteurs sensibles recensés, il convient dans un premier temps de définir les orientations de gestion du bassin versant du Frayol. Il s'agit de détailler les principaux axes de gestion (grands axes), puis pour chacun d'entre eux les actions et sous-actions découlant du diagnostic.

Les orientations de gestion déclinent donc les grands axes du futur plan de gestion du bassin versant du Frayol et préfigurent ainsi les fiches-actions qui le constitueront.

Compte tenu de la configuration du bassin (gorge et espace urbanisé) et du déficit sédimentaire constaté deux points apparaissent essentiels :

- Le tronçon aval (FRA\_4), **urbanisé et contraint** nécessite une attention immédiate compte tenu de l'**importance des enjeux**.

D'autant plus que le risque d'encombrement du lit en amont (FRA\_3) peut favoriser un effet de vague lors de crues lié à l'encombrement du lit en amont de FRA\_4 (comme en 2014). En effet, la crue de 2014 a généré beaucoup plus de dégâts que celle de 2015, alors que leur occurrence était à peu près superposable ( $\approx Q_{50}$ ).

En effet, la seconde crue est survenue après que la première crue eut purgé les obstacles notamment dans le lit et sur les berges (embâcles, arbres vieillissants et/ou fragilisés, essences inadaptées...). Cette première crue a ainsi vu sa morphogénie augmentée (par rapport à la seconde) à cause de l'encombrement du lit.

- Le **réamorçage de la pompe sédimentaire** afin d'améliorer la trajectoire géomorphologique du Frayol. Mais le réamorçage de la pompe sédimentaire sera plus complexe que sur l'Escoutay car la **situation du bassin est plus complexe** (déstockage massif des alluvions, pas de bande active de stockage, stock alluvial hérité bien plus faible...) et les possibilités de recharge y sont plus limitées (trois tronçons en gorge...). Cette action devra être effectuée sur le long terme.

En conséquence la **priorité concerne la gestion de FRA\_4 et de FRA\_3** afin de protéger le Teil notamment du risque d'inondabilité en cas d'encombrement du lit par la charge solide dans FRA\_4 et d'encombrement du lit dans FRA\_3 (embâclage...).

#### B 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 Wiederker *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...

Pour réaliser ces objectifs nous allons développer une stratégie d'**accompagnement dynamique** (cf. Encart 3).

Il s'agit ainsi d'accompagner « mécaniquement » le fonctionnement dynamique dysfonctionnant du Frayol pour lisser voire pallier ses effets pervers affectant des enjeux relevant de l'**intérêt général** (cf. Encart 2).

En particulier, dans notre cas il s'agit : (1) de l'inondabilité dans la traversée du Teil et (2) de la sur-inondabilité engendrée par de l'effet de vague que produit un encombrement du lit en amont du Teil (FRA\_3).

Encart 3 : l'accompagnement dynamique

### 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 déclenche de véritables crises morphogéniques sur le long terme (> 10<sup>4</sup> 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).

Cet accompagnement dynamique passera par la mise en place d'actions de **forçage dirigé post-crue** préparant ainsi le lit à la crue et évitant ainsi son encombrement.

Ces actions seront donc mises en œuvre de manière itératives (parfois en adaptant la technique) après chaque crue morphogène pour éviter l'encombrement du lit, l'effet de l'embâclage et favoriser mécaniquement le passage de la charge grossière.

Elles sont couplées avec certaines actions proposées dans le cadre de l'étude réalisée par SAFEGE en 2017 (aménagement du pont à créneaux, création de pièges à embâcles).

### C Gérer les deux derniers tronçons pour mieux protéger le Teil (axe 1)

La gestion des deux tronçons sera une gestion coordonnée permettant : (1) de favoriser le transit sédimentaire FRA\_3 → FRA\_4 → Rhône et (2) d'éviter l'effet de vague par encombrement du lit en amont dans le Teil.

Encart 4 : Les forçages dirigés

Le point principal de ces actions est de maintenir l'efficacité en termes d'écoulement des débits liquides et solides en crue en évitant l'**encombrement du lit favorisant les débordements**.

Il s'agit ainsi d'éviter l'encombrement du lit par embâclage de bois, par fixation de structures alluvionnaires limitant la section d'écoulement, en libérant systématiquement toutes les zones sujettes à l'accrétion chronique (*e.g.* ouvrages d'art) et en travaillant les ouvrages favorisant les accrétions afin de les limiter.

Cette gestion spécifique par accompagnement dynamique s'axera donc sur les points suivants :

- Au niveau du tronçon FRA\_3 :
  - o Eviter la fixation de la charge solide et accompagner son transit (forçage dirigé post-crue) ;
  - o Eviter l'embâclage du lit en travaillant la végétation rivulaire (forçage dirigé) ;
- Au niveau du tronçon FRA\_4 :
  - o Accompagner la charge grossière (forçage dirigé post-crue) en travaillant le profil en long (parties incisées *versus* parties exhausées) ;
  - o Travailler la végétation des berges et du lit qui a un impact sur le fonctionnement dynamique du Frayol ;
  - o Améliorer le transit sédimentaire au niveau des points de blocage (pont à créneaux et enfilade de ponts en aval) ;

### D Protéger les secteurs sensibles (axe 2)

Certains éléments (ouvrages d'art, confortement de berges) sont en mauvais état suite notamment aux crues récentes et demandent des améliorations et/ou des adaptations afin de préparer la prochaine crue. Un contrôle et entretien devra ensuite être effectué systématiquement en post-crue.

Ces éléments sont :

- Le pont de la Liberté qui est affecté par l'incision et présente des dysfonctionnements notamment au niveau de sa travée T3,
- Plusieurs enrochements (aval du pont à créneaux, amont de la passerelle Jarniac...) qui sont partiellement ruinés, la passerelle Jarniac présente un appui sous-cavé,
- Le seuil parafouille du pont de la RD 86 est partiellement déstabilisé par affouillement régressif.

Des opérations d'aménagements et d'adaptation sont à mettre en œuvre pour limiter l'impact des prochaines crues sur ces différents éléments.

### **E Soutenir la fourniture sédimentaire (axe 3)**

Il s'agit de développer une stratégie adaptée à la crise morphogénique et évolutive en soutenant la fourniture sédimentaire déficiente.

Cet axe n'est pas prioritaire et pourra se développer dans un second temps, laissant ainsi le temps de travailler les tronçons FRA\_3 et FRA\_4, permettant de réaliser également une étude permettant de connaître le couplage sédimentaire latéral et les possibilités de reconnexion ou de connexion versants-lit (*cf.* FA 4.1.1).

Le diagnostic hydromorphologique mené en Phase 1 de la mission a montré que le transit sédimentaire du Frayol est perturbé avec notamment un déficit sédimentaire important. Il a également mis en exergue l'importance du linéaire sans plancher alluvial et la faiblesse du stock alluvial hérité.

Il est donc nécessaire de bâtir une stratégie de gestion adaptée qui essaye de favoriser la recharge sédimentaire tout en évitant que le stock alluvial ne se fixe et en limitant l'encombrement du lit notamment dans les gorges. Cette stratégie est donc une stratégie d'**accompagnement dynamique** (*cf.* Encart 3).

Cet accompagnement dynamique passe par plusieurs éléments coordonnés :

- Favoriser la recharge sédimentaire (autant que faire se peut) ;
- Accompagner le transit sédimentaire en limitant l'encombrement du lit ;

### **F Assurer un suivi pour s'adapter aux évolutions et ne pas les subir (axe 4)**

Cette stratégie doit se développer dans le temps pour impacter positivement l'évolution dynamique du Frayol et donc sa trajectoire géomorphologique.

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

Il est également important d'avoir des **éléments de connaissance complémentaire** notamment en ce qui concerne l'évolution altimétrique *a minima* sur les tronçons FRA\_3 et FRA\_4 et ce sur le long terme.

Les actions de ce plan de gestion constitueront donc des forçages dirigés anthropiques volontaires pour accompagner la trajectoire géomorphologique du Frayol.

### **G S'approprier les cours d'eau (axe 5)**

Cette action comprend un volet formation pour le personnel du SMBEF, qui sera à coordonner avec la formation prévue dans le plan de gestion de l'Escoutay et des actions à destination des riverains et des habitants du bassin du Frayol (conférence de l'eau, plaquette de communication).

**H 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 3 indique la répartition dans le temps en fonction du rang de priorité des différentes actions du plan de gestion du Frayol.

ORIENTATIONS DE GESTION – ACTIONS ET SOUS-ACTIONS DU PLAN DE GESTION						
Axes	Actions	Sous-actions	Objectifs	Type de forçage	Prérequis	Calendrier
1. Gérer FRA_3 et FRA_4 pour protéger Le Teil	1.1 Accompagner dynamiquement FRA_3	1.1.1 Accompagner le transit de la charge solide en favorisant la mobilité des structures alluvionnaires (Combes → aval)	Eviter la fixation des structures alluvionnaires	FDPC	Point sur les structures	P
		1.1.2 Limiter l'embâclage du lit et l'effet de vague en travaillant la végétation rivulaire	Eviter la fixation de la charge solide et l'embâclage	FDPC	Point sur végétation rivulaire	P
	1.2 Accompagner dynamiquement FRA_4	1.2.1 Accompagner la charge solide en travaillant le profil en long	Eviter l'encombrement du lit et lisser l'incision Recharge entre zones exhausés et incisées	FDPC	Suivi topo post-crue	P
		1.2.2 Travailler la végétation des berges et du lit	Eviter la fixation des structures alluvionnaires Purger la végétation inadaptée	FDPC	Première intervention	P
		1.2.3 Améliorer le transit sédimentaire au niveau du pont à créneaux	Améliorer le fonctionnement au droit de l'ouvrage Eviter l'encombrement du lit	FDPC		P
	1.2.4 Améliorer le transit sédimentaire au niveau de l'enfilade de ponts aval	Améliorer le fonctionnement au droit des ouvrages Eviter l'encombrement du lit...	FDPC	Inspections des ouvrages	P	
2. Protéger les secteurs sensibles	2.1 Protéger les ouvrages existants	2.1.1 Protéger le pont de la Liberté	Protéger cet ouvrage Améliorer son intégration dynamique	-	Inspection de l'ouvrage et modélisation hydraulique	P
		2.1.2 Reprendre les ouvrages déstabilisés	Murs-digue, enrochements...	-		P
		2.1.3 Protéger le seuil parafouille du pont de la RD 86	Renforcer le seuil parafouille	-		P
3. Soutenir la fourniture sédimentaire	3.1 Éviter la fixation de la charge solide	3.1.1 Maintenir mobiles les structures alluvionnaires FRA_1, FRA_2, FRA_3 (amont → Combes)	Eviter la fixation des structures alluvionnaires	FDPC		S
		3.1.1 Plan de gestion des structures alluvionnaires pour soutenir la recharge sédimentaire	Maintenir mobiles les structures alluvionnaires	FDPC		S
	3.2 Effectuer de la recharge à long terme	3.2.1 Améliorer la connexion versants-lit (couplage sédimentaire latéral)	Faire de l'injection de matériaux en effectuant du couplage sédimentaire latéral	FDP	Etude des sites potentiels Expérimentation	S
		3.2.2 Faire de la recharge sédimentaire à partir de certaines falaises	Faire de l'injection de matériaux à partir de certaines falaises, sur le long terme	FDP	Etude des sites potentiels Expérimentation	S
4. Contrôler pour évaluer, évaluer pour évoluer	4.1 Continuer l'exploration du bassin versant du Frayol	4.1.1 Rechercher des réservoirs sédimentaires à activer	Pour faire de la recharge sédimentaire dans le futur	-		P
		4.1.2 Suivi du débit liquide du Frayol (jaugeage)	Pour avoir de la donnée fiable	-		P
	4.2 Mettre en place un suivi dynamique	4.2.1 Suivi du transport solide	Pour gérer correctement cet élément	-		P
		4.2.2 Suivi de l'incision	FRA_3 et FRA_4 pour gérer le profil en long	-		P
		4.2.3 Suivi de la recharge sédimentaire	Mesurer l'impact d'opérations de recharge	-		S
5. S'approprier les cours d'eau	5.1 Une meilleure appropriation par la connaissance	5.1.1 Formation du personnel du SMBEF	Pouvoir réaliser certaines opérations de suivi	-	A coordonner avec Escoutay	P
		5.1.2 Conférence de l'eau	Expliquer la démarche	-		P
	5.2 S'approprier le plan de gestion	5.2.1 Réaliser une plaquette de communication à destination des riverains	Expliquer la démarche	-		P
PRECONISATIONS	Préconisation 1 : prise en compte du compartiment biologique		Intégrer le volet environnemental	-		Permanent
	Préconisation 2 : Surveillance et entretien des ouvrages d'art		Informar les gestionnaires	-		Permanent

Tableau 2 : synthèse des orientations de gestion du Frayol

Légende du tableau

**P** Action prioritaire

**S** Action secondaire (à mettre en oeuvre plus tard)

FDPC Forçage dirigé post-crue

FD Forçage dirigé

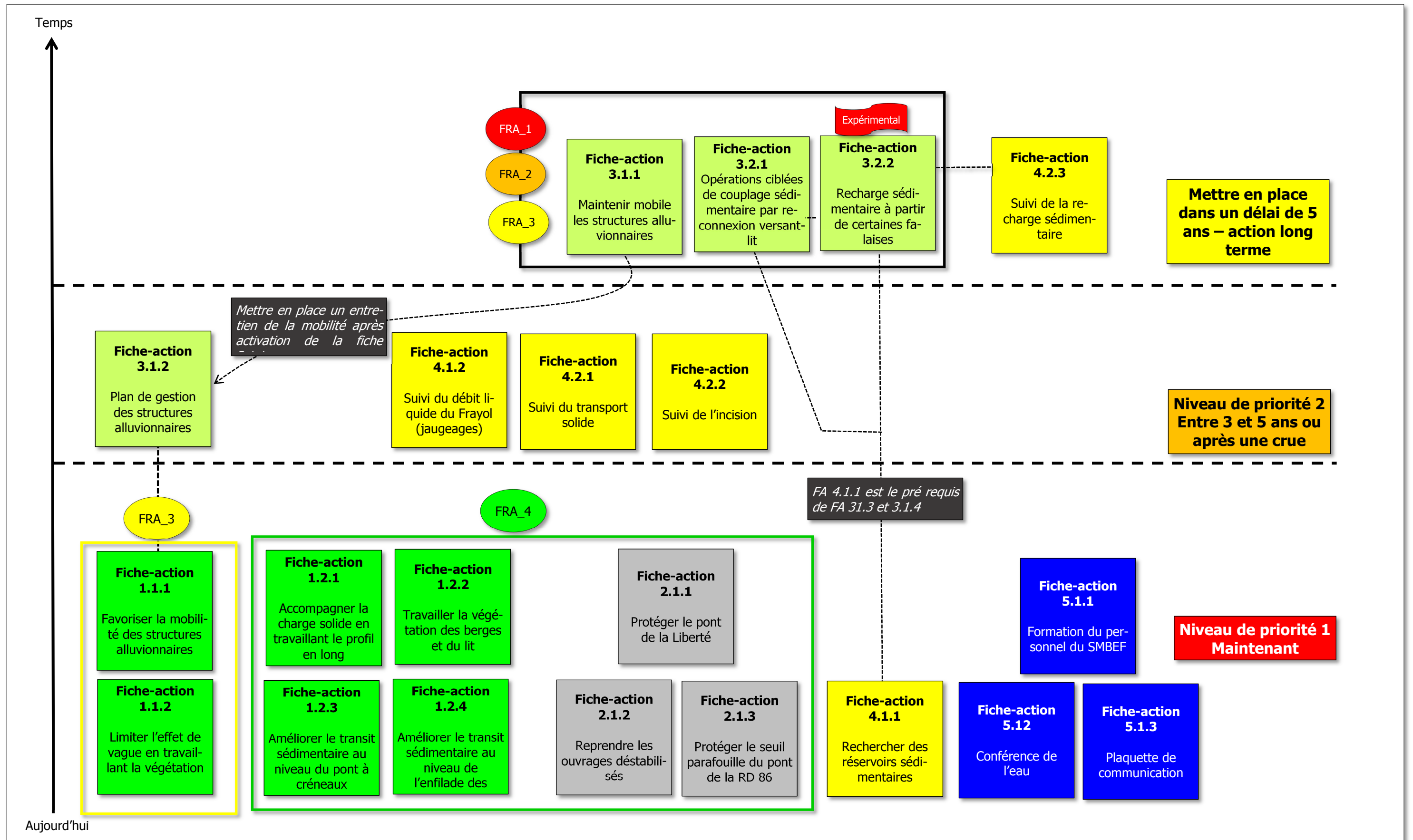


Figure 3 : Hiérarchisation des actions suivant leur niveau de priorité

## 4.2 AXE 1 : Gérer l'aval (FRA\_3 et FRA\_4) pour protéger le Teil

Il s'agit de gérer plus particulièrement les tronçons FRA\_3 et FRA\_4 afin de protéger le Teil par des actions d'accompagnement dynamique visant à éviter l'encombrement du lit par blocage de la charge solide (par embâclage, sous des ouvrages d'art...).

### A ACTION 1 : ACCOMPAGNER DYNAMIQUEMENT FRA\_3

- ❖ *Eviter la fixation de la charge solide (structures alluvionnaires) et favoriser leur transit (FA 1.1.1)*

→ Cette action concerne spécifiquement FRA\_3.

L'objectif principal de cette action est d'éviter l'**encombrement du lit** et de **favoriser le transit sédimentaire** dans un **contexte de péjoration**. La partie prioritaire du tronçon est la partie aval (des Combes à l'aval).

Le tronçon FRA\_3 regroupe sur ses 6 km, 132 structures alluvionnaires pour un volume total de 11 781 m<sup>3</sup>, cela correspond à 55% du stock alluvial du Frayol. Le volume unitaire moyen de ces structures est faible avec moins de 90 m<sup>3</sup>/structure.

Toutefois 35% de ces structures alluvionnaires sont quasi fixées (4 128 m<sup>3</sup>), bien qu'une crue d'occurrence cinquantennale soit survenue en 2015, ce pourcentage est donc relativement important et traduit une végétalisation rapide des structures de ce tronçon.

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 d'entretenir dans le futur au rythme des crues morphogènes. A cet effet la FA 3.1.1 prend en compte cet entretien post-crue.

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.

Elle doit s'effectuer également en favorisant la mobilité des structures quasi fixées pouvant être remobilisées après dévégétalisation. Seules les structures trop éloignées topographiquement du Frayol ne seront pas traitées.

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.

❖ *Limiter l'embâclage du lit en travaillant la végétation rivulaire (FA 1.1.2)*

→ Cette action concerne spécifiquement FRA\_3.

**Les embâcles perturbateurs hydrauliques**

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.

Les embâcles peuvent ainsi bloquer des ouvrages d'art et les endommager, voire les ruiner. Ils peuvent également obstruer le lit générant alors (en cas de rupture brusque) des vagues pouvant ainsi augmenter en aval la morphogénie ou l'inondabilité.

Les embâcles en lit impactent le fonctionnement dynamique localement et parfois à plus grande échelle. Ils constituent ainsi des **perturbateurs hydrauliques** (au sens de Gazelle, 2003).

Cette action a pour objectif par le **traitement de la végétation rivulaire** de **limiter la formation d'embâcles en lit** qui favorisent l'accrétion et la fixation de la charge solide, mais peuvent également en obstruant le lit générer des effets de vague augmentant ainsi la morphogénie d'une crue en aval (*cf.* Encart 5).

L'objectif est de **limiter la formation d'embâcles** par un traitement à la source en traitant la végétation alluvionnaire (poussant sur les structures alluvionnaires, y compris les terrasses alluviales) et rivulaire (végétation de berge).

Il est également à noter que la formation d'embâcles est fortement favorisée par l'état actuel du lit. En effet il est en cours de fermeture. De plus,

*Encart 5 : les embâcles*

il présente un fonctionnement hydrologique en **oued** ce qui favorise la végétalisation même **du lit** lors des assècs.

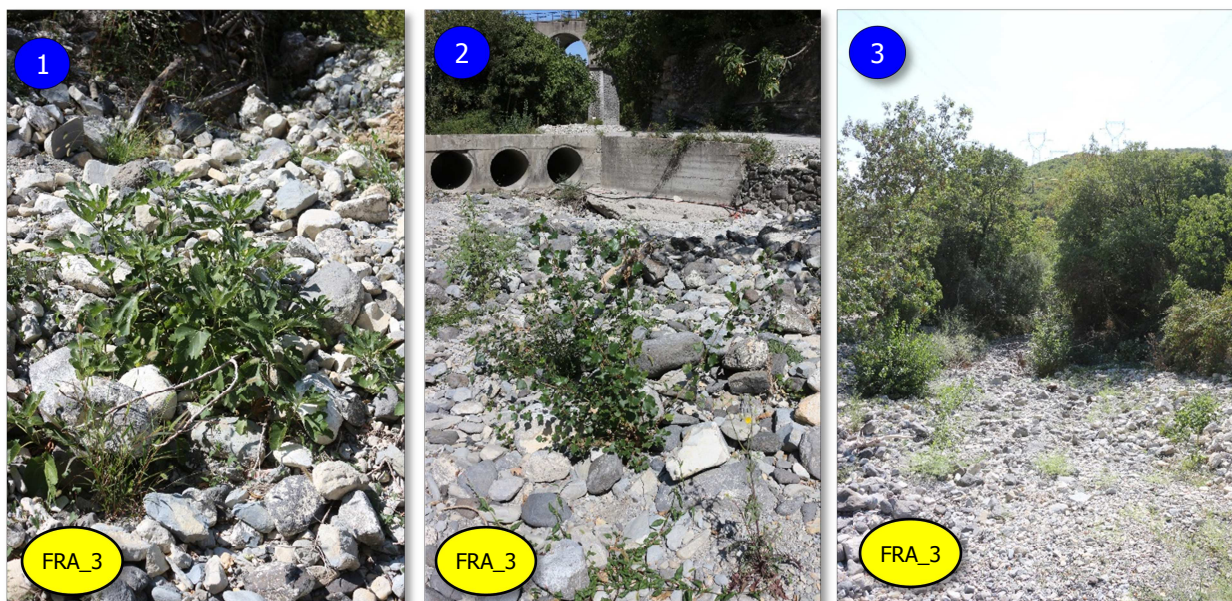


Figure 4 : (1) figuier (*Ficus carica*) (2) peuplier noir (*Populus nigra*) poussant spontanément dans le lit du Frayol au niveau des Combes. (3) fermeture du lit en cours par végétalisation y compris du substrat du lit.

Cette action passe donc par un état des lieux de la végétation arbustive et arborée alluvionnaire et rivulaire du tronçon FRA\_3 visant à rechercher notamment :

- Les arbres vieillissant (géant sénescents au sens de Schnitzler *et al.*, 2003), *cf.* Figure 5,
- Les espèces inadaptés en berge ou en lit (type bois dur, conifères...),
- Les arbres en position instable (arbres sous-cavés, chablis...), *cf.* Figure 6

- Certains fourrés inextricables favorisant l'embâclage...

Et de manière plus générale tout individu pouvant être emporté facilement en crue, déstabiliser les berges et éventuellement former ou participer à la formation d'embâcles en lit.

Cet état des lieux pourra être réalisé en interne, externalisé sous la forme d'un stage-étudiant (au moins L3 ou M1 spécialisé) voire externalisé sous la forme d'une étude.

En complément les embâcles en lit seront retirés lors des interventions.

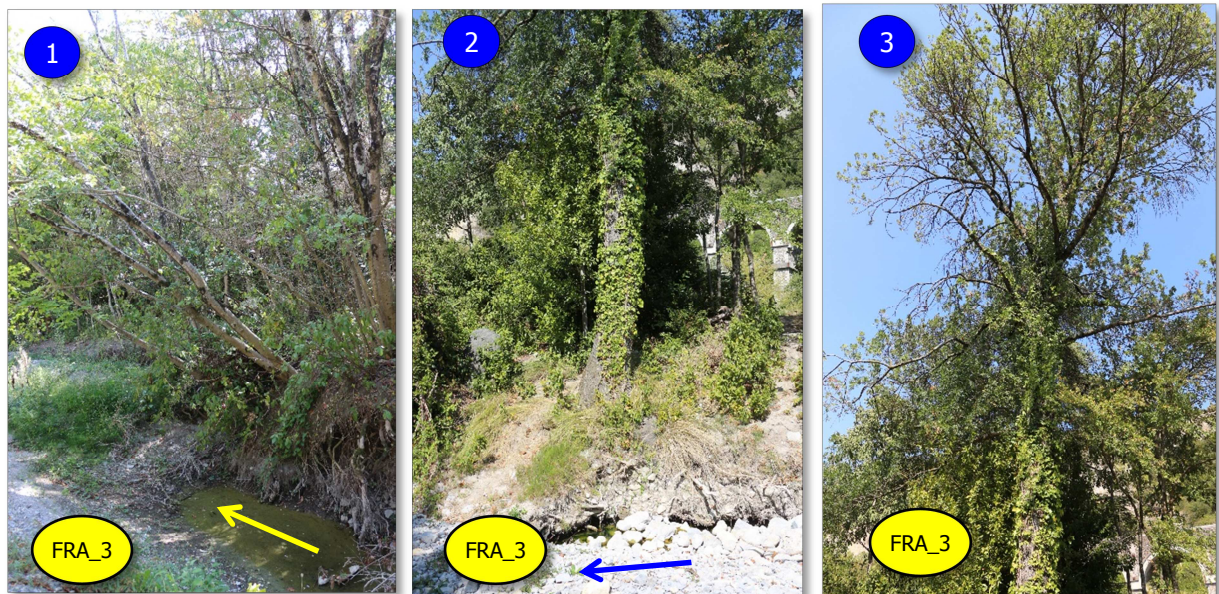


Figure 5 : (1) arbres sous-cavés en berge, (2) et (3) géants sénescents asphyxiés par le lierre



Figure 6 : à gauche → début d'embâclage du lit, à droite → début de fermeture

⇒ **Cette intervention est prioritaire (inventaire en hiver et au printemps) et premiers travaux en 2018.**

## B ACTION 2 : ACCOMPAGNER DYNAMIQUEMENT FRA\_4

### ❖ *Accompagner la charge solide en travaillant le profil en long (FA 1.2.1)*

→ Cette action concerne spécifiquement FRA\_4.

La phase 1 a montré que le profil en long du tronçon FRA\_4 présentait une alternance de zones incisées et de zones s'exhaussant.

Cette analyse est basée sur la comparaison de profils en long sur une courte période (11 ans) ayant toutefois présenté 4 crues (12/08/2008 ; 3/09/2008 ; 14-15/11/2014 ; 12-15/09/2015) avec deux crues aux alentours de l'occurrence cinquantennale (2014 et 2015). Elle présente donc un recul limité dans le temps.

Lors de cette décennie, quatre secteurs incisés et quatre secteurs exhausés (depuis 2005) ont été identifiés :

INCISION ET EXHAUSSEMENTS CONSTATES ENTRE 2005 et 2016		
Secteur	Incision 2005-2006 [m]	Exhaussement 2005-2006 [m]
Amont Gendarmerie	≈ - 0.50	
Aval Gendarmerie		≈ +0,50
Amont du gué du stade Mélas	> -0,50	
Entre la passerelle du stade et le seuil du pont de Liberté		+0,60 à +0,80
Aval confluence avec le ruisseau de la fontaine de Mouzelas	≈ - 0.50	
En amont proche du pont à créneaux		+0,60 à +0,90
En amont de la passerelle Jarniac		+0,50 à +1
Entre la passerelle Jarniac et le pont Matteoti	-0,60 à -1	

Tableau 3 : évolution altimétrique du lit constatée au Teil entre 2005 et 2016

Gérer cette partie du profil consistera à :

- **Après chaque crue morphogène significative** à réaliser un levé topographique du profil en long de FRA\_4,
- **Comparer** ce profil en long avec celui réalisé en 2016 qui constitue un point zéro et **mettre en relation** les résultats trouvés avec ceux de la période 2005-2016,
- En cas d'**incision significative** (c'est-à-dire > -0,50 m) et d'**exhaussement important** (c'est-à-dire au moins > +0,50 et encombrant manifestement la section), effectuer des opérations de **transfert-réinjection** de matériaux entre les zones exhausées et les zones incisées.

Cette action intégrera également les matériaux provenant de l'amélioration du transit sédimentaire au niveau des ouvrages d'art (FA 1.2.3 et FA 1.2.4) ou encore de structures alluvionnaires encombrant le lit.

L'objectif d'une telle démarche est de **préparer la crue suivante** (forçage dirigé post-crue) en libérant la section d'éventuels exhaussements et en s'en servant pour lisser l'incision dans les endroits déficitaires.

Ces actions combinées permettront de faciliter ainsi le passage des écoulements liquides et solides lors de la prochaine crue. Le traitement éventuel des structures alluvionnaires obstruant partiellement le lit sera traité dans ce cadre.

### ❖ *Travailler la végétation des berges et du lit (FA 1.2.2)*

→ Cette action concerne spécifiquement FRA\_4.

Le tronçon apparaît fortement végétalisé et la végétation présente montre un manque d'entretien avec notamment la présence de géants sénescents et d'arbres morts (cf. Figure 7).

La végétation des berges est principalement composée d'aulnes (*Alnus glutinosa*), de peupliers (*Populus nigra*, rares *P. alba*), de frênes (*Fraxinus excelsior*), de robiniers (*Robinia pseudoacacia*), de figuiers (*Ficus carica*) etc... ainsi que de rares salicacées (*Salix purpurea*, *s. alba*, *salix sp.*)...

La quasi absence de saules (pourpre, drapé, blanc...) est un élément que l'on peut remarquer car la plupart des cours d'eau méditerranéens (Escoutay, Gardons...) se caractérisent par la présence importante de saules, en particulier le drapé (*S. elaeagnos*) et le pourpre (*S. purpurea*). Elle s'explique certainement par la fermeture du lit et les assècs.

Les espèces invasives sont présentes avec notamment le raisin d'Amérique (*Phytolacca americana*), la renouée du japon (*Reynoutria japonica*), le Buddleja de David (*Buddleia davidii*), l'ailante (*Ailanthus altissima*).

Il apparaît nécessaire de mettre en place une gestion de la végétation puis un entretien régulier compte-tenu notamment de l'envahissement par des espèces pionnières (peupliers, robiniers...) des berges et du lit et de l'impact que cela peut avoir sur les écoulements. Cette sera également menée sur les structures alluvionnaires afin d'éviter leur fixation.

En complément, sur les berges les plus sujettes à l'érosion on pourra mettre en œuvre des opérations de végétalisation avec des espèces adaptées (saules en pied maintenus arbustifs dans les zones de pleine lumière, frênes, aulnes etc... sur les berges).

Une attention particulière sera portée à la gestion des espèces invasives afin de ne pas contribuer à leur dissémination.

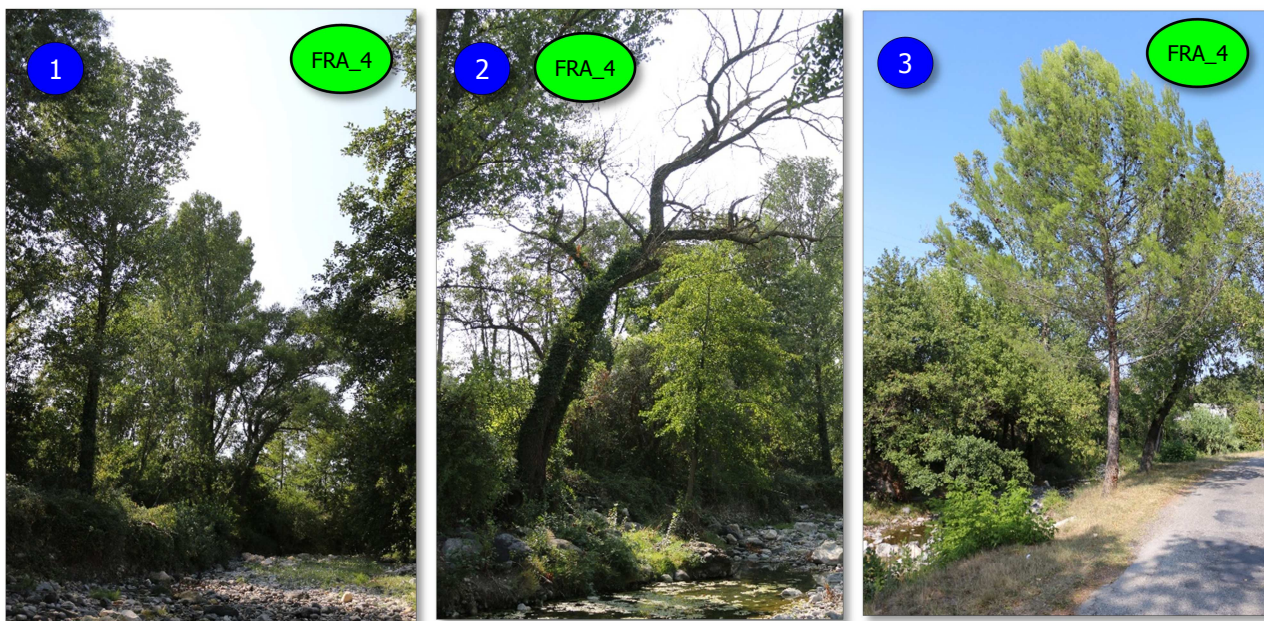


Figure 7 : (1) peuplier sous-cavé ; (2) arbre mort ; (3) pins sylvestres en berge

Les espèces pionnières colonisent les berges mais également le lit lors des assècs (oued), on trouve ainsi de véritables semis de peupliers de loin en loin (cf. Figure 8).

Ainsi diverses espèces se retournent poussant directement sur le substrat du lit : peupliers, figuiers, robiniers, ailante... cette situation ne manquera pas de favoriser l'embâclage en lit et la fermeture même si la plupart des individus seront détruits lors de la prochaine période en eau.

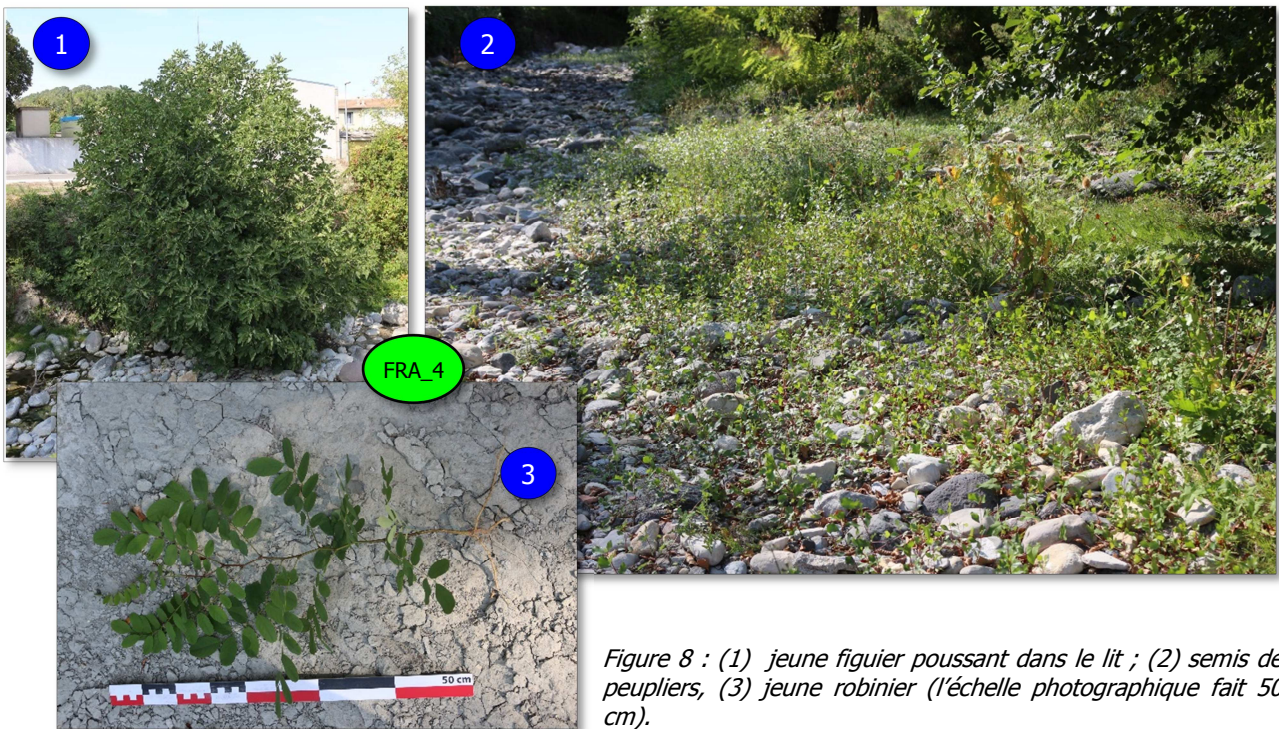


Figure 8 : (1) jeune figuier poussant dans le lit ; (2) semis de peupliers, (3) jeune robinier (l'échelle photographique fait 50 cm).

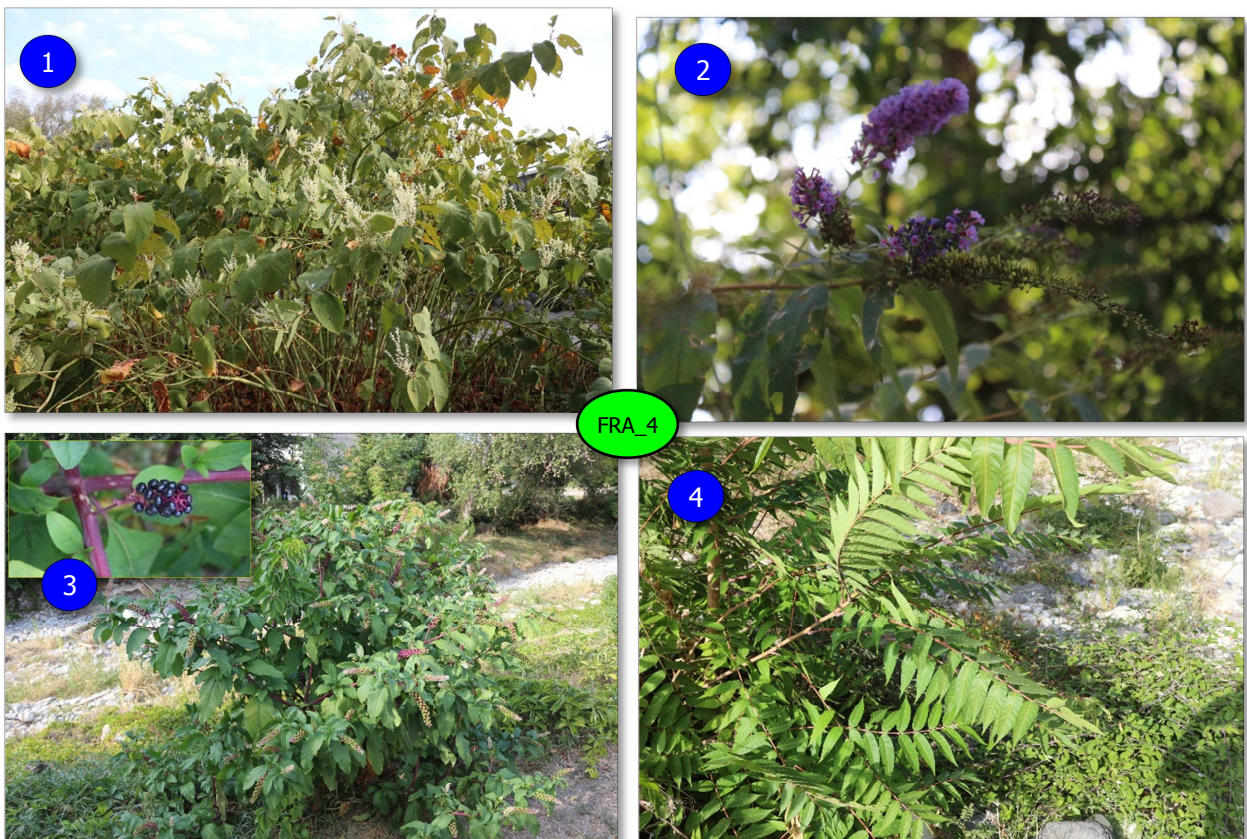


Figure 9 : (1) renouée vers la confluence avec le Rhône, (2) buddleja de David, (3) phytolacca avec sa fleur en médaille, (4) ailante poussant en lit.

❖ *Améliorer le transit sédimentaire du pont à créneaux (FA 1.2.3)*

Le pont à créneaux est un pont submersible en béton (cf. Figure 10) positionné en partie aval d'un méandre contraint du Frayol. Cet ouvrage comprend une pile en lit et a un impact important en termes de fonctionnement dynamique.



Figure 10 : Elévation aval (1) et amont (2) du pont à créneaux, (3) rétrécissement de section en aval immédiat du pont à créneaux

Le positionnement de cet ouvrage d'art va favoriser les accrétions en lit notamment coté intrados et ainsi favoriser les débordements. Différents travaux ont été mis en œuvre pour limiter ce problème (dos d'âne sur la route en RG pour limiter les débordements et guider les eaux, goulotte en aval d'évacuation des eaux de débordement...).

De plus un mur guideau est prévu rabouté à l'avant-bec de la pile afin de limiter les accrétions sous T2.

Il semble toutefois que des améliorations de la section d'écoulement (cf. Figure 10-3) et une gestion des matériaux pourrait ainsi contribuer à améliorer une situation que seule la suppression de l'ouvrage pourrait pallier totalement.

❖ *Améliorer le transit sédimentaire des ponts aval*

A l'aval du tronçon FRA\_4 trois ouvrages d'art se trouvent ainsi en enfilade (d'amont en aval) :

- Le pont de l'avenue Charles de Gaulle,
- Le pont SNCF,
- Le pont de l'avenue de l'Europe Unie.

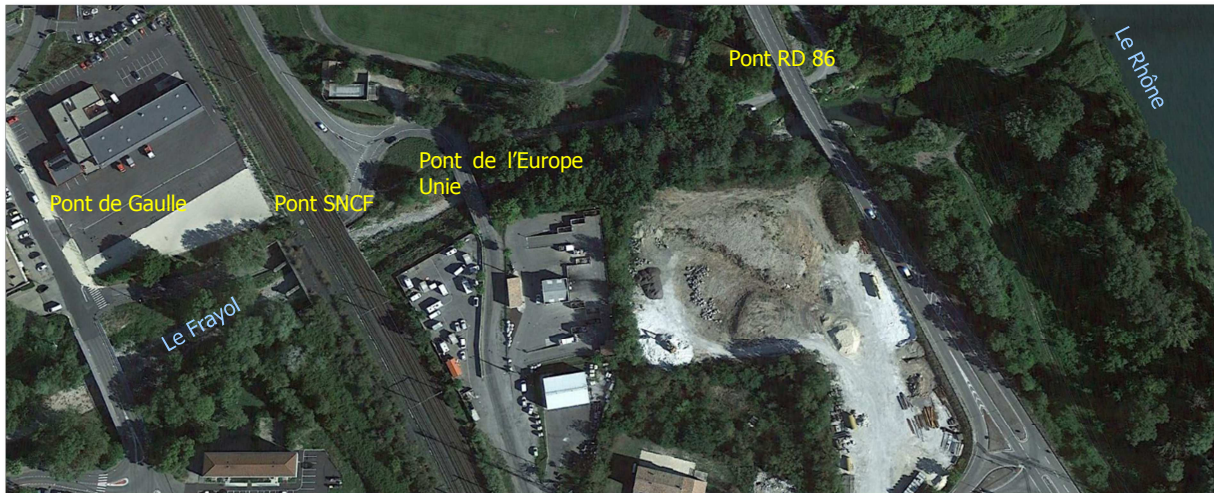


Figure 11 : l'enfilade des trois ponts

Ces trois ponts se trouvent en enfilade l'amont du premier se trouve à seulement 175 m de l'aval du dernier (cf. Figure 11). Ils perturbent individuellement et globalement le fonctionnement dynamique du Frayol dans ce secteur où la pente est faible.

La conception des ouvrages d'art est complexe. En effet, ils doivent laisser passer une crue de projet généralement importante (souvent la centennale) ce qui oblige à avoir des ouvertures importantes, voire des élargissements car l'ouvrage par son tirant d'air et ses appuis impacte le fonctionnement du cours d'eau.

En effet, lorsque ces ouvrages ont plus de deux appuis en lit (comme c'est le cas ici), c'est-à-dire lorsqu'ils comportent des piles, ils génèrent des accrétions en récession de crue.

Les dépôts ainsi créés permettent au lit de s'adapter aux basses eaux par réajustement géométrique du lit... c'est-à-dire par fermeture d'une partie de la section d'écoulement. Généralement c'est une travée qui est obstruée partiellement ou totalement le lit basculant et se concentrant sur l'autre ou les autres travées.

De plus, le confinement sous les travées favorise la mise en vitesse en aval de l'ouvrage et les érosions de berge.

C'est l'ensemble de ces phénomènes que nous rencontrons dans l'enfilade des trois ouvrages d'art.

Le lit se trouve ainsi affecté de sinuosité et de réductions et d'élargissements préjudiciables aux écoulements solides en favorisant ainsi les accrétions.



Figure 12 : Elévation amont et aval du pont de l'avenue Ch. de Gaulle



Figure 13 : vue en élévation du pont SNCF



Le pont de la SNCF

(1) et (2) le pont SNCF vu de l'aval montre le réajustement géométrique du lit lié à la fermeture partielle de la travée T3 (coté RD). L'axe du lit est sinueux.

L'accrétion est bien visible en RD et la travée T3 fonctionne comme un bras diachrone en crue seulement. Comme elle est obstruée et que le lit se réduit (coté RD à cause de la fermeture de section et coté RG à cause d'une réduction de section certainement lié à l'aménagement de la route), le Frayol érode sa berge de RG.

(3) photo prise depuis la travée T1, on voit la culée C0. Le lit est renvoyé contre la berge qui est érodée (flèche rouge) et on note l'obstruction partielle coté RG par les matériaux déposés sous et en aval de la travée T3.

Figure 14 : (1) et (2) Elévation aval du pont SNCF, (3) vue de l'érosion de berge en rive gauche



Figure 15 : Vue en élévation amont du pont de l'Europe Unie. On note le rétrécissement de section et le désaxement avec érosion de la berge de rive gauche.

Il s'agira donc de réaliser des travaux de remise en fonctionnalité du lit afin de favoriser le passage des écoulements liquides et solides.

Ces travaux consisteront ainsi :

- Dévégétaliser le lit et les berges,

- Rouvrir les travées encombrées,
- Réinjecter les matériaux dans les zones incisées,
- Rectifier le lit pour éviter les désaxements favorisant les accrétions,
- De surveiller et contrôler les deux ponts routiers (épaufures et fissures du béton avec aciers apparents, murs garde-grève montrant des problèmes d'étanchéité, fissuration sur trottoirs, joints...).

Nous rappelons également la nécessité de surveiller et d'entretenir les ouvrages d'art. Le propriétaire de l'ouvrage étant le propriétaire de la voie portée (arrêt dit du « Préfet de l'Hérault » de 1906).

Les ouvrages qui enjambent des cours d'eau présentent des contraintes spécifiques et nécessitent à ce titre surveillance, entretien courant et spécialisé. Il doit intégrer les radiers et les raccordements avec les berges amont et aval.

### 4.3 AXE 2 : Protéger les secteurs sensibles

La plupart de ces actions participent également à préparer le lit à la prochaine crue morphogène soit en protégeant les ouvrages de franchissement, soit en renforçant des protections de berge partiellement déstabilisées et protégeant des enjeux notamment présentant un intérêt dynamique.

#### A Protéger le pont de la Liberté

Cet ouvrage d'art relativement ancien est un pont en maçonnerie de moellons avec trois arches en arc de cercle. Il est positionné après un seuil et comprend un radier parafouille.

Cet ouvrage présente un contexte d'incision avec notamment un seuil amont et un radier parafouille sous et en aval de l'ouvrage.



Figure 16 : élévations amont et aval du pont de la Liberté

Lorsqu'on examine des photographies anciennes (cf. Figure 17) du pont de la Liberté, à l'époque où Mélas était un village et non un quartier du Teil, on remarque que globalement le lit apparaît plus haut, le seuil amont ne semble pas exister (cf. Figure 17-4) et les trois travées sont opérationnelles mais de manière diachrone.

En effet la figure 17-2 (flèche jaune) et la figure 18 montrent une sorte de risberme délimitée par un muret. Ce dispositif permet le passage des basses-eaux sous les travées T1 et T2 et lors des crues permet de rendre T3 fonctionnelle (cf. Figure 17-1, flèche jaune).

Actuellement la travée T3 est partiellement obstruée et la berge érodée. En effet, du fait de l'incision du lit la risberme n'est plus fonctionnelle et le Frayol a décaissé cette risberme pour passer sous T3 en crue (cf. Figure 21 et Figure 22).

De plus les appuis de l'ouvrage en particulier C0, P1 et P2 montrent de signes d'incision avec reprises en sous-œuvre (par des massifs d'enrochements bétonnés). L'enrochement bétonné de reprise de C0 est même partiellement décaissé jusqu'en sous-face de fondation (cf. Figure 19). Le radier parafouille est également déstructuré (cf. Figure 23).

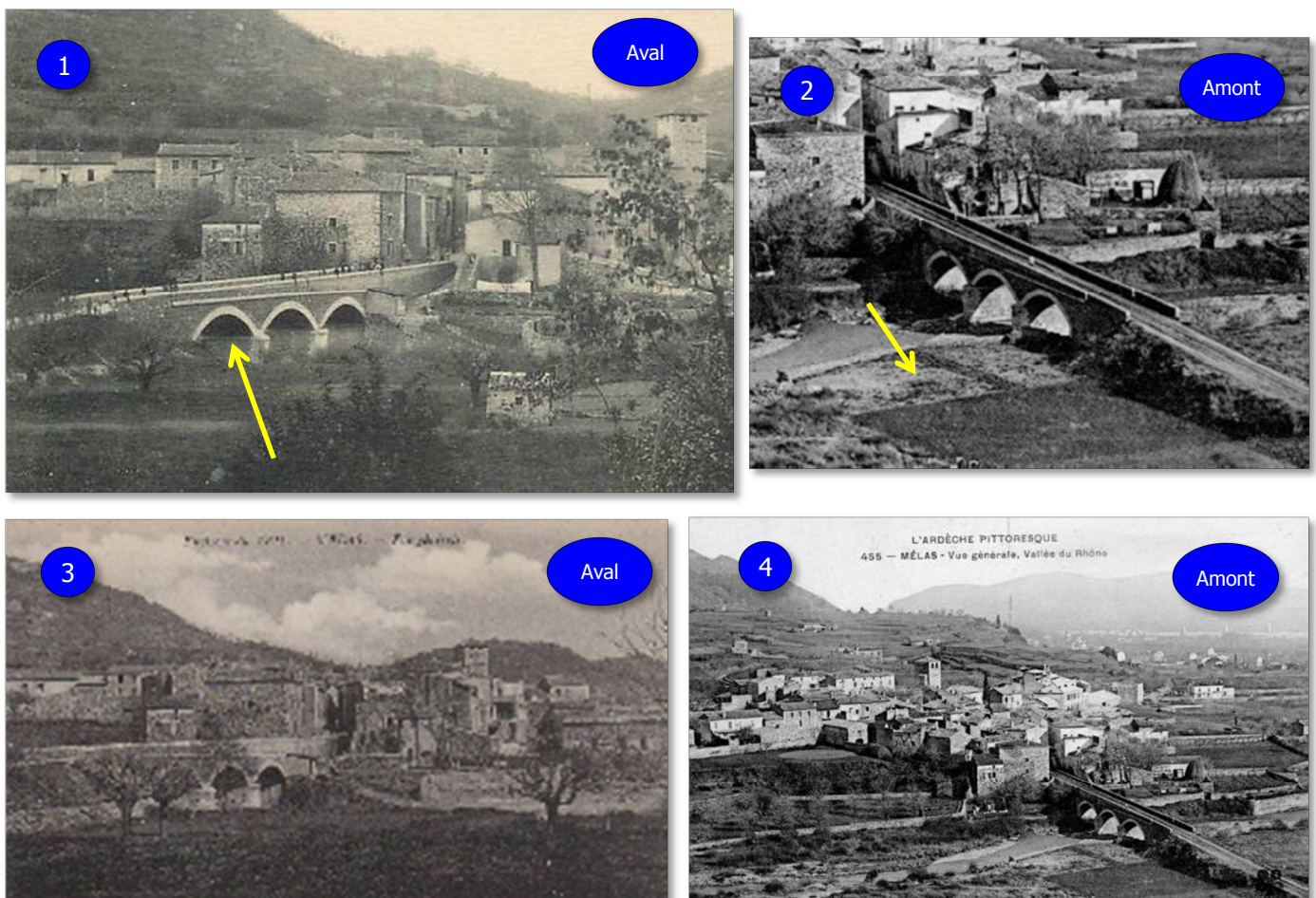


Figure 17 : différentes vues anciennes du pont de la Liberté (source CPA) dates non connues

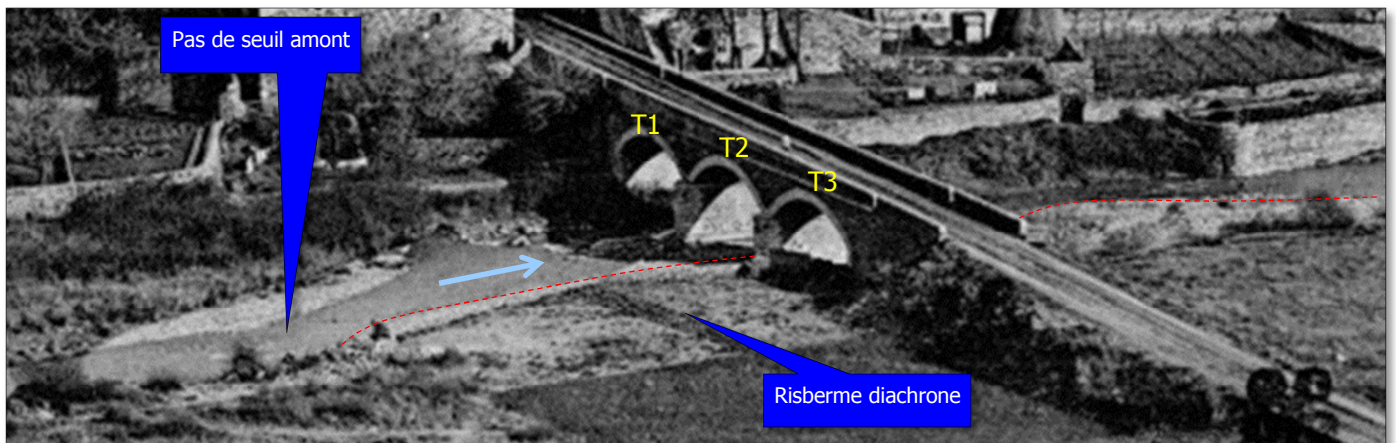


Figure 18 : pont de la Liberté avant incision du lit



Figure 19 : appuis du pont de la Liberté, à gauche → culée C0 avec massif de renfort sous-cavé ; à droite → pile P1 partiellement reprise par enrochement bétonné



Figure 20 : à gauche → massifs de renforts de P1 et P2, on note T3 obstruée partiellement ; à droite → travée T3 obstruée et l'érosion générée par le passage du Frayol en crue.

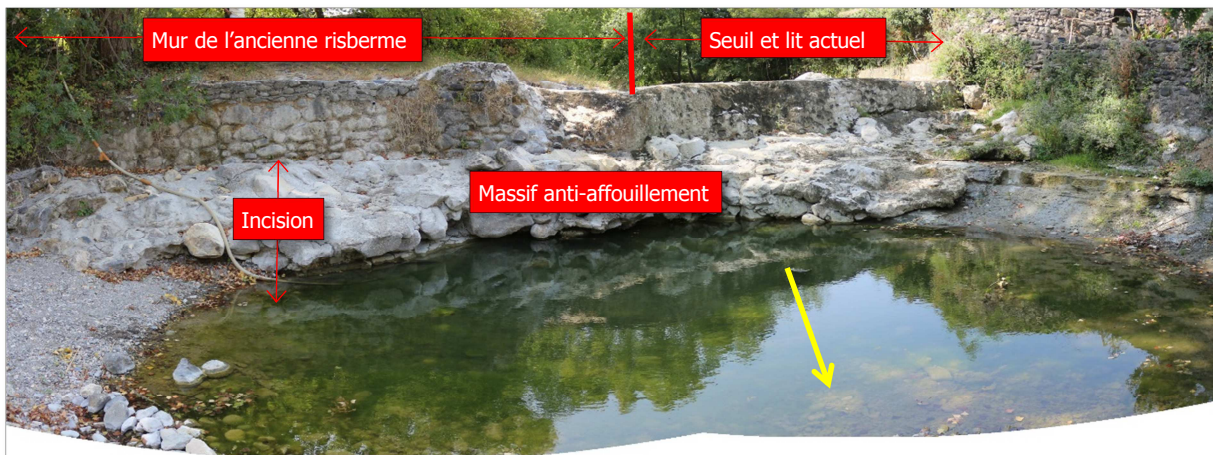


Figure 21 : seuil amont au pont avec mouille de surcreusement et muret de l'ancienne risberme. Notez l'affouillement en pied de seuil malgré le massif de renfort qui montre l'incision du lit.



Figure 22 : vue depuis la travée T2 vers l'aval. On distingue le seuil, une passée de marnes bleues du Bédoulien inf. et le niveau de l'ancienne risberme. Cette dernière est érodée du fait de l'incision du lit.



Figure 23 : état du radier parafouille encore visible notamment sous T1, vu depuis l'aval. Il est déstabilisé.

En conséquence il serait nécessaire :

- De rendre fonctionnelle la travée T3 en crue en limitant l'érosion et en mettant en œuvre un fonctionnement diachrone (lit principal passant sous T1 et T2, bras diachrone sous T3 opérationnel en crue),
- De traiter les problèmes d'incision qui auront certainement un effet sur les appuis de l'ouvrage et de fait sa tenue (appuis, seuil parafouille...),
- De contrôler l'ouvrage (inspection des appuis...) et de l'entretenir (dévégétalisation des tympans, rejointoiement des fûts des piles, étanchéité, vérification des systèmes de drainage et d'évacuation d'eau...).

## B Reprendre les ouvrages déstabilisés

Il s'agit de reprendre les enrochements déstabilisés et en cours de ruine, ainsi que les fondations de la passerelle Jarniac déstabilisées.

En effet, Les enrochements sont subverticaux, pour certains sans véritable couche de transition et leur fondation en lit (semelle ou sabot) apparaissent peu visibles bien que le Frayol puisse affouiller le lit.

La reprise se fera dans les règles de l'art et sera détaillée dans la fiche action correspondante.



Figure 24 : En haut → enrochement en aval du pont à créneaux partiellement ruiné ; en bas détail de la partie ruinée.

La passerelle Jarniac présente un affouillement de sa fondation dont on voit la sous-face (trace d'incision du lit). Cette situation nécessite un contrôle de l'ouvrage et une reprise en sous-œuvre (type longrine...).

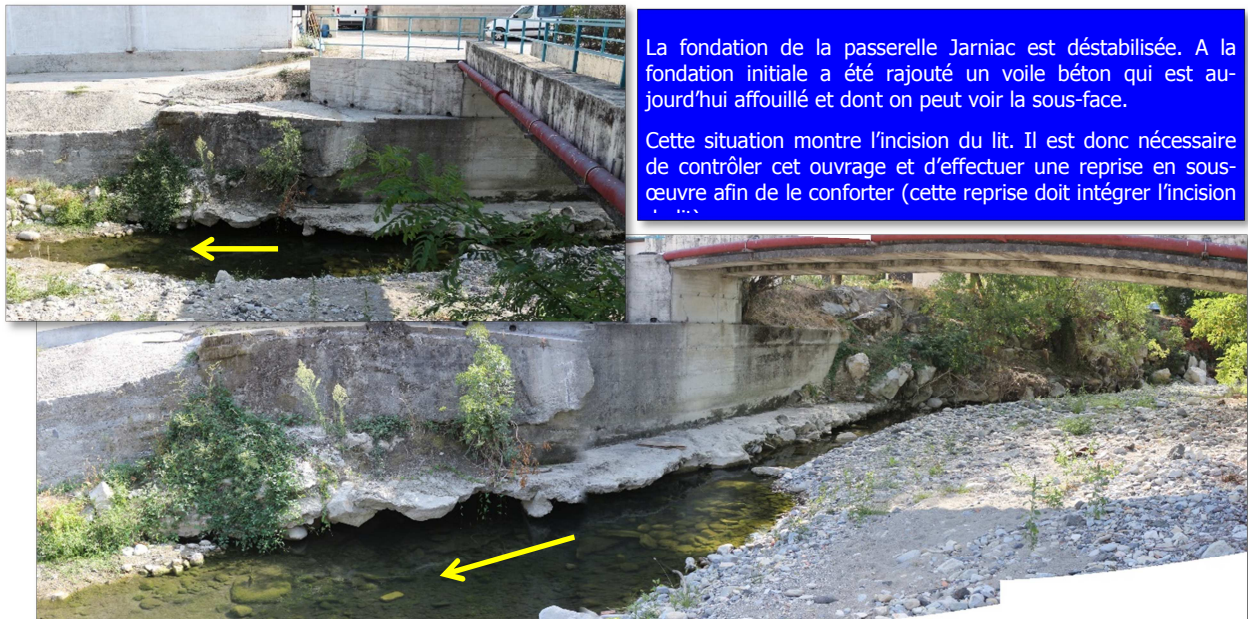


Figure 25 : affouillement de la fondation de la passerelle Jarniac



Figure 26 : enrochement en amont raboté à la passerelle Jarniac en cours de ruine

Un dernier point en amont du pont Mattéoti est à surveiller, il s'agit d'un enrochement bétonné sous-cavé (cf. page 14, point n° 4 sur la cartographie). Il sera à contrôler après chaque crue morphogène et éventuellement des travaux de confortement pourront être mis en œuvre en cas de début de ruine de cet ouvrage.



Figure 27 : ouvrage sous-cavé en amont du pont Mattéoti, à surveiller

### C Protéger le seuil parafouille de la RD 86

Le seuil parafouille protège le pont qui supporte la RD 86 et qui enjambe le Frayol à 150 m de la confluence de celui-ci avec le Rhône.

Le seuil parafouille est déstabilisé à son aval et une partie de l'ouvrage a été emportée. Il conviendrait de reprendre cette partie de l'ouvrage de franchissement du Frayol et de lui faire une bêche aval pour le raccorder avec le lit actuel et des ancrages latéraux en berge.

Cet ouvrage a été mis en œuvre pour éviter l'affouillement des appuis en lit (piles essentiellement) suite à l'incision du lit.



Figure 28 : vue partielle en élévation du pont de la RD 86, on note en aval la confluence avec le Rhône et surtout le décrochement du seuil parafouille partiellement déstabilisé et affouillé.



Figure 29 : vue aval RG du seuil parafouille partiellement ruiné. On note le décrochement important ainsi que l'érosion de berge.

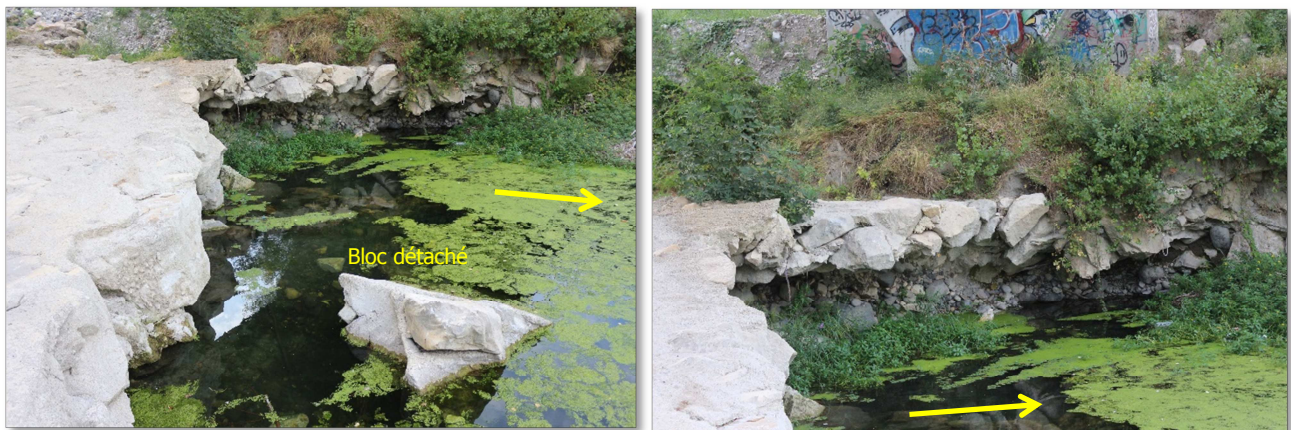


Figure 30 : seuil parafouille partie aval déstabilisée, le seuil sous-cavé par affouillement se déstructure petit à petit par rétrogradation lors des crues morphogènes. Le ressaut est important (plus de 2 mètres)

#### 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 6. 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) ;

- **Apporter des matériaux** exogènes, comme des matériaux de déroctage (*e.g.* tunnel du Boulc, 30 000 m<sup>3</sup> injectés dans le Bez (Landon, 2007), verse de Pierrellys, 10 000 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 du Frayol, les ressources sédimentaires à renforcer ou à mobiliser apparaissent limitées et pourraient 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 (à favoriser) ;
- Éventuellement, des apports exogènes granulo-compatibles (*i.e.* dont la granulométrie est compatible avec les besoins du Frayol pour satisfaire la charge grossière et la vie aquatique).
- Après avoir effectué l'étude concernant les réservoirs (cf. FA 4.1.1) effectuer éventuellement de la recharge grâce à des opérations de reconnexion versant-lit (dans le Frayol voire dans le ruisseau de Vauderon)
- on pourrait de manière expérimentale d'augmenter le couplage sédimentaire latéral des falaises en favorisant artificiellement leur dégradation (*e.g.* génération de sapelement de pied par minage à l'éclateur non explosif).

### **A Action 1 : Eviter la fixation de la charge solide**

Il s'agit de mettre en place un **plan de gestion à long terme des structures alluvionnaires** dans les tronçons FRA\_3 (Combes → aval tronçon) et FRA\_4, mais également à plus long terme, lorsque de la recharge sédimentaire sera mise en oeuvre dans les autres tronçons (FRA\_1, FRA\_2 et amont de FRA\_3) afin d'y gérer de la même manière les structures alluvionnaires et le transfert de la charge solide.

### **B Action 2 : Effectuer de la recharge sédimentaire**

Les actions concernant cette mesure ont pour objectif principal de **réamorcer le transport solide** sur l'ensemble du linéaire du Frayol.

En effet, le contexte climatique péjoré et le déstockage du stock alluvial holocène fait que la recharge sédimentaire naturelle du Frayol est largement déficitaire et que le cours d'eau ne peut, dans ce contexte, que continuer à déstocker ses alluvions héritées.

Deux actions peuvent être mises en oeuvre après une phase de recherche précise sur le terrain et d'étude des possibilités effectives de couplage :

- Le **couplage sédimentaire latéral** de certains versants notamment en les déboisant. Cette action compte tenu du profil en gorge des trois premiers tronçons devrait permettre d'effectuer de la recharge. On pourrait également étudier les possibilités de ce type de recharge dans le ruisseau de Vauderon.
- La déstabilisation par éclatement et fragmentation des roches constitutives de **certaines falaises** pour augmenter la fourniture sédimentaire. Cette action aurait alors un **caractère expérimental**.

## **4.5 AXE 4 : Contrôler pour évaluer, évaluer pour évoluer**

L'objectif de l'Axe 4 est double. Il s'agit d'**améliorer les connaissances** de la trajectoire géomorphologique du Frayol 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 DU FRAYOL**

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.

Ainsi, deux petites études (sous la forme de stages étudiants de niveau M1 par exemple) pourraient compléter la connaissance du bassin versant du Frayol :

- La **recherche de réservoirs sédimentaires** exploitables sur le bassin qui pourraient être activés et transformés en ressources sédimentaires par couplage sédimentaire. Cette étude viserait préférentiellement le tronçon FRA\_3. Un point sur les deux autres tronçons serait intéressant pour 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.
- Une exploration des **principales falaises** notamment du tronçon FRA\_3 et de leurs caractéristiques lithologiques. L'objectif de cette démarche serait de recenser les falaises exploitables en termes de recharge sédimentaire par fragmentation de la roche. Il s'agit ainsi d'augmenter la fourniture de matériaux par **fractionnement accéléré de la roche**. Cette démarche expérimentale au moins sur une falaise devrait permettre si elle donnait des résultats intéressants (volume, granulométrie...) de prévoir d'autres opérations dans des secteurs sans enjeu particulier.

Par ailleurs, il serait également intéressant d'engager un **jaugeage du Frayol** (stations hydrométriques avec hauteur et débit, campagnes de mesures de type pressiométrique...), afin d'obtenir de la donnée sur l'hydrologie du bassin versant, effectuer des courbes de tarage, vérifier les extrapolations réalisées dans le cadre du diagnostic hydromorphologique, et ainsi mieux appréhender le comportement hydrologique du Frayol et la corrélation débit liquide et débit solide.

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

Le diagnostic hydromorphologique du bassin versant du Frayol 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 du Frayol. 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 **suiti 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 Syndicat Mixte des Bassins versants du Frayol et du Frayol 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 l'Escoutay sont présentés au Tableau 4.

ÉLÉMENTS DE SUIVI DYNAMIQUE PRÉCONISÉS POUR L'ESCOUTAY					
Éléments suivis	Type de suivi	Technique	Localisation	SMBEF	Objectifs – Intérêt – Méthodologie
Transport solide	Volume matériaux	Helley-Smith	Au droit des ponts (pont des Combes, pont de la Liberté, pont Mattéoti...)		Mesurer la fraction charriée en crue pour affiner la connaissance de la capacité de charriage du Frayol, et comparer les données avec l'approche calculatoire. A étendre en fonction des opérations de recharge sédimentaire effectuées.
	Granulométrie	Granulométrie en lit	Exutoire tronçons et affluents	✓	Analyser l'évolution du substrat du lit après chaque crue et l'aspect biogène du substrat
	Vitesse de propagation de la charge	Traçage pit-tags	FRA_3 et FRA_4 et recharge	✓	Obtenir des informations sur le transfert des matériaux Mesurer la distance parcourue lors d'une crue par les matériaux du lit, évaluer plus précisément le temps de transit des matériaux et définir le tri granulométrique.
	Stock alluvial	Mesure au quintuple-décamètre	FRA_3 et FRA_4	✓	Évaluer l'évolution du stock alluvial (volume et degré de mobilité) Mesurer les dimensions (longueur, largeur de transect, hauteur par rapport au fil d'eau) de chaque structure alluvionnaire et définir leur stade d'évolution. Le point zéro : Analyse de 2016
Incision	Évolution verticale du lit	Levé bathymétrique	FRA_4		Réaliser un profil en long post crue pour suivre l'évolution verticale du lit (comparaison avec 1991 et 2016), cet élément servira également pour réaliser l'action FA 1.2.1
Recharge sédimentaire	Granulométrie	Granulométrie en lit	Aval des points d'injection	✓	Évaluer l'impact des opérations de transferts-réinjection de matériaux sur le substrat du lit
	Colmatage	Sticks hypoxiques et/ou conductivité hydraulique		✓	
	Vitesse de propagation de la charge	Traçage pit-tags		✓	

Tableau 4 : Suivi dynamique préconisé pour le Frayol

## 4.6 AXE 5 : 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.

*Encart 7 : Les pathologies du riverain*

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 du Frayol (tarissement sédimentaire et déstockage du plancher alluvial en amont d'Alba-la-Romaine, stockage massif en aval de Saint-Thomé), 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 cités supra (contexte géomorphologique général, trajectoire géomorphologique du Frayol) ;
- De faire **évoluer ce plan de gestion** après évaluation et de mesurer son impact effectif sur la trajectoire géomorphologique du Frayol (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 SMBEF ;
- Effectuer une démarche **vers les riverains** dont beaucoup sont atteints par le syndrome « *je connais Ma rivière, je sais quoi faire* » (*cf.* Encart 7).

## A ACTION 1 : UNE MEILLEURE APPROPRIATION PAR L'AMÉLIORATION DE LA CONNAISSANCE

Cette action consiste à former la technicienne du SMBEF, 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 la technicienne 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 SMBEF (*cf.* Tableau 4).

---

**B ACTION 2 : UNE CONFÉRENCE DE L'EAU POUR LES RIVERAINS ET ACTEURS DU BASSIN DU FRAYOL**

Les réunions publiques réalisées lors de la Phase 1 de la mission ont montré tout l'intérêt des riverains pour leurs cours d'eau. Ces réunions ont également mis en avant le besoin d'un **socle commun de connaissances** de la trajectoire géomorphologique du Frayol, et en particulier du fonctionnement dynamique dans le contexte d'une évolution complexe (forçages hydroclimatique et anthropique).

L'objectif est de mettre en phase la connaissance du bassin par tous, le plan de gestion et les actions du SMBEF. Cette conférence pourrait également préparer la mise en place de la GEMAPI.

Cette action prendrait alors la forme de deux journées non consécutives alternant visites de terrain et présentations plus théoriques pour présenter l'état du bassin versant, actions et évolution de la gouvernance à mettre en œuvre.

**C ACTION 3 : COMMUNIQUER VERS LES RIVERAINS**

Comme vu précédemment avec une note d'humour (*cf.* Encart 7), 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 Frayol 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 2).

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 basé 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 Frayol 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 SMBEF ;
- **Fiche-suivi** qui concernent le programme de suivi dynamique.

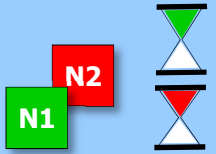
Les fiches, dont les modèles vierges sont présentés à la Figure 31, font figurer les éléments suivants :

- **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 PHYSIQUE DU FRAYOL



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 :

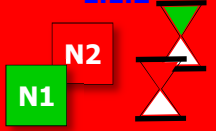
COÛTS DE L'ACTION :

RELATION AVEC D'AUTRES FICHES DU PLAN DE GESTION :

# PLAN DE GESTION PHYSIQUE DU FRAYOL



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 :

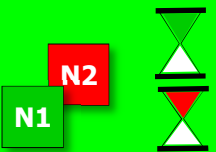
COÛTS DE L'ACTION :

RELATION AVEC D'AUTRES FICHES DU PLAN DE GESTION :

# PLAN DE GESTION PHYSIQUE DU FRAYOL



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 :

Figure 31 : Modèles des trois types de fiche constituant le plan de gestion du Frayol

#### 5.4 Portefeuille de fiches-action

L'ensemble des fiches-actions constituant le plan de gestion du Frayol 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

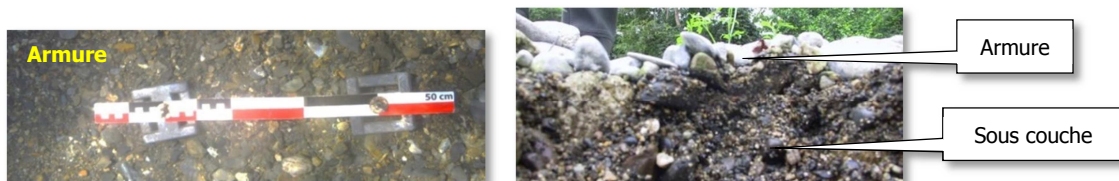
L'accrétion pour un banc de galets (structure alluvionnaire) est l'action de croître par juxtaposition de matériaux alluvionnaires à la structure préexistante. Ce terme est synonyme plus généralement de dépôt en lit.

### 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'exhaussent (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

**D EFLUVIATION**

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

**E COTONE**

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\*.

**F ONCTIONNEMENT 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.

**G ESTION 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.

## **I**NCISION

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

## **I**NRADOS

Berge de rive convexe dans un méandre

## **M**ETAMORPHOSE 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.

## **M**ORPHOGENE

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

## **P**ERTURBATEUR 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.

## **P**ROCESSUS 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.

## **R**EAJUSTEMENTS 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...).

## **S**INUOSITE

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

- 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.
- FLEZ, C., GARITTE, G., 2005. Contribution à la connaissance des facteurs responsables de la rétraction des bandes actives torrentielles. Tentative de régionalisation à travers l'exemple de quatre bassins-versants élémentaires (Ubaye et haute Durance). *L'érosion entre société, climat et paléo-environnement*, pp. 291-296.
- 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.
- HACK, J.T., 1960. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. *American Journal of Sciences*, 258, pp. 80-97.
- 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.
- 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.
- LEDUC, P., 2013. Étude expérimentale de la dynamique des rivières en tresses. Thèse, Université de Grenoble, 234 p.
- PIEGAY, H., PAUTOU, G., RUFFINONI, C., 2003. Les forêts riveraines des cours d'eau: écologie, fonctions et gestion. *Forêt Privée Française*.
- SCHNITZLER, A., GAFTA, D., CORNIER, T., 2003. Concepts architecturaux et particularité écosystémique des ripisylves. In : Piégay, H., Pautou, G, Ruffinoni, C. Les forêts riveraines des cours d'eau, écologie, fonction et gestion, IDEF, pp. 30-45.
- TRICART, J., 1977. Précis de géomorphologie. Géomorphologie dynamique générale (tome 2). Paris, SEDES, 345 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
- Dignes, ouvrages de protection

### Environnement aquatique

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



#### Siège social Centre technique principal

825 Route de Champ Fayon  
74 370 ARGONAY

Tél : 04 50 27 27 26  
Fax : 04 50 27 25 64  
contact@hydretudes.com

#### Agence Dauphiné-Provence

9, rue Praireuf  
26 200 ROMANS SUR ISÈRE

Tél : 04 75 45 30 57  
Fax : 04 75 31 04 37  
contact-romans@hydretudes.com

#### SARL Océan Indien

« Les Kréolis »  
8-10, rue Axel Doreuil  
97 410 SAINT PIERRE

Tél : 02 62 96 82 45  
Fax : 02 62 92 69 05  
Contact.reunion@hydretudes.com

#### SARL Alpes du Sud

Bât 2 - Rés Forest d'Entrals  
25, rue du Forest d'Entrals  
05 000 GAP

Tél : 04 92 21 93 26  
Fax : 04 92 21 87 83  
contact-gap@hydretudes.com

#### SARL Grand Sud-Pyrénées

58 bis, chemin du Chapitre  
31 200 TOULOUSE

Tél : 05 62 26 09 43  
Fax : 05 62 24 08 55  
contact-toulouse@hydretudes.com

#### Agence Sud-Ouest

45, rue des Fontaines  
64 200 LÈGE

Tél : 05 64 27 02 76  
contact-bordeaux@hydretudes.com

#### SARL Alpes du Nord

Alpeispace  
50, Voie Albert Einstein  
73 800 FRANCIN

Tél : 04 79 96 48 57  
Fax : 04 79 37 02 63  
contact-savoie@hydretudes.com