

Classement du système d'endiguement du gave de Cauterets sur les communes de Pierrefitte-Nestalas et de Soulom et étude de faisabilité d'aménagements hydrauliques



Notice de suivi du lit

N° de référence : ARI-18-044

Version V2

15/04/2021

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Maitre d'ouvrage

Pays de Lourdes et des Vallées des Gaves
4, rue Michelet
65100 LOURDES

05.62.42.64.98
olivier.frysou@plvg.fr

Opération

Classement du système d'endiguement du gave de Cauterets sur les communes de Pierrefitte-Nestalas et de Soulom et étude de faisabilité d'aménagements hydrauliques

ARI-18-044
Philippe Martin
Notice de suivi du lit

Emetteur

HYDRETUDES - Centre technique principal
815, route de Champ Farçon
74370 ARGONAY
Tél : 04.50.27.17.26
Mail : contact@hydretudes.com



Document

Notice de suivi du lit
15/04/2021

Indice	Date	Mise à jour	Rédigé par	Vérifié par
1	17/03/2021	Version 1	JMD	PM
2	29/04/2021	Compléments version 2	JMD	PM
3				
4				
5				

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	7
1.1. OBJECTIF DE LA PRESENTE NOTICE DE SUIVI ET D'ENTRETIEN DE LA MORPHOLOGIE DU LIT ET RELATION AU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	7
1.2. CONTEXTE DYNAMIQUE DE LA PRESENTE NOTICE	8
2. LE LIT DU GAVE DE CAUTERETS AU NIVEAU DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT (RAPPELS)	9
2.1. UN LIT TRES FORTEMENT ANTHROPISE	9
2.2. DEFINITION DE LA NOTION DE SINGULARITE MORPHOLOGIQUE	9
2.3. DES SINGULARITES MORPHOLOGIQUES IMPORTANTES ET IMPACTANTES POUR LE TRANSPORT SOLIDE	10
2.4. DES SEUILS ET DES BARRETTES STABILISANT ET CONTROLANT PARTIELLEMENT LE PROFIL EN LONG	15
3. ACCOMPAGNER LA MORPHOLOGIE DU LIT	17
3.1. LA PERFORMANCE HYDROMORPHOLOGIQUE DU LIT	17
3.1.1. <u>Notion de performance hydromorphologique</u>	17
3.1.2. <u>Notion de cycle de vie</u>	18
3.1.3. <u>Notion d'intercruce</u>	19
3.2. SINGULARITES ET POINTS NODAUX DE LA MORPHOLOGIE DU LIT	20
4. MODALITES DE SUIVI DYNAMIQUE DE LA MORPHOLOGIE DU LIT	24
4.1. Le suivi longitudinal de la végétation (lit et berges)	25
4.1.1. Le point-zéro (PZ)	25
4.1.2. Le suivi longitudinal de la végétation adapté aux contraintes de la zone d'étude	27
4.1.3. Les actions à mener dans le cadre du suivi longitudinal de la végétation	28
4.1.4. Focus sur les secteurs sensibles à l'embâclage	28
4.2. Le suivi du profil en long	31
4.2.1. Préalable (rappel) concernant l'incision du lit	31
4.2.2. La préparation du point-zéro (PZ)	33
4.2.3. Le suivi longitudinal	35
4.2.4. Préparer le lit à la crue suivante	52
4.3. Les accès en lit (servitudes)	53
5. NOTICE DE SUIVI ET D'ENTRETIEN DYNAMIQUES	55
5.1. La notion d'entretien dynamique	55
5.2. Principe de base et principes généraux du suivi et de l'entretien dynamiques	55
5.3. Les éléments à contrôler	56

5.4. Le REX (Retour d'EXpériences).....	57
5.5. La notice de suivi et d'entretien dynamiques	58
5.5.1. L'entretien dynamique courant :.....	58
5.5.2. L'entretien dynamique exceptionnel.....	64
6. GLOSSAIRE GENERAL	69
7. BIBLIOGRAPHIE	72

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Evolution du climat dans les Pyrénées d'après l'OPCC.....	8
Figure 2 : SM1 → atterrissement central en amont du seuil en tête de zone d'étude et lié à la singularité morphologique que constitue ce dernier (SM1).....	10
Figure 3 : SM2 → zone d'expansion-contraction de la bande active corsetée, dans les carrés rouges : largeur du lit (source : Géoportail).....	11
Figure 4 : Vue de la partie aval de la singularité SM2 (1) → Vue depuis l'étoile sur la photographie n° 2 on l'on voit les désaxements du lit et son rétrécissement, lequel génère l'atterrissement ; (2) → vue plus large et en hauteur de la zone montrant désaxement et rétrécissement de la section d'écoulement fortement contrainte	11
Figure 5 : Singularité morphologique SM2, (1) → Vue vers l'amont on note l'élargissement important et l'aggradation du lit cherchant à réajuster sa géométrie ; (2) →Granulométrie grossière de cette structure alluvionnaire (cf. échelle de 50 cm).....	12
Figure 6 : Singularités SM3 et SM4. SM3 est affecté par un ensemble de variations de largeur du lit favorisant les réajustements géométriques ; SM4 conduit à une brusque réduction de la section d'écoulement et de la débitance (source : Géoportail).....	12
Figure 7 : (1) → zone de l'apex fixé du cône résiduel (début d'ouverture de la section et début du masque rocheux) ; (2) → zone de l'apex (A), on note le désaxement du lit et le masque rocheux (B) en rive droite ainsi que le mur-digue en rive gauche. Le lit commence à divaguer voire tresser.....	12
Figure 8 : (1) et (2) → Structures alluvionnaires remobilisables, dans la bande active en aval de l'apex, on note le masque rocheux présent	13
Figure 9 : vue vers l'amont au niveau du pont interzones (rive gauche). On distingue nettement les sinuosités du lit et les variations morphologiques de la BAM ainsi que les accrétions qui commencent à se végétaliser	13
Figure 10 : Pont interzones (1) → Vue amont, note la conduite réduisant la section et favorisant l'embâclage, (2) → Vue aval, le seuil parafouille et ses coursiers sont visibles. La section se trouve rétrécit notablement (- 52 % en 90 m) par la présence du pont qui a un appui en lit. 13	
Figure 11 : Pont interzones, (1) lors de la crue de 2012, montrant les débordements et la zone d'érosion et de dépôt ; (2) En 2019, vue des stigmates des crues protégées par un masque rocheux.....	14
Figure 12 : Pont interzones en post-crue 2012, on note les zones d'accrétion et d'érosion en amont rive droite du pont.....	14
Figure 13 : (1) → Vue aval du pont interzones montrant le seuil et le lit étroit, (2) → Vue du gave de Cauterets entre le pont interzones et la confluence avec le gave montrant les variations géométriques du lit contraint fortement en rive gauche (source : Géoportail)	15

Figure 14 : Vue de la partie élargie en aval du pont interzones. Le lit est corseté en rive gauche et les berges sont érodées en rive droite. Les accrétions sont importantes.	15
Figure 15 : La partie distale du cône du gave de Cauterets en post-crue 2013, la BAM a été empruntée par le lit principal, il a été remis dans la BAM dans le cadre des travaux post-crue	19
Figure 16 : Cartographie des atterrissements relevés en 2019 (rappel).....	21
Figure 17 : SM1 et PN1.1, la photo retraitée est de mauvaise qualité à cause de l'ombre (source : Géoportail)	21
Figure 18 : SM2 et points nodaux associés (source Géoportail).....	22
Figure 19 : SM3 et points nodaux associés (source : Géoportail).....	22
Figure 20 : SM4 et ses points nodaux associés (source : Géoportail).....	22
Figure 21 : SM5 et points nodaux associés (source Géoportail).....	23
Figure 22 : Atterrissement n° 6 (cf. Figure 16) en cours de végétalisation. Cette végétation s'est développée sur une zone de dépôts fins type bed patchiness, (1) → strate herbacée et arbustive avec essentiellement des peupliers ; (2) → saules frangeant la structure	26
Figure 23 : Débuts de végétalisations visibles sur la photo aérienne (08/2019), source : Géoportail.....	26
Figure 24 : Scarification.....	28
Figure 25 : Zone sensible à l'embâclage n° 2 en amont du pont interzones.....	29
Figure 26 : Zone sensible à l'embâclage n° 1 du tennis de Soulom à l'apex.....	30
Figure 27 : secteurs potentiellement sujets à l'incision entre le seuil Berty et l'amont du pont de Soulom. Source : RTM 65	31
Figure 28 : secteurs potentiellement sujets à l'incision pont de Soulom → amont de l'apex. Source : RTM 65.....	32
Figure 29 : secteurs potentiellement sujets à l'incision entre l'amont de l'apex et la confluence. Source : RTM 65.....	32
Figure 30 : détail des atterrissements de la singularité SM3	34
Figure 31 : Illustration de la gestion hydromorphologique des ouvrages pour un mur en T..	36
Figure 32 : Les points de faiblesse d'une fondation complexe.....	37
Figure 33 : Possibilité ou impossibilité de déterminer le revanche inférieure Ra.....	38
Figure 34 : Profil en long en rive droite présentant la crête des ouvrages, leur localisation et la ligne de charge pour Q20 (source : ISL, 2021)	48
Figure 35 : Profil en long en rive gauche présentant la crête des ouvrages, leur localisation et la ligne de charge pour Q20 (source : ISL, 2021).....	49
Figure 36 : Besoins LiDAR pour le suivi longitudinal en fonction du type de crue (avec ou sans avulsion dans la BAM (source Géoportail)	52
Figure 37 : Cartographie des accès en lit pour engins (servitudes de passage)	54
Figure 38 : Exemple de rephotographie (gave de Pau), la même vue (prise du même endroit) permettant ainsi le suivi d'un transfert-réinjection de matériaux. On voit au fil des saisons (et des crues) les matériaux déposés en glacis de berge s'éroder petit à petit (injection-retard) et se disséminer dans le gave de Pau.....	57
Figure 39 : Défluviation du gave dans la BAM lors de la crue de 2013 (source DDT 65).....	65

Figure 40 : Vue de la partie distale du cône qui s'est activée lors de la crue de 2013 (source DDT 65).....	65
Figure 41 : Détail de la BAM activée lors de la crue de 2013 avec les chenaux de défluviation résiduels en post-crue (source DDT 65).....	66
Figure 42 : Recréation d'un lit post-crue dans la BAm à partir de la morphologie du lit actuel	67
Figure 43 : (1) → Vue du masque du rocheux depuis l'apex en appui sur un enrochement	68

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Singularités morphologiques du gave de Cauterets dans la zone d'étude.....	10
Tableau 2 : Principaux ouvrages transversaux.....	16
Tableau 3 : Singularités géomorphologiques et points nodaux	20
Tableau 4 : Volume des structures alluvionnaires de la zone d'étude (rappel).....	21
Tableau 5 : Typologie des stratégies de suivi à mettre en œuvre	24
Tableau 6 : Techniques de surveillance à mettre en œuvre.....	27
Tableau 7 : scénarii et aménagements des ouvrages du système d'endiguement prévus (rappel)	33
Tableau 8 : Eléments du suivi longitudinal de la morphologie du lit.....	35
Tableau 9 : Stratégie de gestion à développer	35
Tableau 10 : protections parafouilles avec données géométriques disponibles	39
Tableau 11 : Modélisation des crues et incertitude des résultats	40
Tableau 12 : Conditions et restriction pour indiquer une hauteur éventuelle d'atterrissement en pied de certains ouvrages.....	41
Tableau 13 : Eléments de détermination des possibilités de revanche en rive gauche.....	42
Tableau 14 : Eléments de détermination des possibilités de revanche en rive droite.....	43
Tableau 15 : Possibilités d'évolution du fond du lit données à titre indicatif.....	44
Tableau 16 : Détermination des revanches inf. et sup. des différents ouvrages.....	47
Tableau 17 : Grands principes du suivi et de l'entretien	56
Tableau 18 : Eléments à contrôler par type d'ouvrages	56
Tableau 19 : Découpage en tronçons pour l'entretien	58

1. INTRODUCTION

1.1. OBJECTIF DE LA PRESENTE NOTICE DE SUIVI ET D'ENTRETIEN DE LA MORPHOLOGIE DU LIT ET RELATION AU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

La présente notice de suivi et d'entretien dynamique du lit au niveau du système d'endiguement de Pierrefitte-Nestalas et de Soulom est volontairement succincte et met seulement en exergue les grands principes à déployer. Le gestionnaire devra ainsi évaluer pour faire évoluer cette notice au gré des REX (Retours d'EXpérience) suite aux crues morphogènes et au suivi dynamique longitudinal proposé.

Cette notice de suivi est à mettre en référence avec la surveillance, le contrôle et l'entretien des ouvrages constitutifs du système d'endiguement.

L'objectif principal de la démarche est d'éviter que les sections d'écoulement (en amont, jusqu'à l'apex du cône de déjection et les bandes actives en aval de cet apex [bande active mineure BAm, fonctionnelle hors inondation du reste du cône de déjection et la bande active majeure – BAM, fonctionnelle lorsque la BAm ne peut plus contenir les écoulements]) n'évoluent défavorablement par rapport aux ouvrages constituant le système d'endiguement en diminuant les revanches des ouvrages par rapport aux niveaux des crues ou en affectant leurs fondations en lit, par le truchement d'exhaussement ou d'incision du lit.

Cette évolution potentiellement défavorable pourrait ainsi être liée à deux causes :

(1) → Aux **singularités morphologiques du lit** 📖 [N-B : ce symbole indique que ce terme est expliqué dans le glossaire en fin de notice] (liées aux variations du profil en long et du profil en travers) qui pourraient ainsi générer une perte d'une partie de la capacité de débitance. La diminution de la section d'écoulement pourrait ainsi être liée à des atterrissements et/ou des embâcles se déposant préférentiellement au niveau de points singuliers liés à un changement de la morphologie du lit : rupture de pente, augmentation de rugosité, élargissement, sinuosité.... Cette situation augmenterait la ligne d'eau et la ligne d'énergie et pourrait ainsi affecter l'efficacité du système d'endiguement.

(2) → A la **respiration verticale du lit** 📖 et à l'**incision** liée au contexte hydroclimatique actuel et à ses évolutions prévisibles. Ainsi, le lit peut s'inciser, ce qui pourrait également déstabiliser les ouvrages en place.

Notre approche dans le cadre de la présente notice de suivi et d'entretien de la morphologie du lit concerne donc essentiellement les variations de la morphologie du lit dans le temps pouvant impacter la **performance hydromorphologique** 📖 du système d'endiguement.

La présente notice concerne deux temps forts du fonctionnement des cours d'eau :

- La **crue morphogène** 📖. Après une crue morphogène des inspections de contrôle du lit seront indispensables, et le cas échéant des travaux d'entretien seront à mettre en œuvre, voire un travail du lit (façonnage). Les inspections de contrôle post-crue morphogène sont les interventions minimalistes que font certains gestionnaires, mais elles ne doivent pas occulter et éluder les autres types d'opérations de contrôle nécessaires au suivi d'aménagements en cours d'eau, notamment celles du lit.
- L'**intercrue**. 📖 Cette notion est particulièrement importante et est souvent négligée. En effet, le délai entre deux crues peut être long et ainsi favoriser notamment la végétalisation des macroformes dans le lit (atterrissements), alors que leur mobilité est essentielle à la conservation de la performance hydromorphologique du lit face au système d'endiguement. Il convient donc d'intervenir régulièrement lors de ces intercrues pour contrôler la végétalisation éventuelle du lit, favorisant la fixation des matériaux et la sédimentation de nouveaux matériaux.

L'opérateur (PLVG), gérant les différents ouvrages hydrauliques concernés sur le gave de Cauterets devra ainsi faire évoluer sa gestion en fonction de la vie des ouvrages, mais également de l'évolution dynamique de la morphologie du lit lors des intercrues et suite aux crues du gave. En ce sens, la présente notice qui traite de la morphologie du lit est donc un élément participant à la stratégie de gestion du système d'endiguement.

Elle comprend notamment :

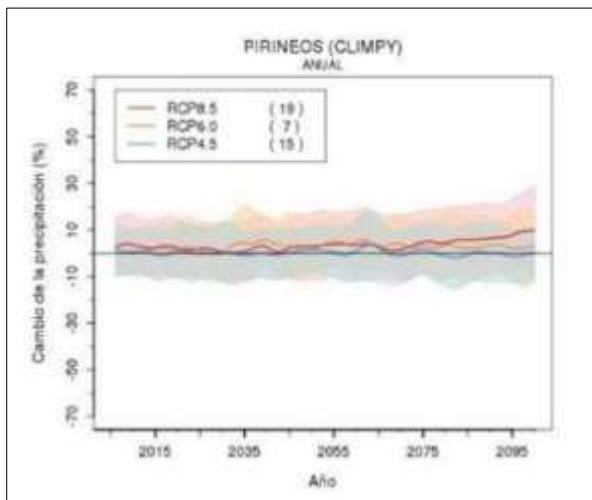
- Le détail des singularités morphologiques du lit et leur incidence sur le fonctionnement dynamique et le risque associé pour le système d'endiguement,
- La mise en place d'un suivi dynamique longitudinal 📖,
- La surveillance, contrôle et REX (Retour d'EXpérience),
- L'entretien du lit (concept de « préparation du lit à la crue d'après »).

La présente notice est basée sur des éléments, des hypothèses de travail et des calculs qui en découlent qui proviennent de notre expertise et de nos retours d'expériences et qui s'inscrivent dans la cadre de notre devoir de conseil

1.2. CONTEXTE DYNAMIQUE DE LA PRESENTE NOTICE

Nous rappelons succinctement ce contexte : nous nous trouvons dans une période à évolution rapide de l'hydromorphologie sous influence des forçages climatique et anthropique avec notamment une péjoration des conditions hydroclimatiques depuis au moins le XXème siècle. Cette évolution devrait s'accroître du fait du réchauffement climatique et modifier ainsi le fonctionnement dynamique des cours d'eau en général et en particulier de celui du gave de Cauterets (régime, climat, fourniture sédimentaire, transport solide...).

Les évolutions prévisibles futures climatiques (cf. Figure 1) sont délicates à modéliser, il est donc difficile d'avoir pour le moment un avis tranché sur la question, c'est pourquoi un suivi dynamique longitudinal spécifique doit être mis en œuvre pour suivre les évolutions hydromorphologiques (et géométriques du lit) et prendre les mesures qui s'imposeront suite à ces évolutions dynamiques.



Evolution d'indicateurs climatiques pour les Pyrénées

- (1) → Evolution des précipitations moyennes annuelles pour les Pyrénées sur le siècle.
- (2) Evolution de la moyenne annuelle des températures maximales sur le XXIème siècle.
- (3) Evolution de la moyenne annuelle des températures minimales sur le XXIème siècle.

Source OPCC

Evolution du climat des Pyrénées pour le XXIème siècle

L'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC) indique que les températures maximales et minimales vont augmenter durant tout le XXIème siècle.

Le manteau neigeux va voir son épaisseur diminuer, les périodes d'enneigement seront également plus courtes.

Le régime pluvio-nival avec son étiage hivernal dû à l'enneigement devrait subir ainsi de fortes modifications.

Dans le piémont l'augmentation des températures estivales devrait également avoir une incidence importante sur les débits des cours d'eau.

Le changement de la diversité des communautés végétales tant dans les Pyrénées que dans son piémont devrait également impacter la végétation inféodée aux milieux aquatiques, voire l'érosion.

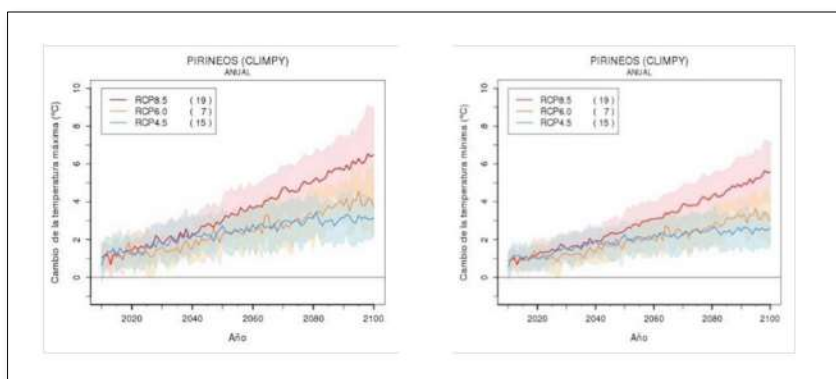


Figure 1 : Evolution du climat dans les Pyrénées d'après l'OPCC

2. LE LIT DU GAVE DE CAUTERETS AU NIVEAU DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT (RAPPELS)

☞ **Nota-Bene** : La note technique hydromorphologique rédigée dans le cadre de la présente étude en juin 2020 a caractérisé le cône résiduel du gave de Cauterets et son fonctionnement dynamique. Nous ne reprenons ici que les points essentiels servant à construire la présente notice.

2.1. UN LIT TRES FORTEMENT ANTHROPISE

Le lit du gave de Cauterets est très anthropisé. Les berges sont ainsi anthropisées sur la quasi-totalité du linéaire en rive gauche et sur une grande partie de ce dernier en rive droite.

La section d'écoulement est ainsi fortement contrainte sur les deux rives (corsetage bilatéral) jusqu'à l'apex du cône alluvial (qui se situe en amont du lotissement LaLanne à la fin du corsetage de la rive droite).

A partir de cet apex, la bande active reste contrainte sur sa rive gauche jusqu'à la confluence, les possibilités d'évolution se trouvant sur la rive droite comme lors de la crue de 2013. Nous avons ainsi distingué une bande active mineure (BAm) qui contient le lit mineur jusqu'à un certain niveau de crue puis le gave à partir de l'apex peut effacer un masque rocheux et s'avulser 📖 sur la partie résiduelle de son cône (avulsion dirigée) dans la bande active majeure (BAM).

Le fond du lit est également partiellement fixé notamment entre le pont de Soulom et l'apex avec un radier généralisé. Dès l'aval de l'apex la bande active s'ouvre et favorise l'accrétion des alluvions.

2.2. DEFINITION DE LA NOTION DE SINGULARITE MORPHOLOGIQUE

Nous proposons de définir une **singularité morphologique du lit d'un cours d'eau** à partir des éléments ci-dessous :

Définition de la singularité morphologique

On appellera « **singularités morphologiques** » des éléments de la morphologie du lit qui répondent aux trois conditions suivantes, ces trois conditions interactives devant être remplies :

(1) → Condition spatiale : les singularités morphologiques s'expriment dans les 3 dimensions. Soit (i) la **hauteur** – variations altimétriques du fond du lit, (ii) la **longueur** – variations du profil en long et (iii) la **largeur** – variations de la distance des berges.

(2) → Condition temporelle : ces éléments sont difficilement effaçables par les crues morphogènes ils ont donc une certaine durée comme le compartimentage du lit, le corsetage...

(3) → condition de causalité : les singularités morphologiques par leur présence génèrent, particulièrement lors des crues morphogènes, mais également par leur présence sur le long terme des réajustements morphologiques contrôlant ainsi l'évolution morphologique du lit et dynamique du cours d'eau.

Ce sont ainsi des points (ou des zones) de contrôle de la morphologie du lit qui provoquent de manière quasi-systématique des réajustements géométriques de même nature à chaque crue morphogène (du fait de leur incidence sur les écoulements) jusqu'à leur rupture ou leur effacement par l'Homme.

La morphologie du lit modifiée au niveau du point nodal 📖 va ainsi générer un risque pour le système d'endiguement : soit menacer son intégrité, soit limiter son efficacité en favorisant des débordements.

2.3. DES SINGULARITES MORPHOLOGIQUES IMPORTANTES ET IMPACTANTES POUR LE TRANSPORT SOLIDE

Les singularités morphologiques peuvent générer des impacts importants et évoluant défavorablement au gré des crues (par exemple : engraissement d'un atterrissement de réajustement géométrique de section, etc...).

Ces réajustements modifient la section d'écoulement (dans ses trois dimensions), ces modifications pouvant se répercuter sur les ouvrages du système d'endiguement de Pierrefitte-Nestalas (par exemple : limitation de la revanche de crue par rapport au dimensionnement, affouillement des fondations, etc...).

Nous n'intégrons dans la présente notice que les éléments singularités morphologiques majeurs susceptibles de provoquer des réajustements géométriques substantiels.

Les différentes singularités (amont → aval) sont rappelées et détaillées dans le tableau suivant et affectent principalement le transport solide en générant des aggradations sédimentaires :

SINGULARITES MORPHOLOGIQUES			
Code	Singularités morphologiques	Processus	Impacts
SM1	Seuil Berty	Rupture de pente	Atterrissement en amont
SM2	Amont pont de Soulom	Elargissement (décompression) de la section de 79 % conduisant à une perte de charge	Atterrissement
SM3	Entre l'apex et le pont interzones	Elargissement de la section partiellement corsetée (RG) (1) de 17,50 à 38 m soit 117 % en 165 m (2) de 38 à 50 m soit 32 % en 210 m Soit au total 186 % en 375 m	Atterrissements
SM4	Pont interzones/seuil parafouille	Rupture de pente (présence d'un seuil parafouille) et limitation de section (perte en 90 m de 52 % de section d'écoulement, celle-ci se réduisant à 14 m avec pile au milieu du lit	Atterrissements et érosion en rive droite
SM5	Aval pont interzone	Elargissement de la section et confluence avec le gave	Zone atterrie formant un petit cône alluvial

Tableau 1 : Singularités morphologiques du gave de Cauterets dans la zone d'étude

Nota-Bene : les atterrissements sont remobilisables en crue (dépend de l'énergie de la crue, de sa durée, du positionnement de l'atterrissement...) lorsqu'ils ne sont pas végétalisés. D'autres matériaux transportés depuis l'amont vers une singularité morphologique changeant les conditions de transport vont potentiellement se déposer en récession de crue et reconstruire un nouvel atterrissement.



Figure 2 : SM1 → atterrissement central en amont du seuil en tête de zone d'étude et lié à la singularité morphologique que constitue ce dernier (SM1)

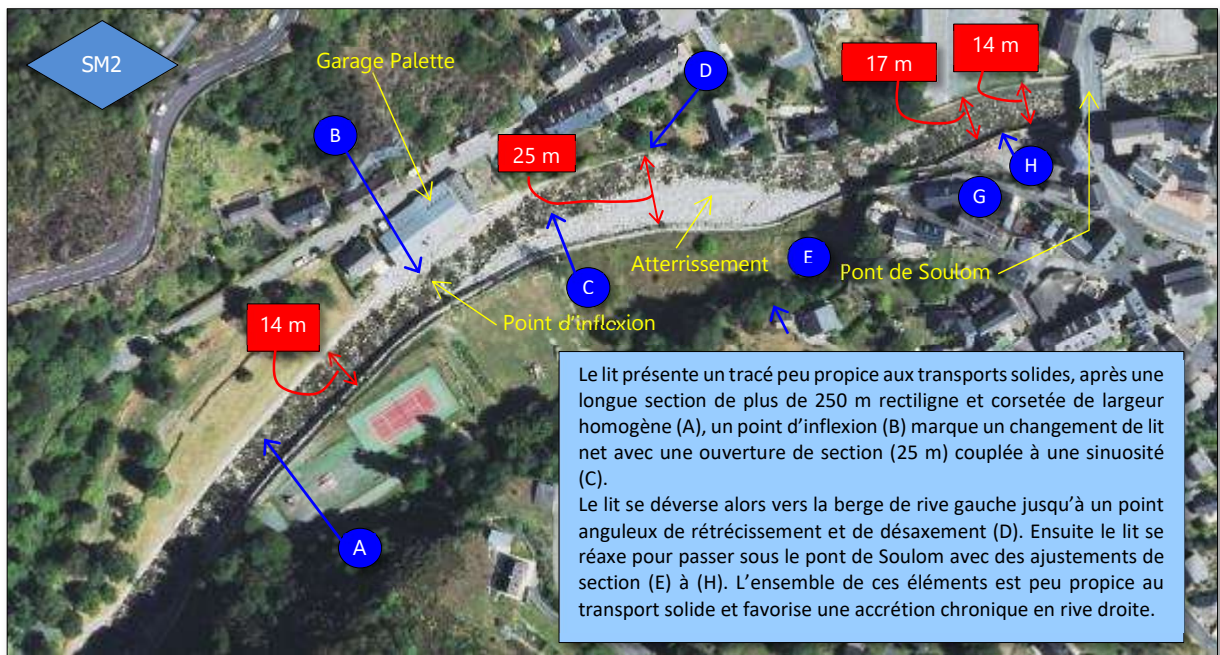


Figure 3 : SM2 → zone d'expansion-contraction de la bande active corsetée, dans les carrés rouges : largeur du lit (source : Géoportail)



Figure 4 : Vue de la partie aval de la singularité SM2 (1) → Vue depuis l'étoile sur la photographie n° 2 on l'on voit les désaxements du lit et son rétrécissement, lequel génère l'atterrissement ; (2) → vue plus large et en hauteur de la zone montrant désaxement et rétrécissement de la section d'écoulement fortement contrainte



Figure 5 : Singularité morphologique SM2, (1) → Vue vers l'amont on note l'élargissement important et l'aggradation du lit cherchant à réajuster sa géométrie ; (2) → Granulométrie grossière de cette structure alluvionnaire (cf. échelle de 50 cm)

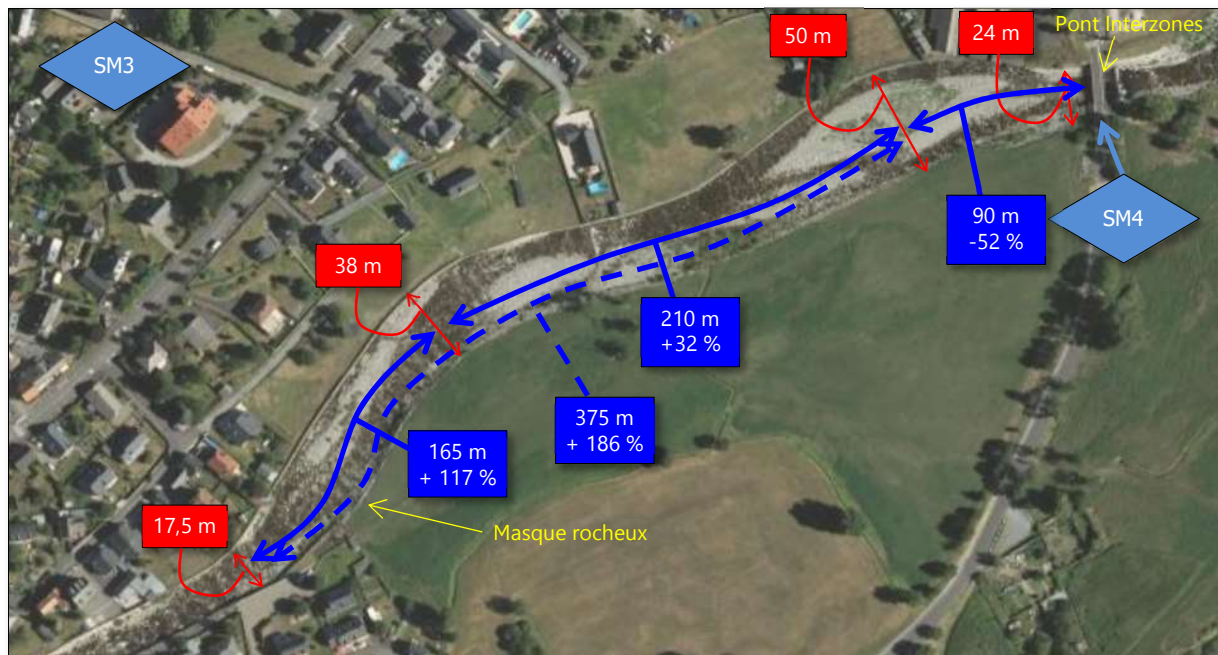


Figure 6 : Singularités SM3 et SM4. SM3 est affecté par un ensemble de variations de largeur du lit favorisant les réajustements géométriques ; SM4 conduit à une brusque réduction de la section d'écoulement et de la débitance (source : Géoportail)



Figure 7 : (1) → zone de l'apex fixé du cône résiduel (début d'ouverture de la section et début du masque rocheux) ; (2) → zone de l'apex (A), on note le désaxement du lit et le masque rocheux (B) en rive droite ainsi que le mur-digue en rive gauche. Le lit commence à divaguer voire tresser.

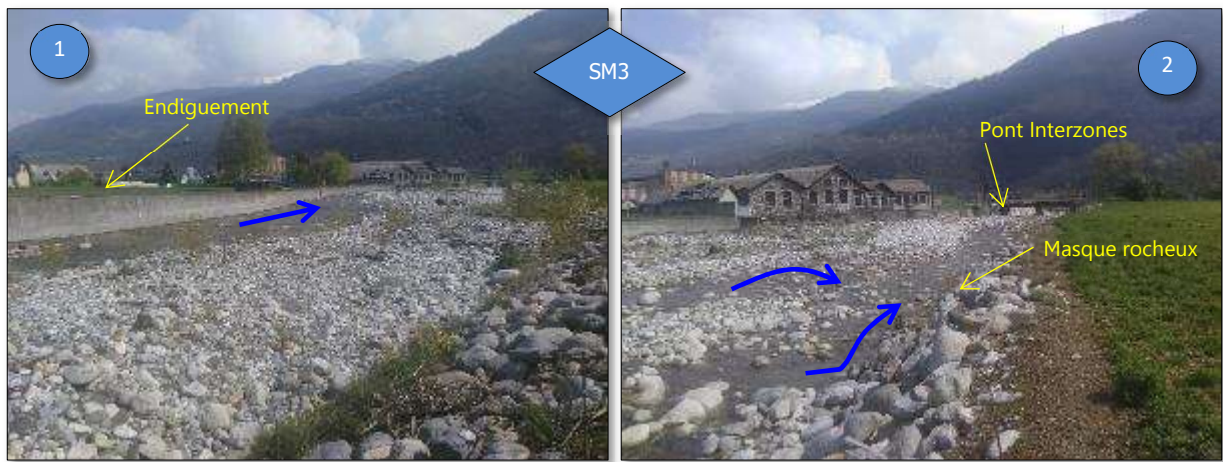


Figure 8 : (1) et (2) → Structures alluvionnaires remobilisables, dans la bande active en aval de l'apex, on note le masque rocheux présent



Figure 9 : vue vers l'amont au niveau du pont interzones (rive gauche). On distingue nettement les sinuosités du lit et les variations morphologiques de la BAM ainsi que les accrétions qui commencent à se végétaliser

La singularité SM3 constitue en fait une zone de stockage-régulation du transport solide.



Figure 10 : Pont interzones (1) → Vue amont, note la conduite réduisant la section et favorisant l'embâchage, (2) → Vue aval, le seuil parafouille et ses coursiers sont visibles. La section se trouve rétréci notablement (- 52 % en 90 m) par la présence du pont qui a un appui en lit

L'impact du pont interzones (SM4) est important sur le transport solide, il constitue un goulet d'étranglement de la section d'écoulement dans une zone déjà perturbée par la singularité précédente (SM3, cf. Figure 9). La rive droite présente une érosion et des dépôts quasi-systématiques lors des crues morphogènes en amont proche du pont avec des dépôts importants en post-crue.



Figure 11 : Pont interzones, (1) lors de la crue de 2012, montrant les débordements et la zone d'érosion et de dépôt ; (2) En 2019, vue des stigmates des crues protégées par un masque rocheux

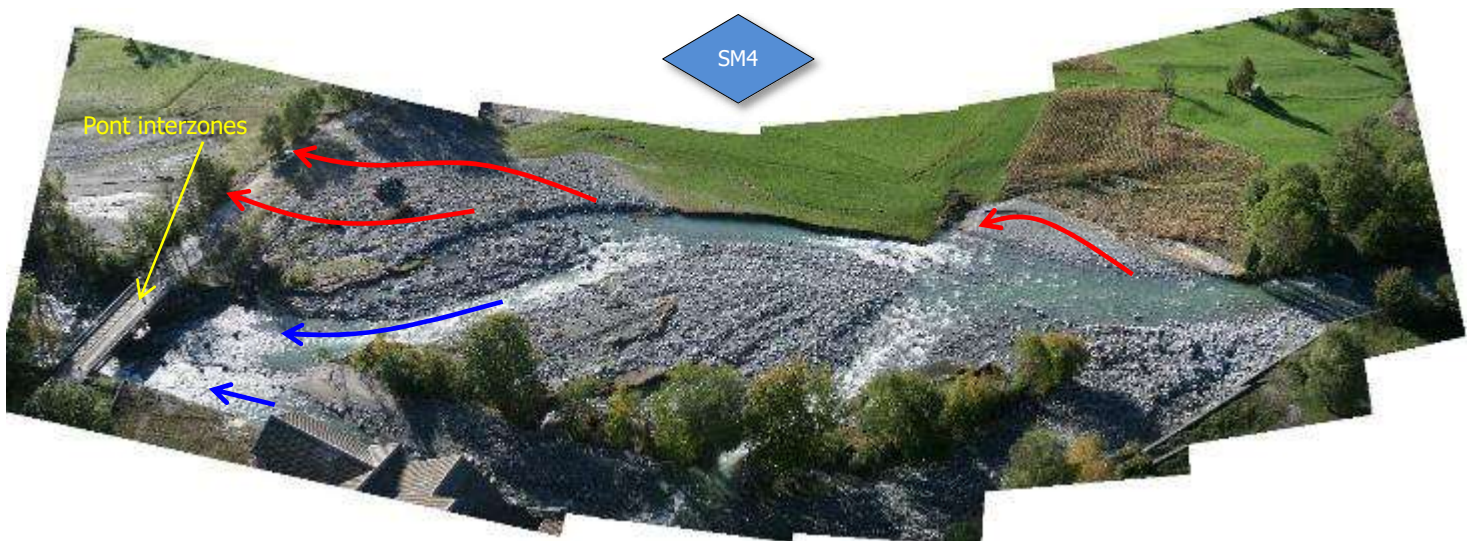


Figure 12 : Pont interzones en post-crue 2012, on note les zones d'accrétion et d'érosion en amont rive droite du pont

En aval du pont, le lit subit encore des variations de section relativement importantes.

Il est corseté par un enrochement en rive gauche protégeant l'usine de Ferropem et la section d'écoulement passe de 15 m à 37 m (augmentation de 147 % en seulement 120 m). Les accrétions sont importantes dans ce tronçon et sont favorisées par la morphologie du lit (pente *versus* largeur).

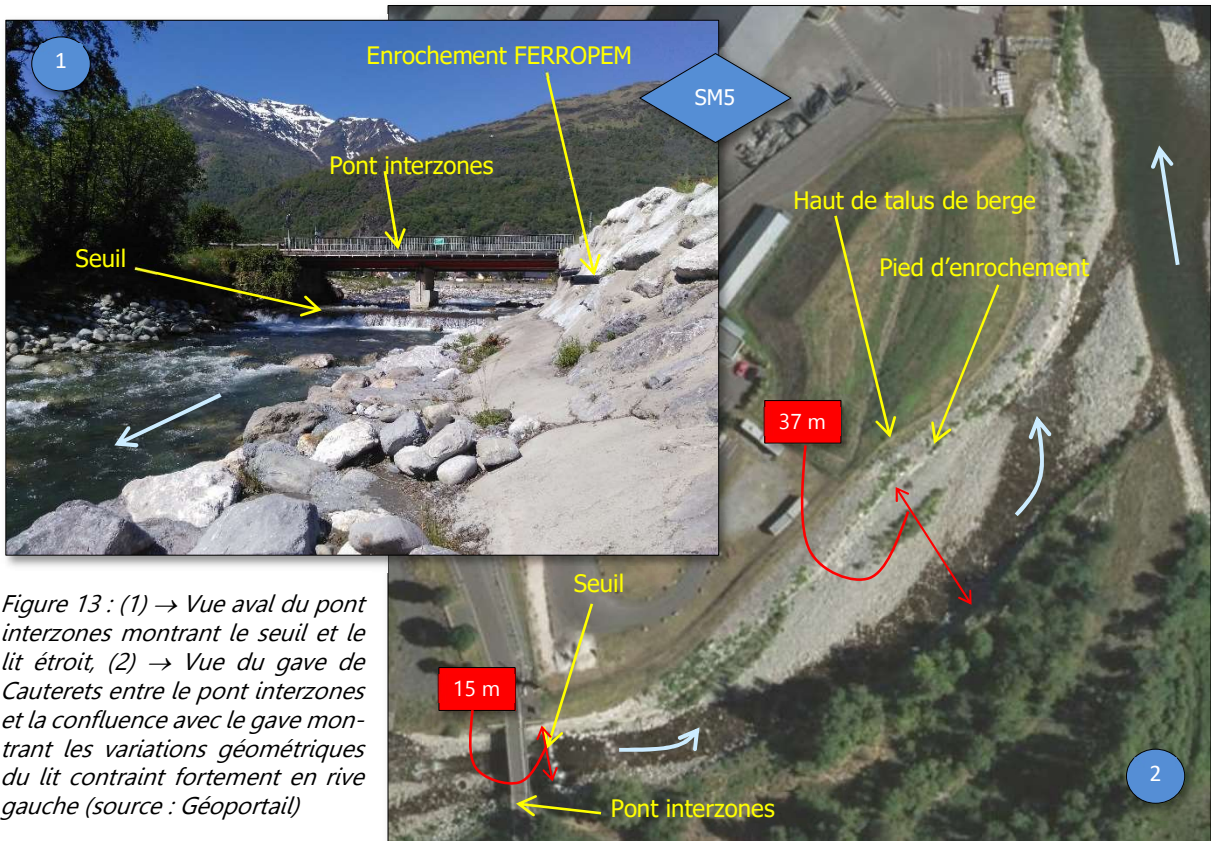


Figure 13 : (1) → Vue aval du pont interzones montrant le seuil et le lit étroit, (2) → Vue du gave de Cauterets entre le pont interzones et la confluence avec le gave montrant les variations géométriques du lit contraint fortement en rive gauche (source : Géoportail)



Figure 14 : Vue de la partie élargie en aval du pont interzones. Le lit est corseté en rive gauche et les berges sont érodées en rive droite. Les accrétions sont importantes.

2.4. DES SEUILS ET DES BARRETTES STABILISENT ET CONTROLENT PARTIELLEMENT LE PROFIL EN LONG

Le profil en long est plus ou moins stabilisé et contrôlé par des seuils, des seuils de fonds et des barrettes d'enrochement. Ces ouvrages ont été créés ou repris après la crue de 2013.

La plupart de ces seuils n'ont pas d'usage autre que le contrôle vertical du lit, sauf le seuil Berté dédié à l'hydroélectricité. Ces seuils sont présentés dans le tableau suivant :


PRINCIPAUX OUVRAGES TRANSVERSAUX				
Type	Nom/code	Usage	Localisation	Observations
Seuil	Berty	Hydroélectricité	Amont zone	
Barrette	B1	Stabilisation du profil en long	Entre le pont de Soulom et l'apex	Enrochement bétonné
Barrette	B2			Enrochement bétonné
Barrette	B3			Enrochement bétonné
Seuil de fond	SA			
Barrette	B4			Enrochement bétonné
Seuil de fond	SB			
Barrette	B5			Enrochement bétonné
Seuil de fond	SC			
Barrette	B6			Enrochement bétonné
Seuil de fond	SD			
Barrette	B7			Enrochement bétonné
Barrette	B8			Enrochement bétonné
Seuil de fond	SE			
Seuil de fond	SF			
Seuil de fond	SG			
Seuil	SH	Stabilisation du profil en long	Entre apex et pont interzones	
Seuil	SI			
Seuil parafouille pont interzones	Pont inter-zones		Pont interzones	Enrochement bétonné

Tableau 2 : Principaux ouvrages transversaux

3. ACCOMPAGNER LA MORPHOLOGIE DU LIT

3.1. LA PERFORMANCE HYDROMORPHOLOGIQUE DU LIT

3.1.1. Notion de performance hydromorphologique

La notion de **performance hydromorphologique** est importante pour comprendre l'évolution d'un cours d'eau (anthropisé ou non) et positionner ainsi les points nodaux à entretenir pour conserver à notre système d'endiguement sa **performance hydraulique**  (c'est-à-dire sa capacité de passage des écoulements liquides et solides avant débordement et inondation).

Définition de la performance hydromorphologique du lit d'un cours d'eau

La **performance hydromorphologique** du lit d'un cours d'eau est sa capacité à faire transiter les écoulements liquides et solides, particulièrement lors des crues. Cette performance hydromorphologique est liée :

(1) → Au lit *stricto-sensu* défini par ses points de contrôle latéraux, verticaux et longitudinaux à un instant t , c'est-à-dire le profil en long et la topographie des berges (caractérisée par les pieds et hauts de berges (naturelles ou corsetées)),

(2) → Aux macroformes liées aux crues et au transport (i) solide par charriage et en suspension dans la colonne d'eau et (ii) aux flottants amenés par les crues (bois, déchets) et aux chenaux qu'elles délimitent. Ainsi en récession de crues les matériaux transitant sont déposés en lit pendant que le ou les chenaux fonctionnels pour les écoulements en basses-eaux se fixent.

La performance hydromorphologique d'un cours d'eau évolue au gré des crues. Deux patrons d'évolution sont ainsi possibles, ces patrons sont liés au niveau de **liberté** ou *a contrario* de **contrainte** du lit (berges et lit), particulièrement par corsetage et/ou compartimentage. L'incision des lits fluviaux liés aux forçages anthropique et climatique vient également impacter ces patrons d'évolution.


La plupart des cours d'eau ont ainsi une capacité de résilience hydromorphologique propre. Brookes (1988) fixe un seuil de puissance spécifique de 25 w/m^2 au-dessous duquel la capacité d'ajustement et donc de résilience est limitée et indique qu'au-dessus de 35 w/m^2 la puissance spécifique permet des réajustements importants.

Définition de la résilience hydromorphologique du lit d'un cours d'eau

La **résilience hydromorphologique** du lit d'un cours d'eau est sa capacité à faire évoluer sa performance hydromorphologique pour adapter sa morphologie aux différentes crues morphogènes qu'il subit.

Cette adaptation se fait partiellement lors de la crue, mais le lit continue à s'adapter en post-crue pendant une période plus ou moins longue : la période de **relaxation** (au sens de Wolman & Gerson, 1978).

Pendant cette phase d'homéostasie, un processus de purge des matériaux alluvionnaires remaniés pendant la crue se met notamment en place, complété par une végétalisation d'une partie des matériaux, définissant ainsi la bande active. Celle-ci, lors d'intercrues prolongées à tendance à se rétracter par végétalisation.

Les deux **patrons géomorphologiques**  (au sens de Dufour, 2005) d'évolution de la performance hydrologique dans un contexte de résilience hydromorphologique se définissent suivant le niveau de

liberté (latérale, verticale et longitudinale) ou de contrainte (latérale, verticale et longitudinale) du lit. Ces deux patrons sont les suivants :

(1) → **Patron libre.** Lorsque que le lit et les berges sont peu ou pas anthropisés, la performance hydromorphologique est contrôlée par les processus de sédimentation et d'érosion et donc d'évolution verticale (en altitude) et latérale (en plan) du lit et plus globalement longitudinale. Le lit s'auto-régule (plus ou moins bien suivant la nature des crues et leur morphogénie et leur répétitivité) en réajustant la géométrie de son lit obtenue en post-crue pendant la période de relaxation.

(2) → **Patron contraint.** Lorsque le lit est corseté et/ou compartimenté, c'est-à-dire fortement anthropisé, sa mobilité (respiration latérale et/ou verticale) est contrainte et ses capacités de régulation sont limitées. Les accrétions en lit comme les incisions ont donc généralement un impact plus important car les réajustements induits par les crues morphogènes ont du mal à s'intégrer dans la dynamique du fait des contraintes. Cela peut conduire à la ruine des points durs contraignants, à un risque d'avulsion etc... Il est à noter qu'un lit incisé même peu contraint aura une liberté limitée et fonctionnera plutôt comme un lit contraint.

L'avulsion dirigée temporaire qui est utilisée actuellement dans le système d'ouvrages d'endiguement avec le masque rocheux qui s'efface en aval rive droite de l'apex permet de limiter les contraintes sur une partie du système d'endiguement (aval de l'apex). Cet effacement fait basculer le lit de la BAM vers la BAM, et redonne ainsi une certaine liberté en aval de l'apex tout en protégeant les ouvrages de rive gauche et limitant ainsi le risque de débordement. C'est un système de « suppression momentanée d'une contrainte », utilisant la morphologie du lit mineur et majeur.

Nota-Bene : La performance hydromorphologique du lit d'un cours d'eau varie dans le temps généralement en diminuant, particulièrement pour les cours d'eau contraints. Sans surveillance et entretien voire intervention(s), le niveau de performance de l'ouvrage peut fortement diminuer jusqu'à un seuil critique. Suivant le type d'ouvrage, les éléments de surveillance, d'entretien et d'interventions devront être précis et adaptés.

En particulier un accompagnement dynamique des points nodaux limitant l'efficacité du système d'endiguement devra ainsi être mis en œuvre.

L'objectif des opérations de contrôle, d'entretien et éventuellement de réparation est de **conserver un niveau de performance hydromorphologique suffisant et d'accompagner le cycle de vie** (cf. *infra*) du lit.

3.1.2. [Notion de cycle de vie](#)

On associe aux notions de performance et de résilience hydromorphologiques le concept de **cycle de vie**. Ce **cycle de vie** lié aux crues morphogènes et aux intercrues va ainsi définir des **séquences temporelles de vie** du cours d'eau (crue morphogène → intercrue → crue morphogène) et des **séquences temporelles de surveillance, de contrôle et d'entretien de la morphologie du lit**.

Le cycle de vie adaptée au gave de Caunterets :

Le cycle de vie est particulier du fait des contraintes du lit et des berges. Les crues peuvent ainsi avoir deux types d'impact sur la morphologie du lit :

(1) → **Si les écoulements restent dans la BAM :** la performance hydromorphologique pourra être affectée par des évolutions du profil en long (incision, exhaussement) et des accrétions définissant les chenaux et/ou se bloquant dans des points nodaux (atterrissements, embâcles).

(2) → **Si la BAM est activée :** la performance hydromorphologique pourra être affectée par des évolutions du profil en long (incision, exhaussement) et des accrétions définissant les chenaux et/ou se bloquant dans des points nodaux (atterrissements, embâcles), mais il faudra également façonner le lit pour le remettre le lit dans la BAM et refaire le masque rocheux (cf. Figure 15).

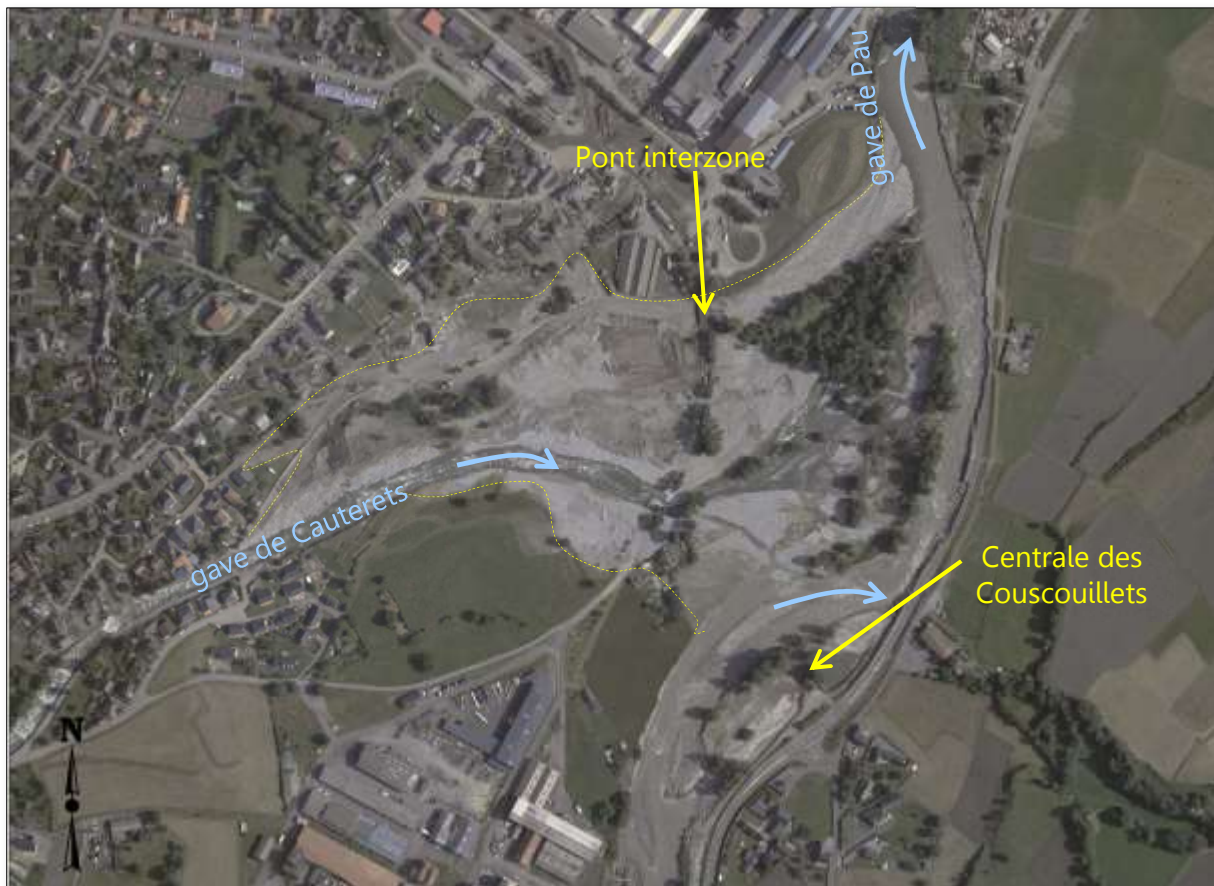


Figure 15 : La partie distale du cône du gave de Cauterets en post-crué 2013, la BAM a été empruntée par le lit principal, il a été remis dans la BAM dans le cadre des travaux post-crué

Ainsi un véritable **entretien dynamique** (ou **accompagnement dynamique**) devra être mis en place pour conserver la performance hydromorphologique du lit associé au système d'endiguement en accompagnant ce cycle de vie.

3.1.3. Notion d'intercrué

La notion d'**intercrué** est un élément primordial dans la compréhension des processus d'évolution du lit d'un cours d'eau. C'est également un temps de gestion important souvent négligé.

Lors des intercrués et en particulier des intercrués prolongées, la végétation va se développer et fixer ainsi les alluvions mobilisées lors de la crue précédente et va ainsi participer activement à la relaxation.

Cette végétation pionnière (salicacées...) va limiter rapidement la mobilité des matériaux et contribuer ainsi à la rétraction des bandes actives à l'échelle de quelques décennies, permettant ensuite la constitution d'une strate arborée fixante bordant la bande active résiduelle.

L'échelle temporelle est importante. Par exemple dans la plaine d'Adast, la crue de 1937 a défini une bande active sur le gave de Pau qui s'est rétractée petit à petit pour être réactivée en 2012/2013 malgré des crues morphogènes entre ces deux dates.

La situation du gave de Cauterets est toutefois différente puisque le lit est fortement contraint sur le cône de déjection

Il est donc important lors des intercrués (et en particulier lors des intercrués prolongées) d'éviter notamment la fixation des matériaux. Il s'agit alors de **préparer le lit à la crue suivante**.

La notion d'intercruie adaptée au gave de Cauterets dans la zone d'étude :

La notion d'intercruie est particulière également du fait des contraintes du lit et des berges. L'intercruie va ainsi contribuer à favoriser le développement de la végétation alluvionnaire et à fixer les structures alluvionnaires déposées lors de la crue précédente et les rendre plus difficilement mobilisables lors de la crue suivante.

De plus, lors des montées d'eau (crues peu morphogènes) des petits ajustements peuvent avoir lieu (engraissement de structure) ou des embâcles divers (arbres, déchets) peuvent s'échouer sur les structures alluvionnaires. Ces éléments vont ainsi diminuer la performance hydromorphologique du lit et pourraient ainsi impacter le système d'endiguement.

3.2. SINGULARITES ET POINTS NODAUX DE LA MORPHOLOGIE DU LIT

Pour définir une stratégie de surveillance et de contrôle de la morphologie du lit il est essentiel de connaître les processus d'évolution des singularités hydromorphologiques contrôlant l'évolution dynamique du lit.

En effet, au niveau de ces singularités morphologiques, lors du cycle de vie du lit, la performance et la résilience hydromorphologiques du lit peuvent être impactées du fait d'un élément survenu soudainement lors d'une crue morphogène ou insidieusement lors d'une intercruie prolongée.

Dans certaines singularités un point clairement identifiable est générateur des évolutions de la morphologie, dans ce cas il est identifié comme **point nodal** de la singularité (par exemple : un seuil).

Le présent chapitre vise à déterminer les principales singularités morphologiques et leurs points nodaux sur la zone étudiée. Il définit également les éléments à surveiller et contrôler. Ces éléments sont présentés dans le tableau ci-dessous :

SINGULARITES MORPHOLOGIQUES ET POINTS NODAUX			
Singularités	Point nodal associé	Code	Impact susceptible d'affecter performance et résilience
SM1 – seuil Berty	Seuil	PN1.1	Engraissement atterrissement n° 11 (cf. Figure 16 ; Figure 17) peignage d'embâcles et embâclage du seuil
SM2 – aval pont Soulom Stockage-régulation	Elargissement	PN2.1	Engraissement atterrissement n° 10, peignage d'embâcles (cf. Figure 18)
	Rétrécissement/désaxement	PN2.2	Fin de SM2, embâclage du lit (cf. Figure 18)
SM3 – aval apex → pont BAm	Elargissement	PN3.1	Engraissement atterrissements n° 9 à 4, peignage d'embâcles (cf. Figure 18)
	Rétrécissement	PN3.2	
	Elargissement	PN3.4	
SM4 pont inter-zones	Rétrécissement section	PN4.1	Embâclage du pont (cf. Figure 20)
	Seuil	PN4.2	Embâclage du seuil (cf. Figure 20)
SM5 partie distale	Elargissement	PN5.1	Engraissement atterrissements n° 3 à 2, peignage d'embâcles (cf. Figure 21)
	Confluence	PN5.2	Engraissement de l'atterrissement aval, peignage d'embâcles (cf. Figure 21)

Tableau 3 : Singularités géomorphologiques et points nodaux

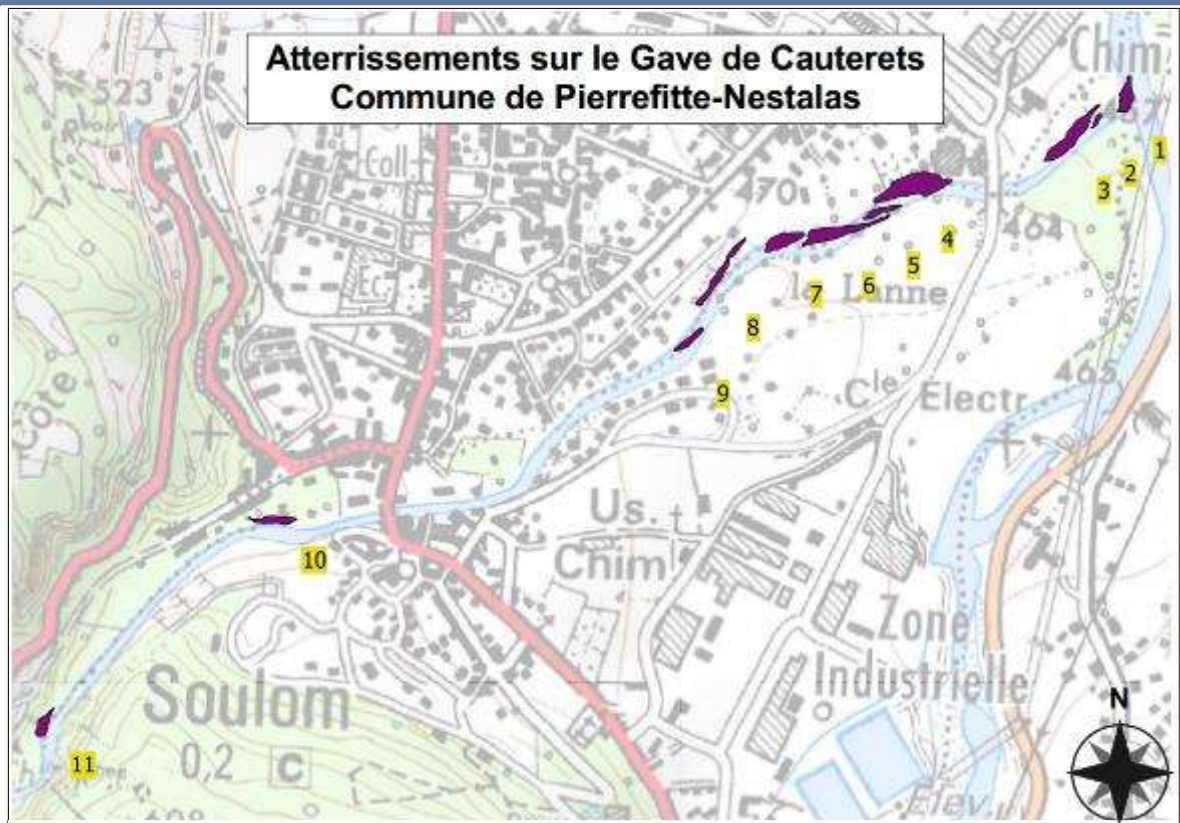


Figure 16 : Cartographie des atterrissements relevés en 2019 (rappel)

Le tableau ci-dessous complète la carte en donnant les volumes d'atterrissements ainsi que leur morphogénèse :

PRINCIPALES STRUCTURES ALLUVIONNAIRES DU SECTEUR ETUDIÉ			
Localisation	Volume	Morphogénèse	Fixation
Amont seuil Berty	300 m ³	Perte de charge liée au seuil	Non végétalisée
Amont pont RD 921	320 m ³	Perte de charge liée à la pente et à la contraction du lit	Non végétalisée
Entre le pont de Soulom et le pont Interzone	3 800 m ³	Perte de charge liée à l'ouverture et à la pente, ainsi qu'à l'influence du pont interzone	Début de végétalisation
En aval du pont interzone	1 500 m ³	Partie aval du cône, sinuosité et plurichenalisation	Début de végétalisation
TOTAL	5 920 m³		

Tableau 4 : Volume des structures alluvionnaires de la zone d'étude (rappel)

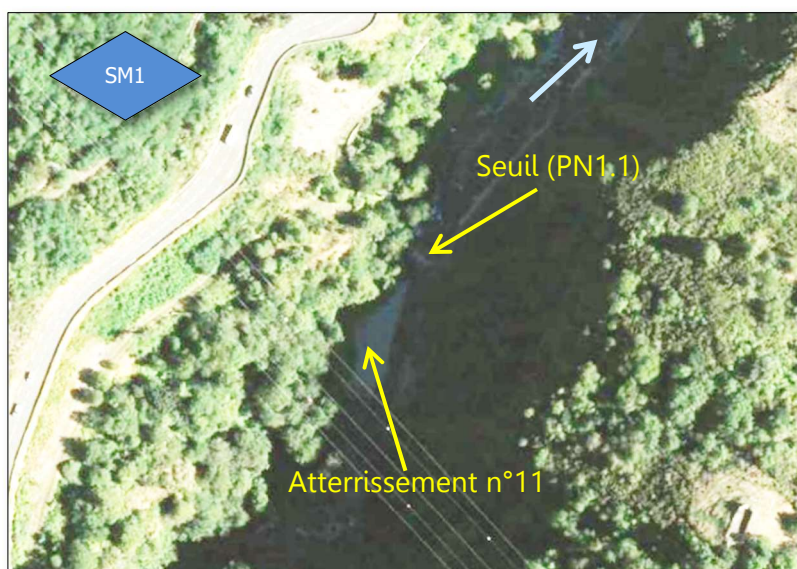


Figure 17 : SM1 et PN1.1, la photo retraitée est de mauvaise qualité à cause de l'ombre (source : Géoportail)

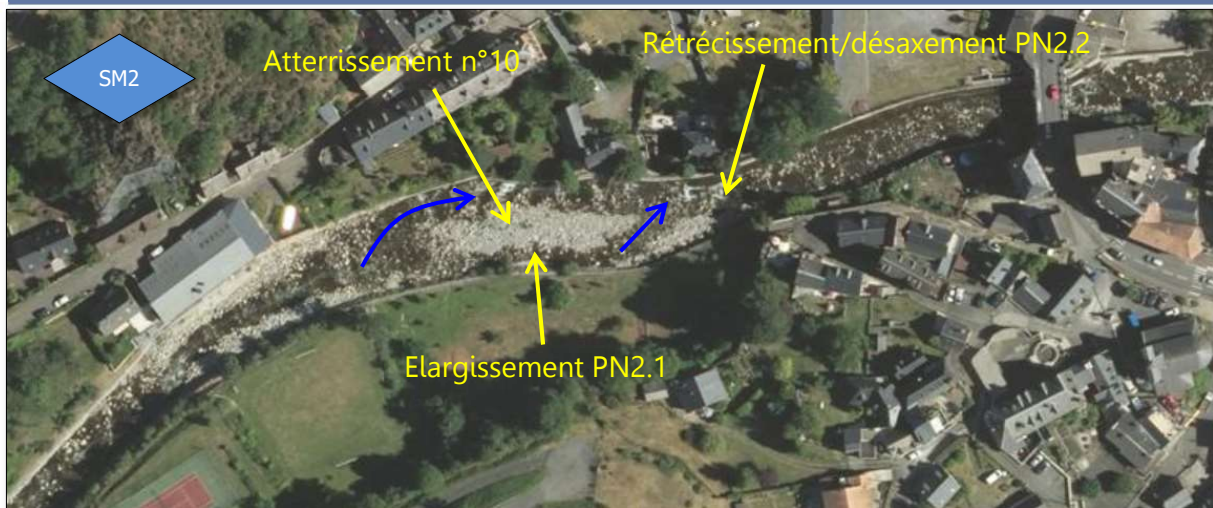


Figure 18 : SM2 et points nodaux associés (source Géoportail)

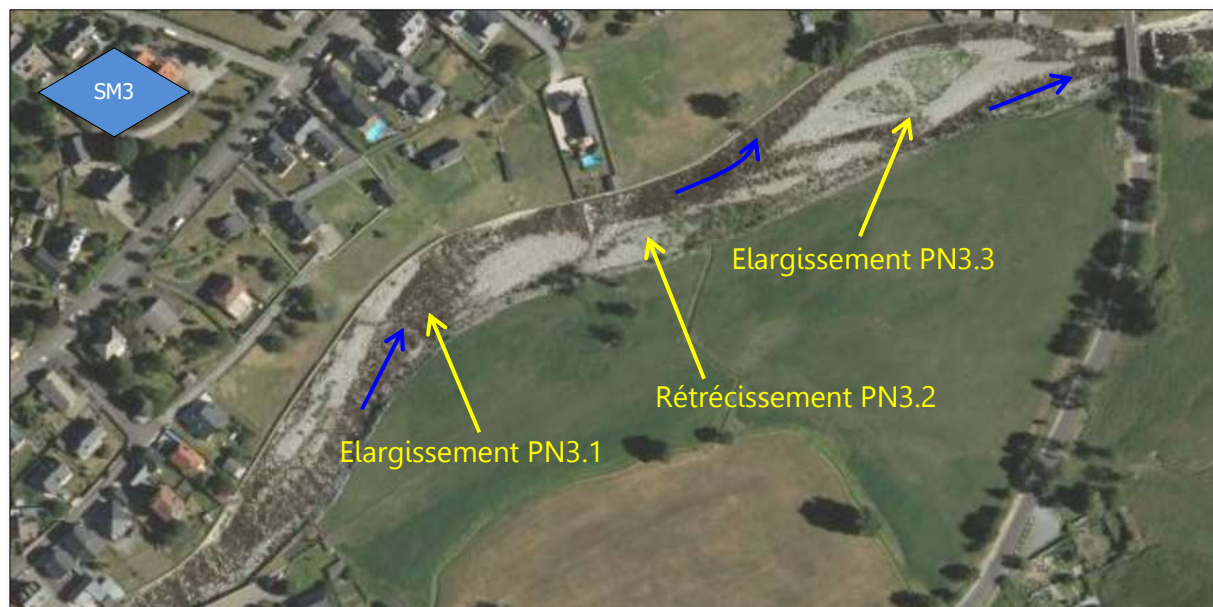


Figure 19 : SM3 et points nodaux associés (source : Géoportail)

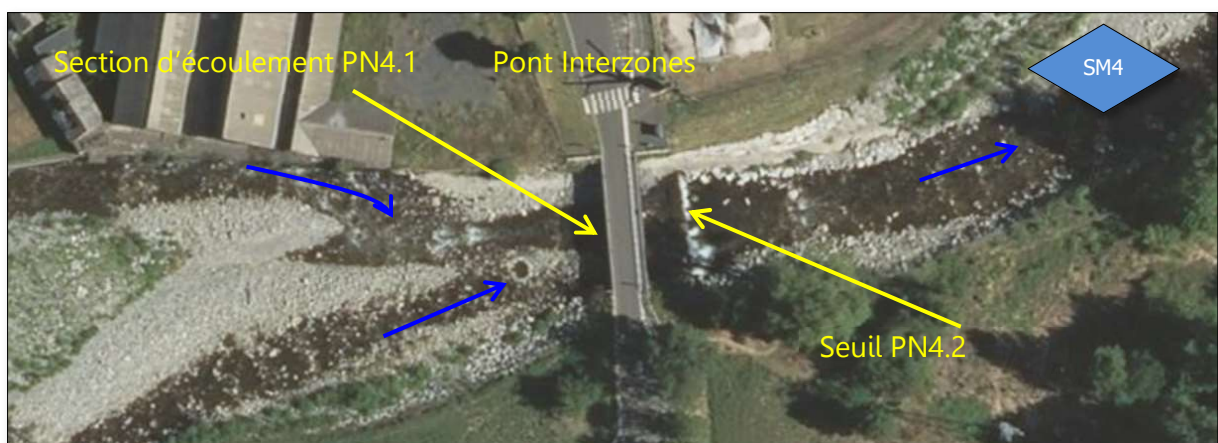


Figure 20 : SM4 et ses points nodaux associés (source : Géoportail)

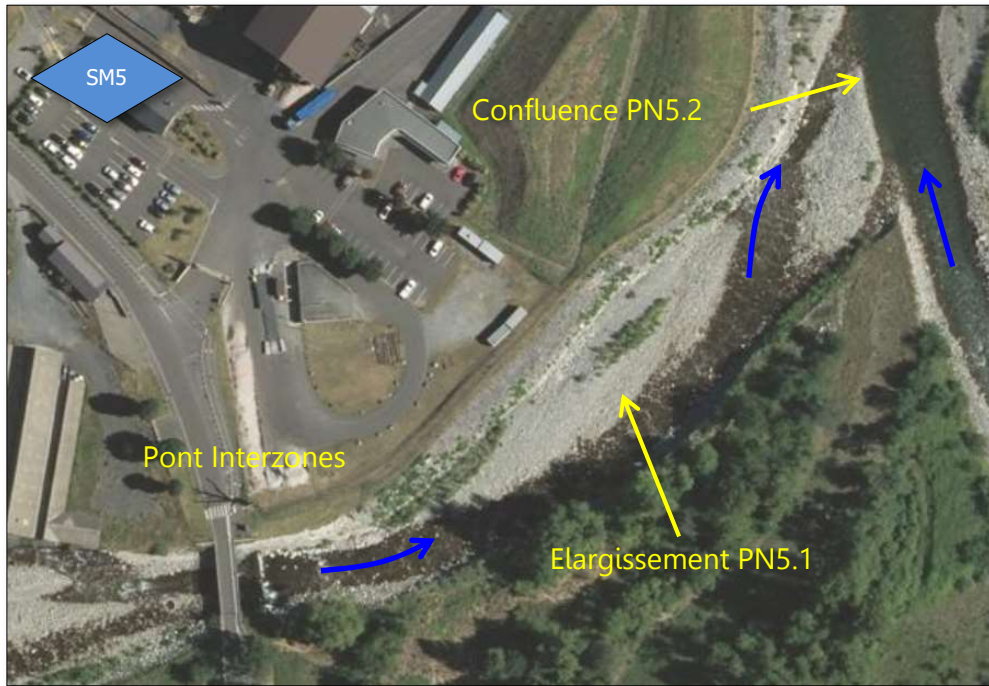


Figure 21 : SM5 et points nodaux associés (source Géoportail)

4. MODALITES DE SUIVI DYNAMIQUE DE LA MORPHOLOGIE DU LIT

L'objectif de la surveillance et du suivi de la morphologie du lit est de conserver la performance hydro-morphologique du lit en l'accompagnant compte-tenu du patron géomorphologique de cette partie du gave de Cauterets qui est un patron contraint (cf. § 3.1.1). De ce fait le gave a une résilience limitée qu'il est donc nécessaire d'accompagner à la fois en post-crué, mais également pendant les intercrues.

Le cône de déjection actuel du gave de Cauterets est un cône résiduel présentant de fortes contraintes, il ne peut plus fonctionner comme un cône libre et c'est d'ailleurs pour cette raison que les travaux de post-crué 2013 ont consisté à le contraindre dans la BAM puis lorsque celle-ci ne peut plus suffire aux écoulements au basculement dans la BAM après effacement du masque rocheux. Cette solution impose de retravailler le lit (BAM et BAM) pour remettre le gave dans la situation d'avant la crué.

Pour atteindre cet objectif de conservation de performance hydromorphologique il est nécessaire de :


(1) → Maintenir **BAM et BAM fonctionnelles**,

(2) → Eviter une baisse de la **performance hydraulique** du système d'endiguement par (i) **exhaussement** du lit rendant inefficace en termes d'évitement des débordements certain(s) ouvrage(s) ou encore (ii) par **incision** menaçant directement l'intégrité structurelle de certain(s) ouvrage(s)

Nous proposons une stratégie de gestion basée sur un **suivi longitudinal morphologique du profil en long et de la section d'écoulement** comprenant trois volets complémentaires et interactifs :

(1) → Le **suivi** et l'**entretien courant** de la **végétation**, concernant le suivi de la végétalisation particulièrement lors des périodes d'intercrué,

(2) → Le **suivi** et l'**entretien courant** des **singularités morphologiques** et des **points nodaux**, lors des intercrues et crues de forte récurrence à morphogénie réduite, consistant notamment à retirer les embâcles,

(3) → Le **suivi du profil en long** afin de conserver la **stabilité des ouvrages** (fondations et fondations complexes ) face à un risque d'affouillement ou de forte respiration du lit et d'éviter la **perte de performance hydraulique des ouvrages** en cas d'exhaussement du lit qui pourrait ainsi limiter voire effacer les revanches de crué. C'est typiquement le suivi à faire en post-crué morphogènes de manière systématique. Ce suivi doit être engagé pour vérifier (inspections visuelles) que les structures alluvionnaires présentes en lit ne se sont significativement engraisées et/ou que les parties visibles des fondations en soient pas altérées (déstructuration de la partie supérieure de la semelle en lit et/ou apparition de zones affouillées notamment entre les extrémités externes des fondations en lit et le lit *stricto sensu*).

La stratégie de suivi et les interventions en découlant seront différentes si le gave est resté dans la bande active mineure (BAM) ou au contraire s'il a basculé dans la bande active majeure (BAM) après effacement du masque rocheux en rive droite aval de l'apex.

Ces éléments sont synthétisés dans le tableau suivant :

TYPOLOGIE DES SUIVIS A METTRE EN OEUVRE		
Type de suivi	Nature	Fréquence ¹
Suivi/entretien de la végétation	Lutte contre la végétalisation	Annuelle
Suivi/entretien des SM	Lutte contre l'embâcle et la fixation	Bisannuelle
Suivi/entretien du profil en long	Lutte contre la déstabilisation et la limitation des revanches	Post crué

¹Donnée à titre indicatif, sera basée sur une surveillance régulière à préciser en fonction de l'état morphologique du lit

Tableau 5 : Typologie des stratégies de suivi à mettre en œuvre

Point méthodologique – suivi longitudinal et stratégie de gestion :

La stratégie de gestion *via* un suivi longitudinal impose un état de référence ou point-zéro (PZ) à partir duquel on bâtit un suivi, une surveillance et on détermine des actions (le cas échéant) pour maintenir ou revenir à cet état de référence (PZ).

En ce sens la méthode consiste à faire de la résilience assistée car le cours d'eau, en état actuel, dispose d'une capacité de résilience limitée liée à son lit qui est particulièrement corseté et anthropisé. Cette stratégie de résilience assistée a d'ailleurs déjà été engagée dans les premiers travaux post-crué en assistant l'avulsion dirigée de la BAM vers la BAM, afin notamment de protéger les ouvrages du système d'endiguement.

4.1. LE SUIVI LONGITUDINAL DE LA VEGETATION (LIT ET BERGES)

⇒ **Objectifs et données d'entrée :**

L'objectif principal est : éviter la fixation des macroformes alluviales particulièrement dans les singularités morphologiques mais également dans l'ensemble du lit afin d'éviter l'encombrement du lit qui diminuerait la performance hydromorphologique du lit et par ricochet pourrait affecter la performance hydraulique de certains ouvrages.

Les données d'entrée sont : La conformation et l'état du lit

(1) → La localisation des atterrissements

(2) → Leur relation avec les SM et PN (éléments générateurs)

(3) → Le niveau de végétalisation de ces éléments

A partir de ces éléments nous proposons la stratégie de gestion suivante :

- Une **action de démarrage** ayant valeur de point-zéro (PZ)
- Une **surveillance adaptée** aux contraintes de la zone d'étude,
- Des **actions** régulières de **régulation** de la végétation, afin de conserver la mobilité du stock alluvial et d'en limiter l'engraissement.

4.1.1. Le point-zéro (PZ)

Actuellement les atterrissements en lit ont commencé à se végétaliser avec des espèces pionnières (saules, peupliers) ou invasives (buddleia du père David, renouée du Japon...) et nos relevés de terrain datent de 2019.

Ces relevés de terrain montraient un début de végétalisation qui a certainement dû s'aggraver (cf. Figure 22 ; Figure 23).



Figure 22 : Atterrissement n° 6 (cf. Figure 16) en cours de végétalisation. Cette végétation s'est développée sur une zone de dépôts fins type bed patchiness, (1) → strate herbacée et arbustive avec essentiellement des peupliers ; (2) → saules frangeant la structure



Figure 23 : Début de végétalisations visibles sur la photo aérienne (08/2019), source : Géoportail

Afin d'avoir un PZ cohérent avec la démarche, il est donc nécessaire d'effectuer des opérations préalables pour acquérir le point-zéro :

- Faire une reconnaissance visuelle de l'ensemble de la zone pour relever les zones se fixant par végétalisation et les éventuels embâcles piégés (bois, déchets),
- Supprimer la végétation pionnière arbustive (saules, peupliers...) en dessouchant et scarifiant et les invasives (buddleia du père David, renouée du japon...) avec un protocole adapté.

A partir de cette opération le PZ végétation sera alors acquis pour ainsi engager le suivi longitudinal.

4.1.2. Le suivi longitudinal de la végétation adapté aux contraintes de la zone d'étude

Il s'agit d'exercer un suivi longitudinal de la végétation sur la base du PZ qui doit être ainsi maintenu autant que possible (tolérance de quelques départs d'arbustes isolés entre un contrôle et une intervention).

☞ **Attention** : il ne faut pas se restreindre aux atterrissements du lit, le travail concerne le lit et les berges, y compris les berges corsetées (par exemple le masque rocheux ou encore l'enrochement protégé en aval du pont interzones Ferropem).

Les techniques de surveillance dans le cadre du suivi longitudinal de la végétalisation du lit sont détaillées dans le tableau ci-dessous :

SUIVI LONGITUDINAL DE LA VEGETATION DU LIT				
Type	Objectif principal /détail	Parties du lit concernées	Points à contrôler	Suites à donner
Inter-cruée (à minima 1 fois/an)	Contrôle végétation	Lit et berges	Etat de végétalisation, présence d'espèces envahissantes (buddleia, renouée, etc...) Embâcles...	Intervention particulièrement sur végétation arbustive Intervention sur espèces envahissantes Retrait d'embâcles
Tempête venteuse	Contrôle chutes d'arbres et lutte contre l'embâchage	Lit et berges	Présence de chablis en berge ou d'embâcles	Retrait d'embâcles
Inopinée (à chaque intervention de terrain)	Lors d'une intervention (réunion de terrain...) observer pour détecter éventuellement des dysfonctionnements	Lits et berges	Contrôle visuel rapide axé sur la végétation et les embâcles	Intensification du suivi ou intervention si besoin spécifique
Post-cruée	Contrôle général suite à une crue morphogène	Voir notamment au § 4.2		

Tableau 6 : Techniques de surveillance à mettre en œuvre

☞ **Attention** : certains **aléas météorologiques** tels que des **tempêtes venteuses** pourraient générer la chute d'arbres existants sur des protections de berge, voire dans le lit en amont et ainsi favoriser l'embâchage. C'est pourquoi, après de tels aléas météorologiques une phase de contrôle (chute d'arbres/embâcles) sera nécessaire.

4.1.3. Les actions à mener dans le cadre du suivi longitudinal de la végétation

Les actions à mener concernent le traitement de la végétation de sorte que l'on revienne le plus possible à l'état de référence (PZ).

Ces actions sont donc les suivantes :

- **Dévégétaliser les atterrissements** commençant à se fixer avec dessouchage pour assurer la mobilité des matériaux des structures alluvionnaires, si besoin (cimentation ou systèmes racinaires denses) scarifier perpendiculairement au flux afin de favoriser la remobilisation (cf. Figure 24),
- **Dévégétaliser les protections de berge**, en particulier le masque rocheux pour qu'il reste fonctionnel et de manière générale les enrochements de berge (en face du garage Palette, enrochement de Ferropem...) pour éviter à terme la déstructuration éventuelle de certains blocs,
- **Supprimer les embâcles**, de manière générale et particulièrement dans certains secteurs sensibles cf. 4.1.4 ci-dessous.
- **Lutter contre les EVEC** (Espèces Végétales Exotiques Envahissantes) telles que le Buddleia du père David ou la renouée du Japon... avec un protocole adapté.



Figure 24 : Scarification

4.1.4. Focus sur les secteurs sensibles à l'embâclage

Nota-Bene : on parle ici des embâcles de bois dont le noyau original est constitué d'un arbre emporté et échoué en lit susceptible de piéger d'autres éléments et d'obstruer éventuellement le lit. **En aucun cas ces éléments, une fois repérés, ne devront être laissés en lit, ils seront à retirer dans les meilleurs délais.**

Certaines zones sont particulièrement sensibles à l'embâclage et doivent être plus régulièrement suivies (notamment après chaque coup d'eau). Comme indiqué ci-dessus en cas de découverte d'embâcles ceux-ci devront être éliminés sans délai.

☞ **Attention** : Les **embâcles en dehors de ces secteurs sensibles doivent également être retirés** car ils peuvent favoriser l'accrétion de matériaux en lit ou lorsqu'ils sont piégés sur les atterrissements favoriser leur engraissement. Les zones sensibles aux embâcles doivent simplement être contrôlées plus régulièrement du fait de l'effet surmultiplié de leur présence sur les lignes d'eau que le reste de la zone.

Ces secteurs ont été déterminés en croisant les zones à faible revanche (rive droite et/ou rive gauche) par rapport à la ligne d'énergie (pour Q20) et la morphologie du lit (désaxement, rétrécissement...).

Pour la **première zone sensible** (du tennis de Soulom à l'apex, cf. Figure 26), on a lissé les zones intermédiaires d'aléa moyen en classant toute la zone en rouge. En effet celles-ci étaient peu étendues (quelques dizaines de mètres) et les éventuels embâcles auraient pu être déplacés plus en aval vers des zones à aléa fort.

☞ **Attention** : Dans cette première zone sensible, le risque d'embâclage le plus préoccupant est situé **en amont immédiat et sous le pont de Soulom, zone de rétrécissement du lit.**

La **seconde zone sensible à l'embâclage** est le pont interzones (qui devrait être repris d'ici quelques années pour améliorer sa débitance), cf. Figure 25.

Cette zone sensible justifie ainsi le retrait des embâcles éventuels en amont dans la Bam en urgence si ceux-ci étaient nombreux en post-cruie afin que ces embâcles ne viennent pas se piéger au niveau du pont en cas de nouveau coup d'eau.







Figure 25 : Zone sensible à l'embâclage n° 2 en amont du pont interzones

De ces deux zones le **hot spot est le pont de Soulom**, En effet, les arbres en berge dans la zone d'étude sont limités et le risque d'embâclage serait plutôt lié à des arbres venant de l'amont proche de la zone d'étude (amont seuil de Berty) voire éventuellement de l'extrême amont de la zone étudiée.

Le pont interzones, loin de cette zone semble ainsi moins sujet à cet aléas.

Zone sensible à l'embâclage N° 1

Légende	
	Aléa fort
	Aléa moyen
	Aléa faible
	Accès

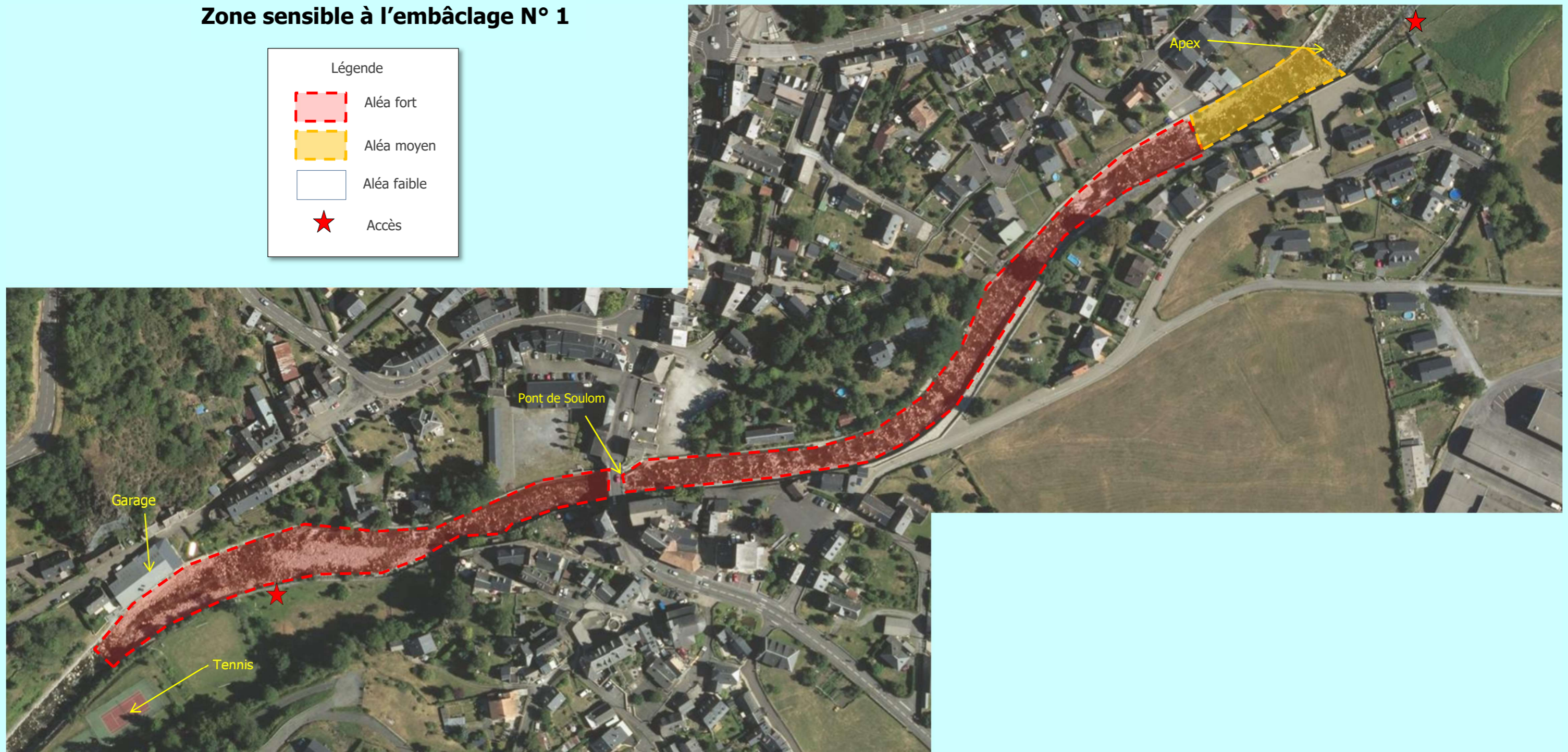


Figure 26 : Zone sensible à l'embâclage n° 1 du tennis de Soulom à l'apex

4.2. LE SUIVI DU PROFIL EN LONG

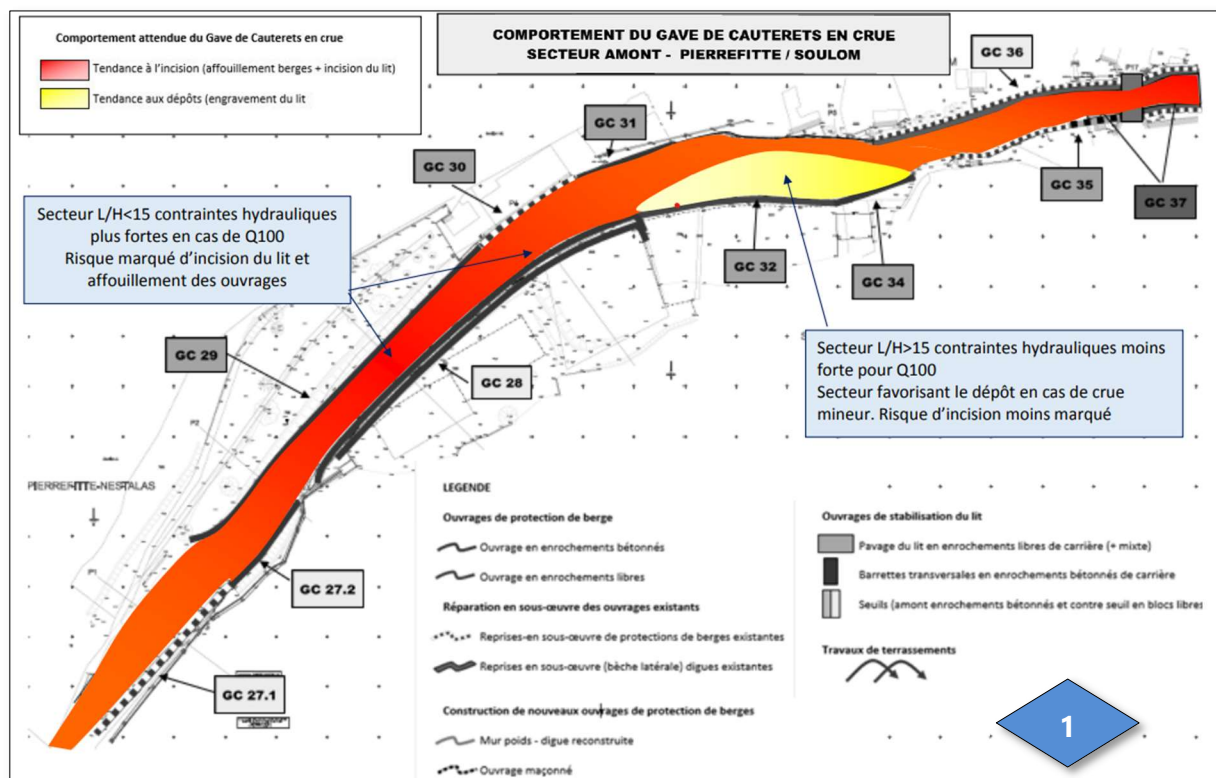
4.2.1. Préalable (rappel) concernant l'incision du lit

En préalable nous rappelons que le lit du gave est sujet à l'incision particulièrement dans certaines zones, comme l'a démontré la crue de 2013.

Un lit sujet à l'incision

Le lit du gave de Cauterets étant sujet à l'incision il convient donc de prendre des précautions particulières dans le cadre du suivi, du contrôle et de l'entretien. En particulier les affouillements découverts en post-crue au droit des ouvrages devront être rapidement comblés (cf. § Erreur ! Source du renvoi introuvable.).

Nous rappelons ci-dessous, notamment à partir du DOE des confortements des berges dans la traversée des communes des Pierrefitte-Nestalas et de Souлом (RTM, 2015) les éléments concernant l'incision et les affouillements corrélatifs à celle-ci.

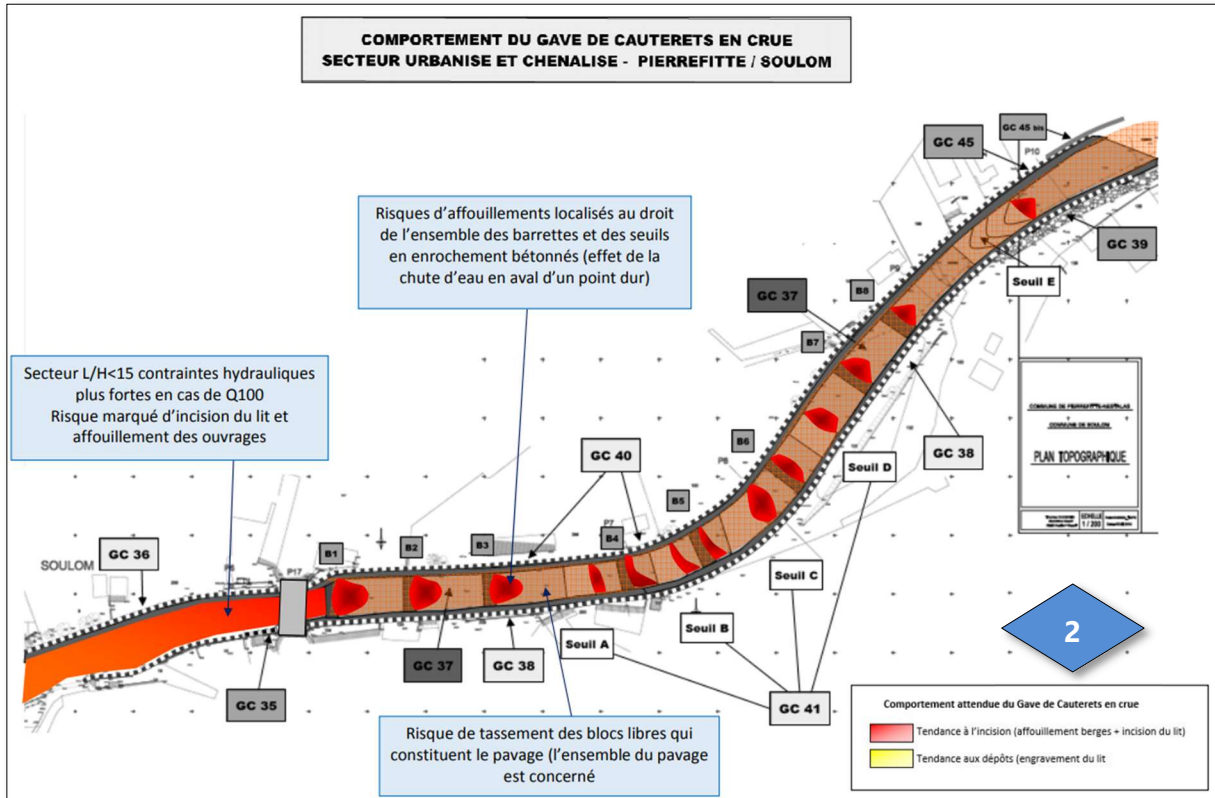


Du seuil de Berty à l'amont du pont de Souлом

Ce tronçon du lit est sujet à une **incision potentiellement importante** et nécessite ainsi une **attention particulière** en termes de visite et de contrôle des fondations des différents ouvrages. Il s'agit ainsi de détecter en post-crue morphogène des affouillements pouvant déstructurer les semelles et sabots de fondation.

L'ouverture de la section et le désaxement du lit avec une contraction de la section favorisent une zone de dépôt (atterrissement n° 10, cf. Figure 16) matérialisée par un atterrissement à granulométrie grossière d'environ 320 m³ (donnée 2019).

Figure 27 : secteurs potentiellement sujets à l'incision entre le seuil Berty et l'amont du pont de Souлом. Source : RTM 65

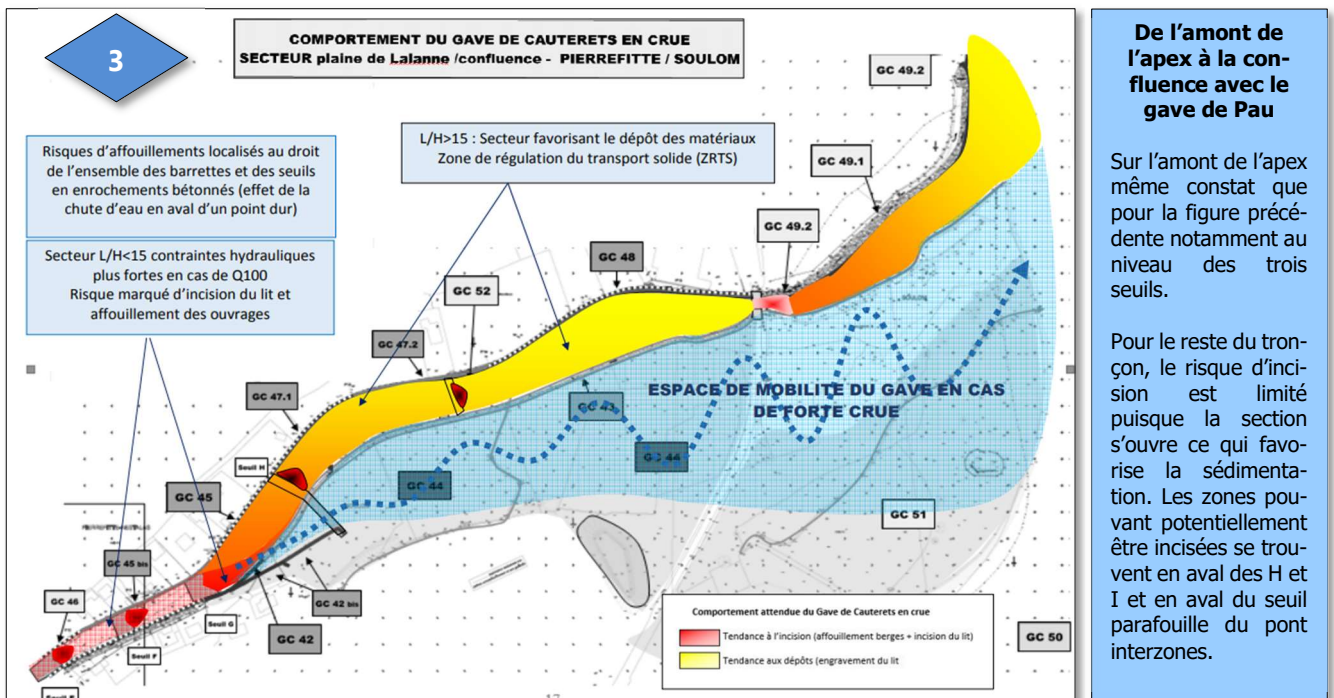


Du pont de Soulom à l'amont de l'apex

L'incision est réduite du fait des aménagements des barrettes en enrochement bétonné dans le lit et des seuils. Ces 8 barrettes et ces 5 seuils de fond peuvent ainsi favoriser des affouillements de la partie libre du lit à leur aval du fait de la différence de rugosité, du ressaut hydraulique engendré lors des crues et de la mobilité des matériaux constitutifs du substrat du lit.

Un contrôle minutieux de ces éléments (structure) et de leur partie aval est à faire en post-crué et une intervention de comblement des affouillements serait à mettre en œuvre en cas d'apparition.

Figure 28 : secteurs potentiellement sujets à l'incision pont de Soulom → amont de l'apex. Source : RTM 65



De l'amont de l'apex à la confluence avec le gave de Pau

Sur l'amont de l'apex même constat que pour la figure précédente notamment au niveau des trois seuils.

Pour le reste du tronçon, le risque d'incision est limité puisque la section s'ouvre ce qui favorise la sédimentation. Les zones pouvant potentiellement être incisées se trouvent en aval des H et I et en aval du seuil parafouille du pont interzones.

Figure 29 : secteurs potentiellement sujets à l'incision entre l'amont de l'apex et la confluence. Source : RTM 65

Les éléments concernant le suivi du profil en long sont détaillés ci-dessous :

⇒ **Objectifs et données d'entrée :**

L'objectif principal est : (1) → de **conserver une morphologie du lit et en particulier du profil en long qui permette les écoulements liquides et solides en crue (résilience hydromorphologique). Protéger les ouvrages du système d'endiguement en maintenant la performance hydromorphologique actuelle du lit, cette dernière permettant de maintenir la performance hydraulique des ouvrages du système d'endiguement (fondations, revanche de crue)**

Les données d'entrée sont : La conformation et l'état du lit

(1) → Le profil en long et les profils en travers utilisés lors de la modélisation, le LiDAR

(2) → L'état des atterrissements en lit et des berges

(3) → Les données concernant les ouvrages (non complètes)

A partir de ces éléments nous proposons la stratégie de gestion suivante :

- Préparer le Point Zéro (PZ) à partir du profil en long de modélisation (bathymétrie 2019), travailler les atterrissements dans la SM3.
- Proposer un suivi longitudinal à partir du PZ
- Faire évoluer le PZ en fonction du *scenario 2*
- Déclencher des interventions d'entretien et de façonnage du lit (*cf. infra*) en fonction de ce suivi longitudinal, des crues morphogènes et de leur fonctionnement (activation ou non de la BAM).

Cette stratégie doit donc intégrer les *scenarii* proposés dans le cadre de la présente étude et doit donc être évolutive :

SCENARII ET AMENAGEMENTS PREVUS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT		
Scenario	Niveau de protection	Travaux à effectuer
1	Décennal	Confortement/reprise des protections de berge en RG aval seuil
2	Vicennal	Confortement/reprise des protections de berge en RG aval seuil Confortement des ouvrages affouillés RG et RD Amélioration de la section hydraulique du pont interzone (PN4.1) Equipement des ouvrages traversants de système anti-retour Reprise des rehausses en bois (GC 38.2 et GC 40.3)
3	Cinquantennale (donné pour mémoire)	Confortement des ouvrages affouillés RG et RD Amélioration de la section hydraulique du pont interzone (PN4.1) Equipement des ouvrages traversants de système anti-retour Reprise des rehausses en bois (GC 38.2 et GC 40.3) Rehausse ponctuelle de certaines digues Protection anti-affouillement en pied (coté zone protégée)

Tableau 7 : *scenarii et aménagements des ouvrages du système d'endiguement prévus (rappel)*

4.2.2. La préparation du point-zéro (PZ)

Le PZ sera constitué de la morphologie du lit et des berges (profil en long – sections d'écoulements – chenaux d'étiage et de basses-eaux, structures alluvionnaires dévégétalisées et donc mobiles) actuelles ayant servi à la détermination des *scenarii*.

Ce PZ (morphologie du lit) est en référence avec (i) une performance hydromorphologique et (ii) une résilience géomorphologique limitée. Afin de garantir la meilleure tenue structurelle et fonctionnelle des ouvrages (état actuel) et des ouvrages futurs (état aménagé suivant les *scenarii*) il va être nécessaire de conserver l'état actuel de la morphologie du lit.

Chaque ouvrage du système d'endiguement (c'est-à-dire ceux permettant de définir la zone protégée) présente deux contraintes majeures face au niveau de protection :

- Une **contrainte structurelle** liée à sa fondation. En effet celle-ci pourrait être affouillée particulièrement lors d'une crue morphogène et contribuer ainsi à ruiner partiellement ou totalement l'ouvrage considéré.
- Une **contrainte fonctionnelle** lors de la crue liée à sa hauteur en berge. En effet, en cas de dépôt en lit en pied d'ouvrage (atterrissement ou exhaussement du lit plus généralisé) la revanche initiale pourrait être réduite partiellement voire réduite totalement par rapport. Nous rappelons également que nous sommes en parti dans le domaine torrentiel avec un impact fort sur les lignes d'énergie.

C'est pourquoi dans une vision pragmatique et simple, le maintien du lit quasiment en l'état reste une approche intéressante et pragmatique pour limiter les risques structurels (maintien des fondations des ouvrages, d'autant plus qu'elles sont mal connues) et fonctionnels (maintien de la revanche des ouvrages, d'autant plus qu'on est partiellement en torrentiel).

Toutefois, en intégrant les *scenarii* proposés et le calendrier retenu (réalisation du *scenario* 1 rapidement puis d'ici quelques années le *scenario* 2, cf. 4.2.3.3), nous proposons la mise au PZ suivante :

- Traitement des départs de **végétalisation des atterrissements** (cf. § 4.1.3) avec **scarification des zones traitées** (perpendiculairement aux écoulements pour favoriser la remobilisation des matériaux),
- Ecrêtement de l'**armure des atterrissements de la SM3** (cf. Figure 30) qui favorisera la mobilisation des structures alluvionnaires lors de prochaines crues morphogènes, le volume estimé serait d'environ 1 500 m³. Ces matériaux pourraient soit être réinjectés (transfert-réinjection) dans le gave de Pau (point à déterminer éventuellement en aval du lac des gaves pour éviter leur piégeage) ou stockés pour éventuellement être utilisés en recharge en cas d'incision du lit.

Nota-Bene : les alluvions retirées peuvent être stockées temporairement, hors lit majeur en attente d'une valorisation sans procédure ICPE, si la zone de stockage est inférieure à 5 000 m² (arrêté de prescription du 12/12/2004), avec une priorité à l'injection dans le gave de Pau à proximité.



Figure 30 : détail des atterrissements de la singularité SM3

4.2.3. Le suivi longitudinal

Le suivi longitudinal comprendra notamment les éléments suivants :

SUIVI LONGITUDINAL DE LA MORPHOLOGIE DU LIT				
Type de suivi	Où ?	Quand ?	Pourquoi ?	Comment ?
Bathymétrie	Profil en long	Post-crue morphogène	Voir l'évolution du lit (incision/exhaussement) comparaison avec PZ	Bathymétrie
Topographique	SM3 + SM5	Post-crue morphogène	Voir l'évolution volumétrique du stock alluvial mise en place PZ	LiDAR (aire à lever ≈ 3,5 ha)
	SM3 + SM5 + cône	Post-crue morphogène avec BAM activée	Voir les matériaux déposés sur dans la BAM et dans la BAM mise en place PZ	LiDAR (aire à lever ≈ 13 ha)
Transport solide	Atterrissements 10, 9 et 6	Dès que possible	Mieux comprendre la dynamique de transfert des matériaux	Rephotographie, granulométrie

Tableau 8 : Eléments du suivi longitudinal de la morphologie du lit

4.2.3.1. La bathymétrie à mettre en œuvre pour maintenir la performance hydromorphologique du lit et travailler la résilience assistée

Comme mentionné plus haut on peut partir des données bathymétriques existantes.

La mesure post-crue dans le cadre du suivi longitudinal et ses résultats (incision ou stabilité ou exhaussement) seraient à mettre en relation directe avec leurs impacts sur la structure et le fonctionnement des ouvrages pour développer des stratégies de gestion cohérentes et basées sur la réalité de l'évolution des fonds « face aux ouvrages ».

Cette démarche pourrait éventuellement permettre par ouvrage de déterminer des tolérances d'évolution altimétriques du lit en fonction de l'épaisseur de fondation et la revanche en haut d'ouvrage sur la hauteur d'eau correspondant au niveau de protection.

1) Déterminer des côtes minimales et maximales

Ainsi des côtes de fond du lit minimales et maximales en pied d'ouvrage pourraient être déterminées.

On pourrait alors déterminer une stratégie de gestion telle que définie ci-dessous (cf. Tableau 9 ; Figure 31 et Encart 1).

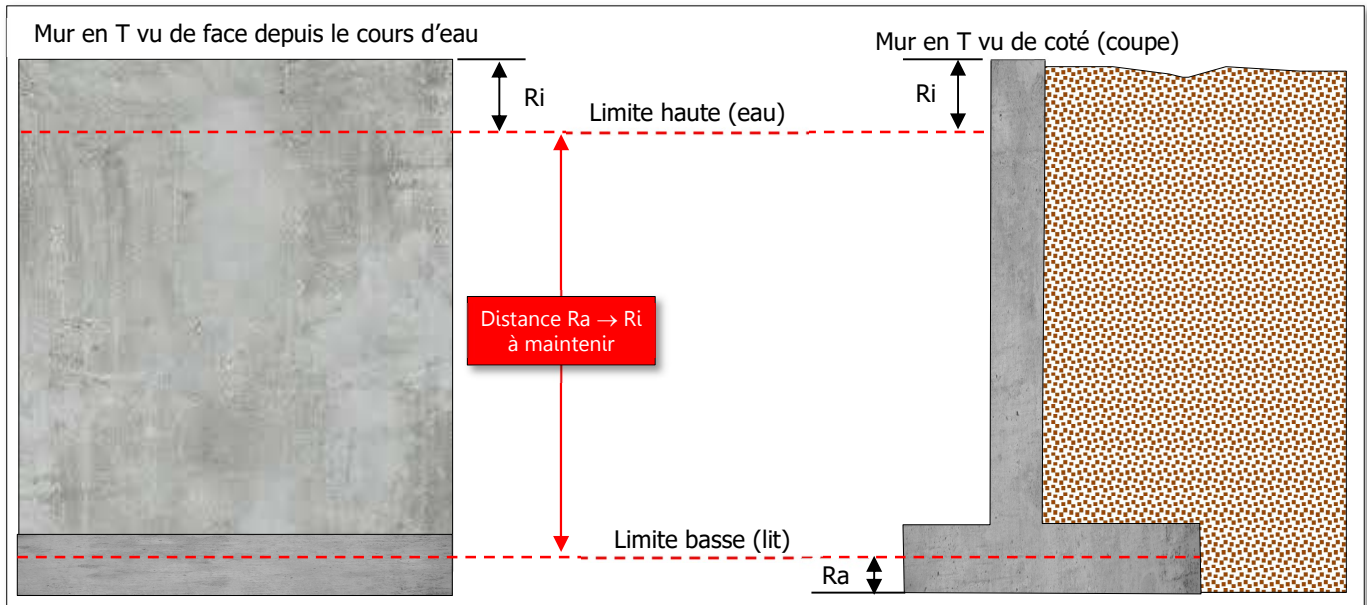
STRATEGIES DE GESTION A DEVELOPPER (SUIVI TOPOGRAPHIQUE)			
Etat post-crue mesuré	Référence	Conditions SNQ (<i>Sine-Qua-Non</i>)	Actions
Exhaussement	Cote maximale atteinte ou dépassée	Revanche suffisante	Dégravement avec transfert-réinjection des matériaux en zone incisée
Incision	Cote minimale atteinte ou dépassée	Connaissance exhaustive de la fondation d'ouvrage	Injection ou réinjection de matériaux voire pavage du lit

Tableau 9 : Stratégie de gestion à développer

☛ **Détermination des côtes** : la cote maximale et minimale doit être déterminée ouvrage par ouvrage en fonction :

- Pour la **côte maximale** (correspondant à un exhaussement du fond du lit) par rapport à la revanche Ri (cf. Figure 31) de l'ouvrage par rapport au niveau de protection de l'ouvrage,
- Pour la **côte minimale** par la fondation de l'ouvrage (correspondant à une incision du fond du lit) par rapport à la revanche Ra (cf. Figure 31) qui correspond à la hauteur de fondation effectivement sous le lit.

Encart 1 : Principe de détermination des côtes maximales et minimales



Approche hydromorphologique de la gestion des ouvrages

On se base sur des côtes obtenues à partir de la bathymétrie de référence (PZ) qui nous sert alors de point-zéro. A partir de cette bathymétrie on obtient deux côtes : (1) la côte maximale du niveau des eaux qui correspond au niveau de protection laissant une revanche R_i (revanche supérieure ou revanche sur l'inondation) et (2) la côte minimale du niveau du lit déterminée à partir de la bathymétrie et/ou à partir de la connaissance du niveau de fondation des ouvrages, laissant une revanche R_a (revanche inférieure ou revanche sur l'affouillement du lit).

En post-crise on compare le niveau du fond du lit :

- (1) → Si le lit s'est exhausé, R_i s'en trouve réduite et il faudra alors dégraver d'autant pour redonner une hauteur de revanche R_i minimale, on retrouvera alors la revanche R_a qui avait augmenté du fait de l'engravement du lit ;
- (2) → Si le lit s'est incisé, c'est R_a qui va se trouver réduite, il faudra alors déplacer des matériaux pour éviter les affouillements en sous-face, le comblement par transfert-réinjection des matériaux ne devra pas diminuer R_i qui sert alors de côte de calage. Le travail doit ainsi être effectué sur le profil en long dans tous les secteurs touchés (exhausés ou incisés)

Figure 31 : Illustration de la gestion hydromorphologique des ouvrages pour un mur en T

a) Détermination de la cote minimale (revanche inférieure R_a)

Difficulté à déterminer la revanche inférieure du fait de la nature complexe des fondations de certains ouvrages

Notre connaissance des fondations des différents ouvrages reste toutefois limitée en termes de géométrie. Ainsi plusieurs ouvrages comportent des fondations complexes composées de deux éléments :

- (1) → Une **fondation d'appui** de la partie de l'ouvrage disposée en talus de berge et protégeant contre l'érosion et les débordements. Cette fondation déborde généralement faiblement en lit et a ainsi un impact limité en cas d'affouillement de ce dernier. Employée seule elle pourrait conduire à la destruction de l'ouvrage voire à sa ruine partielle ou totale,
- (2) → Une **protection parafouille** raboutée à la précédente constituant le système parafouille à proprement parler de l'ouvrage, elle déborde alors largement en lit et peut être constituée de différents matériaux, souvent c'est un enrochement libre. Généralement cette protection parafouille a été rajoutée après la crue de 2013 au vu des effets morphogènes de cette dernière.

Souvent la géométrie de la protection parafouille n'est pas connue ou est partiellement connue, sans cette géométrie il est impossible de déterminer la revanche inférieure (R_a)

Nota-Bene : La protection para fouille (sabot en débord) de certains ouvrages a été emportée lors d'une crue morphogène, il serait judicieux de reconstituer ces protections para fouille.

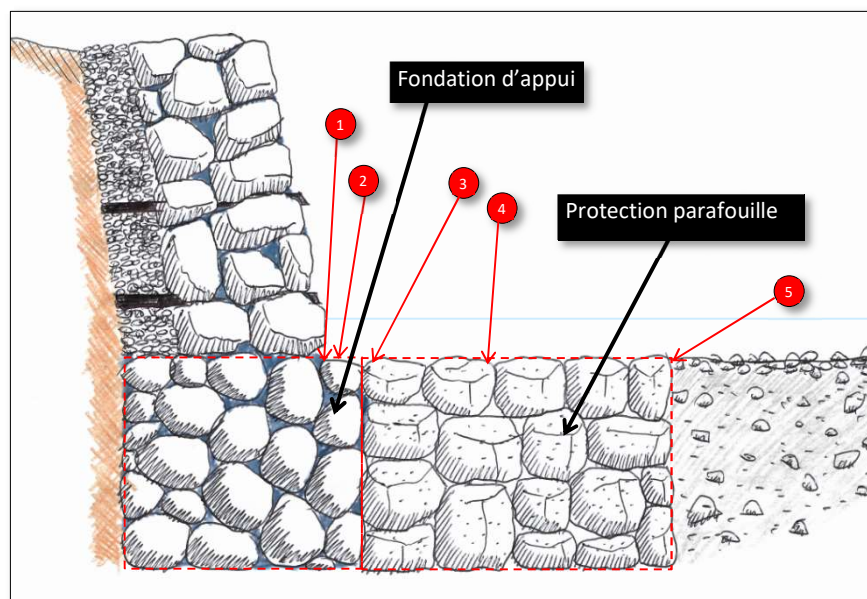
Un ouvrage de protection de berge et/ou de protection contre les inondations est constitué de deux éléments essentiels, complémentaires et interactifs :

- Un **élément d'ouvrage en berge**, protégeant de l'érosion de la berge et/ou contre l'inondation coté val, c'est ainsi un **système anti-érosion** et/ou **anti-débordement**,
- Un **élément d'ouvrage en lit**, servant de fondation à l'élément précédent et protégeant également le lit de l'affouillement, c'est un **système anti-affouillement**.

Ces deux éléments d'ouvrage sont généralement complétés par une **couche de transition** entre le TN et l'ouvrage servant de **filtre** (géotextile, couche drainante et/ou anti-poinçonnement) ainsi que des **bêches** amont et aval pour éviter contournement de tête et érosion en aval de la protection.

Ainsi, une fondation complexe composée de deux éléments en lit (fondation d'appui et protection para fouille) impose de connaître la géométrie des deux éléments de fondations d'un ouvrage pour gérer correctement la cote minimale du profil en long au droit de cet ouvrage.

En effet, l'objectif de la protection para fouille est d'éviter l'affouillement en pied d'ouvrage. Elle n'empêche pas ce processus géomorphologique, généralement elle a pour effet de le reporter du pied de l'ouvrage au bord de sa partie externe (coté rivière). Il est donc absolument impératif de connaître précisément la géométrie de la protection para fouille et en particulier son épaisseur en lit, afin de déterminer Ra (cf. Figure 32 ; Figure 33).



Les points de faiblesse d'une fondation complexe

- (1) → La liaison avec le système anti-érosion et/ou anti-débordement en berge
- (2) → La fondation d'appui en tant que telle dont la partie supérieure peut être déstabilisée voire déstructurée lorsqu'elle est débordante en lit
- (3) La liaison entre fondation d'appui et protection para fouille
- (4) → La protection para fouille en tant que telle dont la partie supérieure peut être déstabilisée voire déstructurée.
- (5) **La liaison entre la protection para fouille et le lit qui constitue un des points de faiblesse majeur qui peut conduire rapidement à une ruine de la fondation. Elle reporte le risque d'affouillement jusqu'à sa bordure externe coté rivière, c'est donc un fusible.**

Figure 32 : Les points de faiblesse d'une fondation complexe

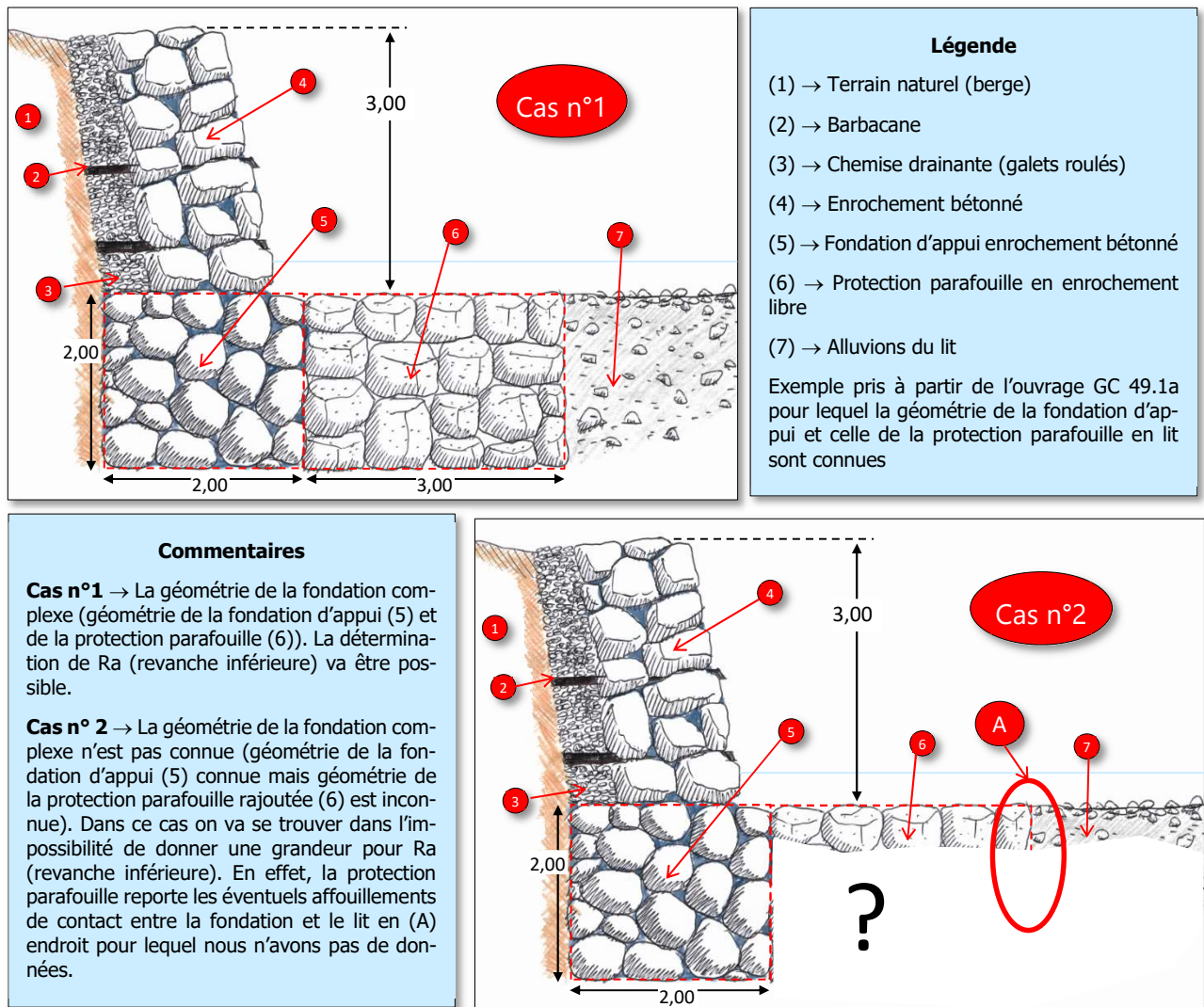


Figure 33 : Possibilité ou impossibilité de déterminer le revanche inférieure Ra

Les protections para fouilles en lit

Les protections para fouilles en débord (c'est-à-dire débordant plus ou moins largement en lit) sont intégrées au lit en remplacement des matériaux originels (couche superficielle grossière protégeant une couche interne moins grossière et beaucoup plus hétérométrique). Les matériaux les constituant sont bien plus grossiers que ceux du lit et peuvent également être liés entre eux avec du béton.

Ces fondations qui sont des systèmes anti-affouillement (SAA) ont une **triple fonction** :

- (1) → **Déporter le risque d'affouillement** du pied d'ouvrage vers le centre du lit, et protéger ainsi la fondation *stricto sensu* de l'ouvrage,
- (2) → **Résister pendant la crue à la respiration du lit,**
- (3) → **Résister à un affouillement plus ou moins généralisé du lit** (création d'une mouille à proximité de l'ouvrage, incision du lit...).

Dans le gawe de Cauterets, compte tenu du contexte hydromorphologique (respiration, incision, forte mobilité du lit...), les fondations complexes sont largement utilisées mettant ainsi en œuvre une fondation d'appui éventuellement plus ou moins débordante combinée avec une protection para fouille avançant largement en lit (souvent de plusieurs mètres).

☞ La protection parafouille constitue ainsi une **protection-fusible** qui peut s'effacer en protégeant la fondation d'appui. **Elle doit bien évidemment être reconstruite en post-crué s'i elle a été partiellement ou totalement endommagée.**

D'ailleurs plusieurs ouvrages parafouille en débord en lit ont été rajoutés à certaines fondations d'ouvrages préexistantes afin de renforcer leur niveau de protection en cas de survenue d'une crue du type de celle de 2013.

Le point de faiblesse principal du système anti-affouillement (SAA) est constitué par la jonction entre le SAA et les alluvions en lit. Ces dernières sont constituées d'une couche superficielle grossière (armure ou pavage en cas d'incision) masquant une couche interne à granulométrie plus étendue avec matrice fine et éléments grossiers.

Le long de la limite externe (extrémité de l'avancée en lit coté rivière) du SAA, à la jonction avec le lit, la différence de rugosité va ainsi favoriser l'affouillement des alluvions dès que leur seuil de mise en mouvement est franchi. Lorsqu'un affouillement est engagé, la couche superficielle grossière a été mise en mouvement et a donc disparu ; lors des périodes de courant important l'affouillement va évoluer en s'agrandissant insidieusement ou rapidement suivant la nature des crues.

⇒ **En conséquence le maximum de protection parafouille est lié à la présence de l'armure et à l'absence d'affouillement bordant la partie externe de la protection en lit (fondation d'appui avec débord ou système parafouille). Ainsi le principe de précaution pour éviter que des affouillements ne diminuent la performance de l'ouvrage impose de combler tout affouillement et ce, dès qu'il se constitue.**

Pour préciser les Ra, il importe de conserver une **épaisseur de fondation fonctionnelle en permanence**, c'est-à-dire avoir suffisamment d'épaisseur de semelle (ou de sabot) parafouille sous le lit pour que la fondation reste efficace lorsqu'arrive une crue morphogène. Elle doit ainsi résister à la respiration verticale du lit, à la génération d'affouillement notamment à sa bordure externe, voire à une incision plus ou moins généralisée du lit.

Comme base de la détermination des revanches inférieures (Ra) par ouvrage nous proposons de partir des profondeurs d'affouillement telles que définies suite à la crue de 2013 dans le cadre de la reprise des ouvrages. Les **épaisseurs en lit** de semelles parafoilles ont ainsi été dimensionnées pour « résister » à une crue de morphogénie type 2013.

Les données géométriques précises dont nous disposons sont présentées dans le tableau ci-dessous :

PROTECTIONS PARAFUUILLE RAJOUTEES APRES LA CRUE DE 2013 (DONNEES DISPONIBLES)				
Ouvrage	Protection parafouille			Remarques
	Type	Epaisseur	Avancée en lit	
GC 31.1	Sabot en enrochement libre	2,00	3,00	
GC 49.1a	Sabot en enrochement libre	2,00	3,00	
GC 49.2	Sabot en enrochement libre	2,50	4,00	<u>Attention</u> : cet ouvrage est dans le gave de Pau et non le gave de Cauterets
GC 42bis.1	Sabot en enrochement bétonné	1,50	3,00	
GC 42bis.2	Sabot en enrochement bétonné	1,50	3,00	

Tableau 10 : protections parafoilles avec données géométriques disponibles

Ce qu'on peut dire avec les éléments disponibles c'est que pour les protections parafoilles en enrochement libre les épaisseurs sont de **2,00 m** (pour le gave de Cauterets) et pour celles en enrochement bétonné de **1,50 m** d'épaisseur. **Le dimensionnement prévoit une épaisseur de x m (ici 2,00 m) fonctionnelle lorsqu'elle est intégralement intégrée en lit.**

En conséquence nous faisons les préconisations suivantes :

⇒ **Préconisations pour les revanches inférieures Ra :**

Nous ne connaissons pas le coefficient de sécurité appliqués par rapport à une profondeur d'affouillement type 2013. En conséquence nous faisons les préconisations suivantes :

⇒ **Les affouillements bordant les protections parafouilles (c'est-à-dire entre la limite externe de la protection parafouille et les alluvions du lit) doivent être systématiquement comblés exclusivement avec des matériaux grossiers – exempts de fines - (galets roulés avec un fuseau granulométrique étalé du type $\approx [20-400 \text{ mm}]$ et avec un $D_{50} \approx 150/200 \text{ mm}$).**

Une tolérance de variations du fond du lit éloignées des bords externes des protections parafouille serait de 0,20 m lorsque ces protections font 1,50 m et 0,50 m lorsqu'elles font 2,00 ou plus. Cette tolérance correspond plutôt à des mouilles localisées qu'à une incision plus généralisée du lit.

b) Détermination de la cote maximale (revanche supérieure Ri)

⇒ **Objectifs et données d'entrée :**

L'objectif principal est : (1) → **de conserver une morphologie du lit notamment en bordure des ouvrages évitant les débordements suite à l'accumulation de matériaux en récession de crue et éviter que ces matériaux se déplacent sur de petites crues plus en aval proche vers des ouvrages à faible revanche.**

Les données d'entrée sont : **Les donnée de la modélisation et en particulier l'incertitude affichée par le modélisateur, à savoir :**

MODELISATION DES CRUES ET INCERTITUDES ASSOCIEES DES RESULTATS		
Crue de référence	Modélisation	Incertitude des résultats
Crue décennale Q10	HEC-RAS 1D	+/- 30 cm
→ Crue Vicennale Q20	TELEMAC 2D (Lang, 2010)	+/- 30 cm
Crue cinquantennale Q50	TELEMAC 2D (Lang, 2010)	+/- 30 cm

Tableau 11 : Modélisation des crues et incertitude des résultats

 **La revanche supérieure**

La revanche supérieure va nous permettre de déterminer la hauteur de matériaux déposés en pied d'ouvrage en lit raisonnablement acceptable pour éviter un débordement en crue vicennale, **en fonction des données disponibles** : c'est-à-dire la limite même de la modélisation (cf. Tableau 11). Cette hauteur sera ainsi égale à zéro si elle est insuffisante ou trop aléatoire à déterminer.

Attention ☞ **Cette donnée est fournie à titre indicatif à partir des modélisations réalisées dans le cadre de cette étude dont les données ont été augmentées de l'incertitude inhérente au modèle et d'un coefficient de sécurité. Ainsi, il convient de rappeler qu'on ne maîtrise pas les apports grossiers et que lors d'une crue morphogène, une pulsation sédimentaire importante (notamment dans le contexte actuel de relaxation de la crue (au sens de Wolman & Gerson, 1978) de 2013 n'étant probablement pas encore terminée) n'est pas à écarter. En conséquence et par sécurité le *statu quo* (cf. 4.2.3.1 paragraphe 2) topographique du profil en long apparaît être la vision la plus sécuritaire en particulier en amont de l'apex dans les zones où le lit est étroit.**

La revanche supérieure est évaluée à partir de la surface libre au droit de l'ouvrage fournie grâce à la modélisation pour la crue vicennale (faite avec TELEMAC 2D pour cette occurrence de crue).

Il n'existe pas de méthode pour réaliser une telle démarche, nous proposons la méthode décrite ci-après :

Pour chaque ouvrage on a un nombre de points de mesure de la hauteur d'eau (surface libre *versus* ligne d'énergie) plus ou moins important qui sont issus des résultats de la modélisation.

Ces résultats de la modélisation sont majorés de la **valeur haute de l'incertitude** (soit + 0,30 m), cette valeur est elle-même **majorée d'un coefficient de sécurité de 33 %**, c'est-à-dire arrondie à + 0,40 m. Ils sont présentés dans les tableaux ci-après (cf. Tableau 13 ; Tableau 14 ; Tableau 15)

 **On appelle dans la suite du document :**

ELb → La valeur en mètre de la ligne d'eau libre brute modélisée.

ELm → La valeur en mètre de la ligne d'eau libre majorée de l'incertitude maximale liée au modèle (soit + 0,30 m) et d'un coefficient de sécurité $k = 33\%$ de la hauteur.

ER → La ligne d'énergie modélisée.

MAX(ELb) → La valeur maximale des hauteurs modélisées d'eau libre brutes pour un ouvrage donné (MAX(ELm) pour les hauteurs majorées et MAX(ER) pour celles des lignes d'énergie modélisées).

MOY(ELb) → La moyenne des hauteurs modélisées d'eau libre brutes pour un ouvrage donné (MOY(ELm) pour les hauteurs majorées et MOY(ER) pour celles des lignes d'énergie modélisées).

MIN(ELb) → La valeur minimale des hauteurs modélisées d'eau libre brutes pour un ouvrage donné (MIN(ELm) pour les hauteurs majorées et MIN(ER) pour celles des lignes d'énergie modélisées).

Ouvrage déclassé → Un ouvrage qui ne répond pas aux critères de conditions *sine qua non* (cf. Tableau 12) et dont le pied d'ouvrage doit donc être libre de tout atterrissement (*statu quo strict*).

On identifie pour chaque ouvrage les éventuelles possibilités de revanches supérieures en travaillant par « mesures restrictives ».

Préconisations pour les revanches supérieures R_i (données à titre indicatif) :

CONDITIONS ET RESTRICTIONS PROPOSEES		
Condition SNQ <i>sine qua non</i>	Traduction	Restriction
Si les lignes d'eau libre (brutes et/ou majorées) et/ou les lignes d'énergie sont débordantes sur une partie ou la totalité de l'ouvrage	⇒ $MIN(ER) \leq 0$ ⇒ $MIN(ELb) \leq 0$ ⇒ $MIN(ELm) \leq 0$	Élément déclassant
Si les lignes d'eau libre majorées sont $\leq 1,00$ m sur une partie de l'ouvrage	⇒ $MIN(ELm) \leq 1,00$ m	Élément déclassant
Si les lignes d'eau libre majorées sont $> 1,00$ m et si les lignes d'énergie sont $> 0,50$ m sur une partie de l'ouvrage	⇒ $MIN(ELm) > 1,00$ m et $MIN(ER) > 0,50$ m	Élément déclassant
Condition additionnelle ☞ si l'ouvrage est à moins de 100 m en amont d'un ouvrage déclassé	- de 100 m amont d'un ouvrage déclassé	Élément déclassant
Dans les autres cas		Tolérance Maximale $T_{max} = MIN(ER) - 0,50$ m ou max d'accrétion = 0,20 m en pied, avec surveillance accrue et retrait systématique des embâcles

Tableau 12 : Conditions et restriction pour indiquer une hauteur éventuelle d'atterrissement en pied de certains

Les tableaux suivants présentent ces éléments. Le premier tableau concerne ainsi la rive gauche :

ELEMENTS DE DETERMINATION DES POSSIBILITES DE REVANCHES SUPERIEURES EN RIVE GAUCHE												
Ouvrage	Type d'ouvrage en berge (ne concerne pas la fon- dation en lit)	Lon- gueur (m)	Nombre de points de me- sure	Eléments de calcul des revanches supérieures (m) pour Q20								
				Lignes d'eau libre Q20 Brutes (m) ELb			Lignes d'eau Q20 majorées (m) ELm (incertitude + 33 %)			Lignes d'énergie Q20 (m) ER		
				Maxi	Moyen	Mini	Maxi	Moyen	Mini	Maxi	Moyen	Mini
GC 29.1	Masque rocheux	21	15	3,06	3,05	3,04	2,66	2,65	2,64	2,72	2,69	2,65
GC 29.2	Enrochement bétonné	166	119	3,21	2,66	2,16	2,81	2,26	1,76	2,62	1,76	0,87
GC 30	Mur en béton banché	37	29	2,20	1,58	1,24	1,80	1,18	0,84	1,80	0,81	0,25
GC 31.1	Enrochement bétonné	46	36	1,81	1,32	0,60	1,41	0,92	0,20	1,45	0,74	-0,28
GC 36.1	Mur poids en béton	62	58	2,21	1,50	0,81	1,81	1,10	0,41	0,93	0,52	-0,35
GC 36.2	Mur poids en béton	17	17	2,03	1,79	1,52	1,63	1,39	1,12	1,37	0,93	0,57
GC 36.3	Mur poids en béton	111	104	2,09	0,68	-0,35	1,69	0,28	-0,75	1,55	-0,02	-1,05
GC 40.1	Mur soutènement canal	10	9	1,60	1,07	0,59	1,20	0,67	0,19	0,71	-0,21	-1,05
GC 40.2	Mur en béton	52	50	2,15	1,25	0,47	1,75	0,85	0,07	1,83	0,72	-0,48
GC 40.3	Mur en béton	57	53	2,29	1,56	0,70	1,89	1,16	0,30	1,38	0,49	-0,40
GC 40.4	Mur en béton	105	83	2,62	1,81	0,53	2,22	1,41	0,13	1,90	0,70	-0,54
GC 46	Mur en béton	88	63	2,22	1,32	0,54	1,82	0,92	0,14	0,82	-0,09	-0,70
GC 45bis	Mur en béton	110	92	3,78	2,36	1,37	3,38	1,96	0,97	2,62	1,16	0,11
GC 45	Mur en béton	72	55	3,49	2,79	2,51	3,09	2,39	2,11	2,68	2,33	2,11
GC 47.1	Mur en béton	93	69	2,57	2,14	1,74	2,17	1,74	1,34	2,26	1,90	1,50
GC 47.2	Mur en béton	74	68	2,28	1,70	1,33	1,88	1,30	0,93	1,61	0,97	0,19
GC 48.1	Mur en béton	165	139	1,74	1,04	0,11	1,34	0,64	-0,29	1,57	0,63	-0,07
GC 48.2	Mur maçonné	64	61	0,09	-0,49	-0,86	-0,31	-0,89	-1,26	-0,01	-0,64	-1,00
GC 48.3	Enrochement bétonné	11	11	-0,27	-0,48	-0,58	-0,67	-0,88	-0,98	-0,36	-0,65	-0,77
GC 49.1.A	Enrochement bétonné	23	0	<i>Pas de donnée</i>								
GC 49.1.B	Enrochement libre	89	72	3,18	2,86	2,43	2,78	2,46	2,03	2,95	2,22	1,17
GC 49.1.C	Enrochement libre	141	93	4,10	3,76	3,08	3,70	3,36	2,68	4,04	3,54	2,85
GC 49.2	Mur en prédalles	339	0	<i>Pas de donnée (ouvrage dans le gave de Pau)</i>								

Note-Bene : les données négatives (= débordement) sont en italique

→ Lorsque que des éléments sont en rouge dans la première colonne (ouvrage), cela signifie que cet ouvrage est à moins de 100 m d'un ouvrage déclassé

→ Les cellules en orange correspondent à des valeurs limites auxquelles il faut faire attention

Tableau 13 : Eléments de détermination des possibilités de revanche en rive gauche

Le second tableau concerne la rive droite :

ELEMENTS DE DETERMINATION DES POSSIBILITES DE REVANCHES SUPERIEURES EN RIVE DROITE												
Ouvrage	Type d'ouvrage en berge (ne concerne pas la fondation en lit)	Longueur (m)	Nombre de points de mesure	Eléments de calcul des revanches supérieures (m) pour Q20								
				Lignes d'eau libre Q20 Brutes (m) ELb			Lignes d'eau Q20 majorées (m) ELm (incertitude + 33 %)			Lignes d'énergie Q20 (m) ER		
				Maxi	Moyen	Mini	Maxi	Moyen	Mini	Maxi	Moyen	Mini
GC 27.1	Mur maçonné	82	1	<i>Une seule donnée = non significatif</i>								
GC 27.2	Mur en enrochement bétonné	43	32	2,68	2,51	2,37	2,28	2,11	1,97	1,88	1,53	1,12
GC 28	Enrochement libre et bétonné	135	100	5,93	4,18	2,44	5,53	3,78	2,04	4,88	3,38	1,81
GC 32	Enrochement libre	126	116	3,91	1,56	0,56	3,51	1,16	0,16	3,47	1,00	0,21
GC 34	Enrochement bétonné	28	27	0,87	0,72	0,63	0,47	0,32	0,23	0,45	0,26	-0,03
GC 35.1	Massif rocheux	23	18	1,51	1,09	0,91	1,11	0,69	0,51	0,98	0,26	0,00
GC 35.2	Mur poids en béton	19	17	1,31	1,09	1,02	0,91	0,69	0,62	1,02	0,88	0,57
GC 35.3	Mur maçonné	43	41	0,64	0,27	-0,41	0,24	-0,13	-0,81	0,44	-0,03	-1,08
GC 38.1	Mur poids en béton	80	85	1,50	1,01	-0,15	1,10	0,61	-0,55	0,61	-0,30	-1,26
GC 38.2	Mur poids béton + paroi berlinoise	40	39	1,72	1,49	1,30	1,32	1,09	0,90	0,93	0,44	0,00
GC 38.3	Mur en béton	172	130	2,58	2,02	1,33	2,18	1,62	0,93	2,28	1,10	-0,07
GC 39	Perré maçonné en appui sur mur en béton	130	109	2,17	1,85	1,63	1,77	1,45	1,23	1,74	0,91	0,01
GC 42bis.1	Mur en enrochement bétonné	70	76	2,55	2,27	2,15	2,15	1,87	1,75	2,04	1,73	1,32
GC 42bis.2	Mur en enrochement bétonné	53	0	<i>Ouvrage décalé et enterré</i>								
GC 42.1	Mur en enrochement bétonné	9	7	2,47	2,44	2,37	2,07	2,04	1,97	2,15	2,07	1,99
GC 42.2	Enrochement libre	21	15	2,66	2,37	2,11	2,26	1,97	1,71	2,42	2,10	1,83
GC 42.3	Masque rocheux	22	15	3,03	2,79	2,51	2,63	2,39	2,11	2,79	2,56	2,32
GC 43	Masque rocheux	401	358	2,56	0,68	-1,83	2,16	0,28	-2,23	2,32	0,35	-1,91

Note-Bene : les données négatives (= débordement) sont en italique

→ Lorsque que des éléments sont en rouge dans la première colonne (ouvrage), cela signifie que cet ouvrage est à moins de 100 m d'un ouvrage déclassé

→ Les cellules en orange correspondent à des valeurs limites auxquelles il faut faire attention

Tableau 14 : Eléments de détermination des possibilités de revanche en rive droite

AU vu des éléments énoncés ci-dessus, les ouvrages qui pourraient éventuellement supporter un léger engraissement de pied sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

POSSIBILITES DE REVANCHES SUPERIEURES EN RIVE DROITE (DONNE A TITRE INDICATIF)						
Ouvrage	Type d'ouvrage en berge (ne concerne pas la fondation en lit)	Longueur (m)	Lignes d'eau libre Q20 Brutes (m) ELb	Lignes d'eau Q20 majorées (m) ELm (incertitude + 33 %)	Lignes d'énergie Q20 (m) ER	Possibilité Tmax = MIN(ER) - 0,50 m ou 0,20 m
GC 29.1	Masque rocheux	21	3,04	2,64	2,65	0,20
GC 49.1.B	Enrochement libre	89	2,43	2,03	1,17	0,20
GC 49.1.C	Enrochement libre	141	3,08	2,68	2,85	0,20
GC 27.2	Mur en enrochement bétonné	43	2,37	1,97	1,12	0,20
GC 42bis.1	Mur en enrochement bétonné	70	2,15	1,75	1,32	0,20
GC 42.1	Mur en enrochement bétonné	9	2,37	1,97	1,99	0,20
GC 42.2	Enrochement libre	21	2,11	1,71	1,83	0,20

Tableau 15 : Possibilités d'évolution du fond du lit données à titre indicatif

Nous rappelons que des matériaux déposés à un endroit en lit peuvent être remobilisés (dès que le seuil de mise en mouvement est franchi, ce qui est potentiellement possible chaque année pour des atterrissements) et qu'ils pourraient alors aller engraisser les structures existantes ou encore se déposer en pied d'ouvrage à faible revanche. C'est pourquoi les hauteurs d'engraissement sont limitées.

☞ **La meilleure option reste le *statu quo*. (cf. 4.2.3.1 paragraphe 2)**

Les tableaux suivants synthétisent l'ensemble des données concernant les ouvrages du système d'endiguement : nature, localisation, longueurs, revanches...

REVANCHES SUPERIEURES ET INFERIEURES DES OUVRAGES DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT															
Encodage	Type d'ouvrage (Eléments en berge)	Berge	Localisation		Longueur [m]	Revanches supérieures [m]			Ri retenue	Nature de la fondation Type	Géométrie de la fondation en lit connue		Revanches inférieures [m]		Remarques ou interventions éventuelles avant mise en place du point-zéro (PZ)
			Amont	Aval		Revanche par rapport à la ligne d'énergie Q20					Epaisseur en lit	Avancée en lit/largeur	Epaisseur retenue	Ra Voir re- marque en fin de tableau	
						MIN(ELb) ¹	MIN(ELm) ²	MIN(ER) ³							
GC 29.1	Masque rocheux	RG	Seuil Berty	GC 29.2	21	3,04	2,64	2,65	0,20	Masque rocheux déposé en berge pas de fondation	0	0	0	0	
GC 29.2	Enrochement bétonné	RG	GC 29.1	GC 30	166	2,16	1,76	0,87	0	Fondation sans avancée en lit en enrochement	2,00	Inconnue	2,00	0,50	Affouillement ⁴ en pied à cor- riger et poche de petits en partie basse
GC 30	Mur en béton banché	RG	GC 29.2	GC 31.1	37	1,24	0,84	0,25	0	Semelle béton à géométrie inconnue, un sabot para- fouille aurait été rajouté en post-cruie 2013 mais les données disponibles concernant ce sabot proviennent de la visite de terrain d'ISL (confirmation de l'avancée en lit), l'épaisseur de sabot est simplement supposée par comparaison avec d'autres sabots para fouille créés en post-cruie 2013 et dont la géométrie est connue	1,50 (?) ⁷	2,00 (?) ⁸	1,50 ?	0,20 ? à vérifier	
GC 31.1	Enrochement bétonné	RG	GC 30	GC 36.1	46	0,60	0,20	-0,28	0	Fondation variable : enrochement bétonné surmonté ponctuellement d'une semelle béton	2,00	0,10 à 3,00	2,00	0,50	
GC 36.1	Mur poids en béton	RG	GC 31.1	GC 36.2	62	0,81	0,41	-0,35	0	Semelle en béton parallélépipédique type longrine	0,75	1,25	0,75	0	
GC 36.2	Mur poids en béton	RG	GC 36.1	GC 36.3	17	1,52	1,12	0,57	0	Semelle en béton parallélépipédique type longrine	0,75	1,25	0,75	0	Affouillement en pied à corri- ger
GC 36.3	Mur poids en béton	RG	GC 36.2	GC 40.1	111	-0,35	-0,75	-1,05	0	Semelle en béton parallélépipédique type longrine com- plétée en post-cruie par une autre semelle en béton sans donnée géométrique	0,75	1,25	Impossible ⁵	0	Affouillement en pied à corri- ger
GC 40.1	Mur soutènement canal	RG	GC 36.3	GC 40.2	10	0,59	0,19	-1,05	0	Semelle en béton à géométrie inconnue, un sabot para- fouille aurait été rajouté en post-cruie 2013 mais les données disponibles concernant ce sabot proviennent de la visite de terrain d'ISL (confirmation de l'avancée en lit), l'épaisseur de sabot est simplement supposée par comparaison avec d'autres sabots para fouille créés en post-cruie 2013 et dont la géométrie est connue	1,50 (?) ⁷	2,00 (?) ⁸	1,50 ?	0,20 ? à vérifier	
GC 40.2	Mur en béton	RG	GC 40.1	GC 40.3	52	0,47	0,07	-0,48	0	Semelle en béton, semelle anti-affouillement rajoutée mais pas de donnée géométrique sur cette dernière.	0,70	1,00 + x ⁶	Impossible	0	
GC 40.3	Mur en béton	RG	GC 40.2	GC 40.4	57	0,70	0,30	-0,40	0	Semelle en béton, semelle anti-affouillement rajoutée mais pas de donnée géométrique sur cette dernière.	0,70	1,00 + x	Impossible	0	Affouillements en pied à corri- ger en aval de l'ouvrage
GC 40.4	Mur en béton	RG	GC 40.3	GC 46	105	0,53	0,13	-0,54	0	Semelle en béton, semelle anti-affouillement rajoutée mais pas de donnée géométrique sur cette dernière.	0,70	1,00 + x	Impossible	0	Affouillement en pied à con- trôler et éventuellement à corriger
GC 46	Mur en béton	RG	GC 40.4	GC 45bis	88	0,54	0,14	-0,70	0	Semelle en béton, semelle anti-affouillement rajoutée mais pas de donnée géométrique sur cette dernière.	1,00	0,70 + x	Impossible	0	Semelle à contrôler, affouille- ment en pied à corriger et fis- sure verticale affectant à la fois parement et fondation
GC 45bis	Mur en béton	RG	GC 46	GC 45	110	1,37	0,97	0,11	0	Bêche en enrochement bétonné devant laquelle un sa- bot en enrochement libre a été disposé (pas d'élément de géométrie)	1,50	3,00 + x	Impossible	0	Reprendre la partie destruc- turée de la semelle en enro- chement bétonné (amont li- néaire)

GC 45	Mur en béton	RG	GC 45bis	GC 47.1	72	2,51	2,11	2,11	0	Semelle en béton, sabot anti-affouillement en enrochement bétonné rajouté mais pas de donnée géométrique sur cette dernière.	0,70	1,05 + x	Impossible	0	
GC 47.1	Mur en béton	RG	GC 45	GC 47.2	93	1,74	1,34	1,50	0	Semelle en béton, sabot anti-affouillement en enrochement bétonné rajoutée mais pas de donnée géométrique sur cette dernière.	0,70	1,10 + x	Impossible	0	
GC 47.2	Mur en béton	RG	GC 47.1	GC 48.1	74	1,33	0,93	0,19	0	Bèche en enrochement bétonné devant laquelle un sabot en enrochement libre a été disposé	1,50	3,00 + 3,00	1,50	0,20	
GC 48.1	Mur en béton	RG	GC 47.2	GC 48.2	165	0,11	-0,29	-0,07	0	Fondation en béton (0,70 x 0,97 m) raboutée à un sabot de protection en enrochement (≈ 1,00 x 1,00 m)	1,00	0,97 + 1,00	1,00	0	Le dessin de la protection présente un sabot parafouille avec un rebord de débord en biais donc = 1,00 m en fond de sabot
GC 48.2	Mur maçonné	RG	GC 48.1	GC 48.3	64	-0,86	-1,26	-1,00	0	Aucune donnée sur la fondation, un sabot parafouille aurait été rajouté en post-cruie 2013 mais les données disponibles concernant ce sabot proviennent de la visite de terrain d'ISL (confirmation de l'avancée en lit), l'épaisseur de sabot est simplement supposée par comparaison avec d'autres sabots parafouille créés en post-cruie 2013 et dont la géométrie est connue	1,50 (?) ⁷	2,00 (?) ⁸	1,50 ?	0,20 ? à vérifier	
GC 48.3	Mur en enrochement bétonné	RG	GC 48.2	GC 49.1a	11	-0,58	-0,98	-0,77	0	Aucune donnée précise sur la fondation, un sabot parafouille aurait été rajouté en post-cruie 2013 mais les données disponibles concernant ce sabot proviennent de la visite de terrain d'ISL (confirmation de l'avancée en lit), l'épaisseur de sabot est simplement supposée par comparaison avec d'autres sabots parafouille créés en post-cruie 2013 et dont la géométrie est connue	1,50 (?) ⁷	2,00 (?) ⁸	1,50 ?	0,20 à vérifier	
GC 49.1a	Enrochement bétonné	RG	GC 48.3	GC 49.1b	23	PdD	PdD	PdD	0	Bèche en enrochement bétonné (2,00 x 2,00 m) avec adjonction d'un sabot parafouille en enrochement libre devant (2,00 x 3,00 m)	2,00	2,00 + 3,00	2,00	0,50	
GC 49.1b	Enrochement libre	RG	GC 49.1a	GC 49.1b	89	2,43	2,03	1,17	0,20	Sabot en enrochement bétonné qui serait protégé par un enrochement libre ? Données peu précises à vérifier	2,50	2,00	2,50	0,50	Affouillements du sabot bétonné à corriger. Données à vérifier.
GC 49.1c	Enrochement libre	RG	GC 49.1b	GC 49.2	141	3,08	2,68	2,85	0,20	Semelle en enrochement bétonné mais pas de données sur la géométrie	3,00	2,00	3,00	0,50	
GC 49.2	Mur en prédalles	RG	GC 49.1c	TN	339	Sans objet	Sans objet	Sans objet	0	Semelle en enrochement bétonné avec devant un sabot parafouille en enrochement libre (4,00 x 2,50 m)	2,50 (?)	4,00 + 2,50	2,50 ?	-	Dans le gave de Pau
GC 27.1	Mur maçonné	RD	Seuil Berty	GC 27.2	82	PdD	1,97	PdD	0	Bèche en enrochement bétonné, un sabot parafouille aurait été rajouté en post-cruie 2013 mais les données disponibles concernant ce sabot proviennent de la visite de terrain d'ISL (confirmation de l'avancée en lit), l'épaisseur de sabot est simplement supposée par comparaison avec d'autres sabots parafouille créés en post-cruie 2013 et dont la géométrie est connue	1,50 (?) ⁷	2,00 (?) ⁸	1,50 ?	0,20 ? à vérifier	Affouillement et sous-cavement en pied à corriger
GC 27.2	Mur en enrochement bétonné	RD	GC 27.1	GC 28	43	2,37	2,04	1,12	0,20	Bèche en enrochement bétonné	2,00	2,00 (?) ⁷	2,00	0,50	Affouillement et sous-cavement en pied à corriger
GC 28	Enrochement libre et bétonné	RD	GC 27.2	GC 32	135	2,44	0,16	1,81	0	Bèche en enrochement bétonné	2,00	2,00 (?) ⁷	2,00	0,50	Affouillement et sous-cavement en pied à corriger
GC 32	Enrochement libre	RD	GC 28	GC 34	126	0,56	0,23	0,21	0	Bèche en enrochement bétonné, sabot parafouille disparu	2,00	2,00 (?) ⁷	2,00	0,50	Affouillement et sous-cavement en pied à corriger, protection parafouille à reprendre (endommagée en 2018)

GC 34	Enrochement bétonné	RD	GC 32	GC 35.1	28	0,63	0,51	-0,03	0	Bèche en enrochement bétonné, sabot parafouille disparu	2,00	2,00 (?) ⁷	2,00	0,50	Protection parafouille à reprendre (le sabot a été déstructuré et emporté)
GC 35.1	Massif rocheux	RD	GC 34	GC 35.2	23	0,91	0,62	0,00	0	Roche	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet	
GC 35.2	Mur poids en béton	RD	GC 35.1	GC 35.3	19	1,02	-0,81	0,57	0	Inconnue (rajout plinthe en béton banché)	Inconnu	Inconnu	Inconnu	0	
GC 35.3	Mur maçonné	RD	GC 35.2	Pont	43	-0,41	-0,55	-1,08	0	Semelle béton	Inconnu	Inconnu	Inconnu	0	
GC 38.1	Mur poids en béton	RD	Pont	GC 38.2	80	-0,15	0,90	-1,26	0	Une partie non connue et aval longrine béton avec sabot parafouille	0,80 (?)	1,00 + x	Impossible	0	Attention : partie amont fondation inconnue
GC 38.2	Mur poids béton + paroi berlinoise	RD	GC 38.1	GC 38.3	40	1,30	0,93	0,00	0	Fondations béton avec devant semelle parafouille en béton	0,90 à 1,15	0,70	Impossible	0	
GC 38.3	Mur en béton	RD	GC 38.2	GC 39	172	1,33	1,23	-0,07	0	Fondations béton avec devant semelle parafouille en béton	0,90 à 1,15	0,70	Impossible	0	Affouillement et sous-cave-ment en pied à corriger et fissure dans la semelle béton
GC 39	Perré maçonné en appui sur mur en béton	RD	GC 38.3	GC 42bis.1	130	1,63	1,75	0,01	0	Longrine béton avec devant semelle parafouille en béton	0,60	0,80	Impossible	0	Erosion et affouillement de la semelle
GC 42bis.1	Mur en enrochement bétonné	RD	GC 39	GC 42bis.2	70	2,15	1,97	1,32	0,20	Bèche en enrochement cyclopéen avec sabot parafouille en enrochement bétonné	1,50	2,00 (?) ⁷ + 3,00	1,50	0,20	Partiellement enterré
GC 42bis.2	Mur en enrochement bétonné enterré	RD	GC 42bis.1	T N	53	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Bèche en enrochement cyclopéen avec sabot parafouille en enrochement bétonné	1,50	2,00 (?) ⁴ + 3,00	1,50	0,20	Partiellement enterré
GC 42.1	Mur en enrochement bétonné	RD	GC 42bis.1	GC 42.2	9	2,37	1,97	1,99	0,20	Fondation inconnue et se trouve en aval en retrait du lit	Inconnue	Inconnue	Inconnue	0	Protection en avancée devant GC 42bis.1
GC 42.2	Enrochement libre	RD	GC 42.1	GC 42.3	21	2,11	1,71	1,83	0,20	Fondation inconnue	Inconnue	Inconnue	Inconnue	0	Protection en avancée devant GC 42bis.2
GC 42.3	Masque rocheux	RD	GC 42.2	GC 43	22	2,51	2,11	2,32	0	Pas de fondation, simple masque rocheux	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Végétalisation en cours à supprimer
GC 43	Masque rocheux	RD	GC 42.3	Pont	401	-1,83	-2,23	-1,91	0	Pas de fondation, simple masque rocheux	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Végétalisation en cours à supprimer

¹ : MINI(ELb) = plus faible différence de hauteur le long d'un ouvrage entre crête d'ouvrage et hauteur d'eau libre modélisée pour Q20

² : MINI(ELm) = plus faible différence de hauteur le long d'un ouvrage entre crête d'ouvrage et hauteur d'eau libre modélisée pour Q20 majorée de l'incertitude du modèle (d'après ISL à 30 m) et augmentée d'un coefficient de sécurité (dans notre cas 0,40 m)

³ : MINI(ER) = plus faible différence de hauteur le long d'un ouvrage entre crête d'ouvrage et hauteur de la ligne d'énergie pour Q20

⁴ : Le terme affouillement est ici pris dans un sens générique il peut donc y avoir plusieurs zones affouillées le long de la protection considérée.

⁵ : Le terme impossible indique qu'il est impossible de déterminer la revanche Ra compte tenu des données géométriques disponibles (une fondation complexe est présente et/ou des éléments de reprise ont été effectués mais les données géométriques disponibles sont insuffisantes).

⁶ : Lorsque l'avancée en lit comprend un chiffre + x cela veut dire que l'on est sur une fondation complexe et qu'il y a donc une structure parafouille rabotée à la fondation d'appui. Le x indique également que les données géométriques (épaisseur/débord en lit) sont insuffisantes.

⁷ : La description de la fondation faite dans le rapport d'EDD provisoire ne permet pas de savoir si le chiffre donné correspond à la partie en débord en lit et/ou la partie supportant seulement la protection de berge ou l'épaisseur en lit de l'ouvrage parafouille a été indiquée sans certitude en fonction du débord en lit par comparaison avec d'autres ouvrages parafouille.

⁸ : Constat ISL lors de la visite de terrain.

Attention : les données de Ra concernent des affouillements du type « mouille » à proximité de l'ouvrage mais ne le concernant pas directement, il ne faut pas laisser d'affouillement au contact des fondations (qu'elle soient en débord ou non).

Tableau 16 : Détermination des revanches inf. et sup. des différents ouvrages

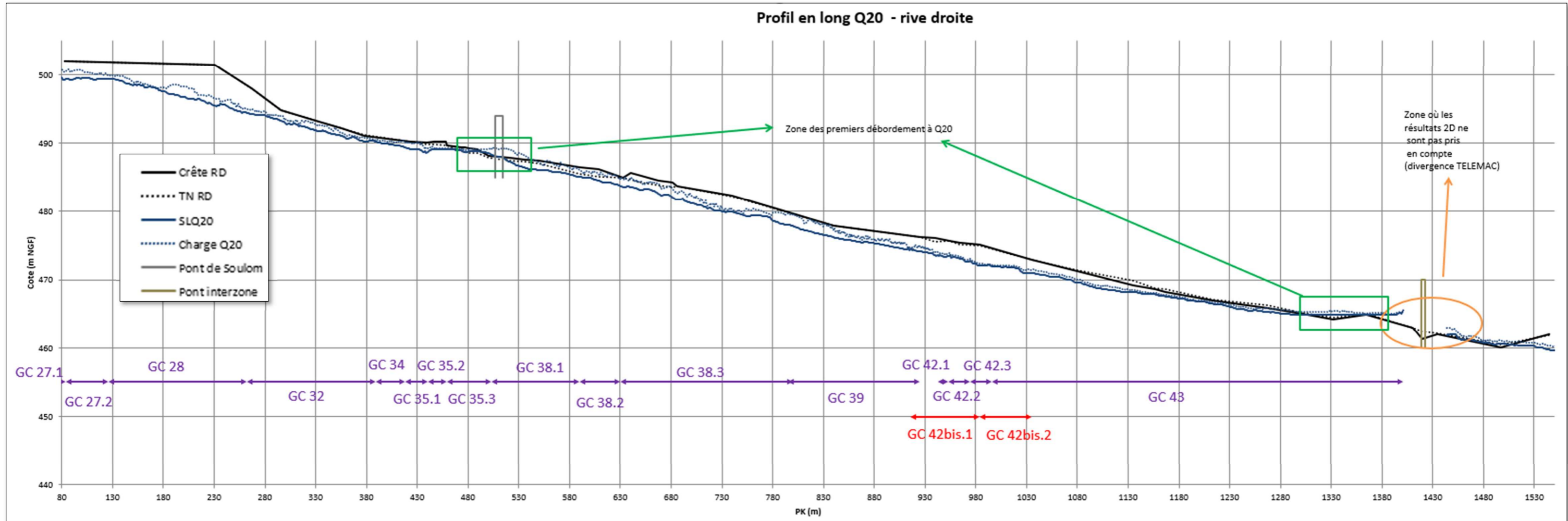


Figure 34 : Profil en long en rive droite présentant la crête des ouvrages, leur localisation et la ligne de charge pour Q20 (source : ISL, 2021)

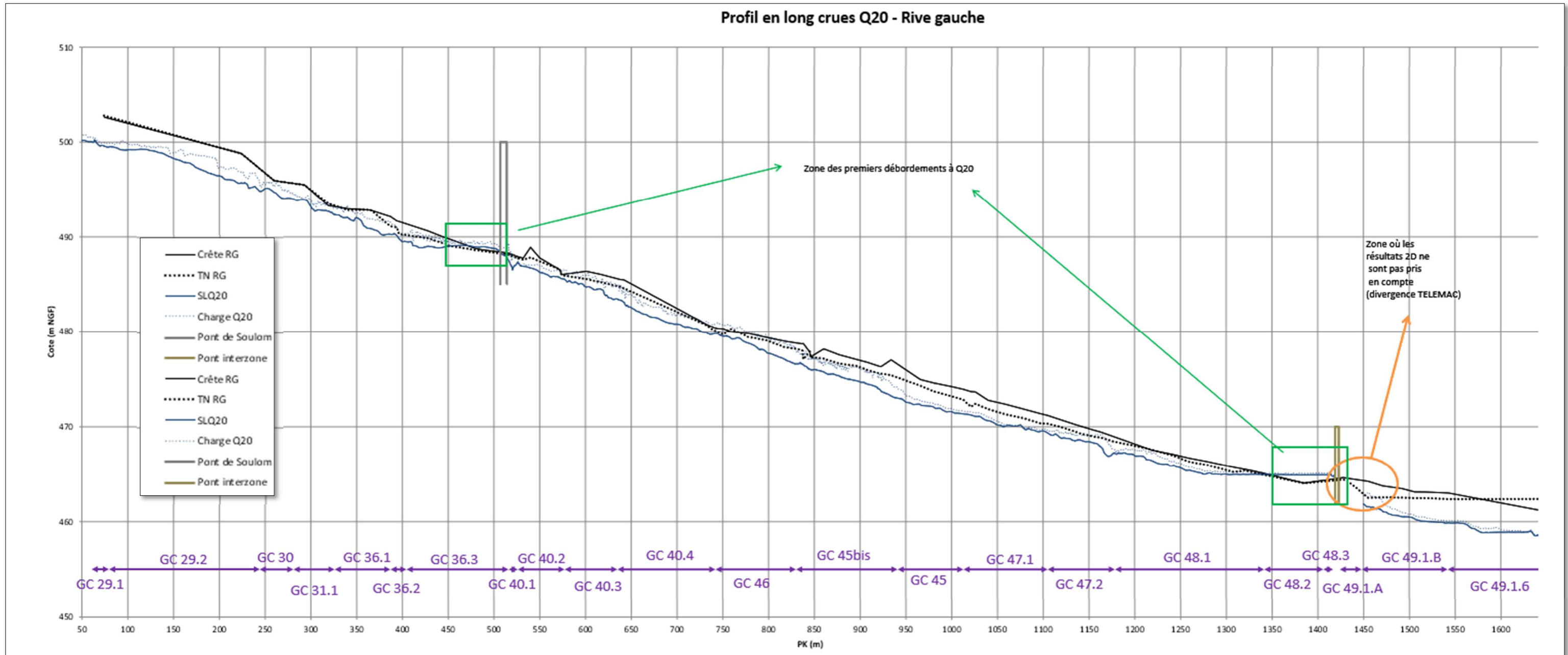


Figure 35 : Profil en long en rive gauche présentant la crête des ouvrages, leur localisation et la ligne de charge pour Q20 (source : ISL, 2021)

2) Une stratégie de maintien du *statu quo*

Etant donné que nous ne connaissons pas suffisamment la géométrie des fondations des ouvrages constituant le système d'endiguement, le suivi de la cote inférieure Ra ne pourra être effectué pour tous les ouvrages.

De plus, le profil en long actuel (atterrissements écrêtés et surtout non végétalisés) et amélioré (*scenario* 2 de l'étude de faisabilité des aménagements) permettent le passage de la crue vicennale, moyennant quelques éléments complémentaires qui sont portés dans la colonne « observations » du tableau 11.

En conséquence nous proposons une stratégie dite « de maintien du *statu quo* » [statu quo = littéralement « état actuel »] définie ainsi :

La stratégie de maintien du *statu quo* :

La stratégie de maintien du *statu quo* part du constat suivant :

(1) ☞ Les données sont insuffisantes pour déterminer des côtes inférieures (Ra) fiables partout

(2) ☞ La modélisation et les niveaux de protection (hauteurs d'eau et lignes d'énergie à Q10, Q20) sont calés sur la bathymétrie 2019

Le parti pris de la stratégie de maintien du *statu quo* est le suivant :

(1) ☞ Le Profil PZ (2019) est le profil de référence,

(2) ☞ Pour conserver la performance hydromorphologique du lit, c'est ce profil qu'il faut conserver avec des tolérances indiquées dans le tableau n° 11

3) Adapter le suivi à la stratégie de maintien du *statu quo*

Toutefois si l'on veut améliorer la robustesse de la démarche on peut refaire une bathymétrie servant de complément au profil PZ.

Il s'agirait ainsi de lever une bathymétrie en pied d'ouvrages comprenant :

- Le pied (bathymétrie bilatérale) de tous les ouvrages entre le seuil Berty et le pont de Soulom, dans cette partie (à bathymétrie bilatérale on pourra compléter par des profils en travers). Cette bathymétrie s'effectuera sur les fondations parafoilles venant en débord des protections ou au pied des ouvrages lorsqu'il n'y a que des fondations d'appui (sans débord donc)
- Tous les ouvrages de rive droite en aval de l'apex (murs-digue jusqu'au pont, enrochement de protection de Ferropem en aval), dans les mêmes conditions qu'à l'alinéa précédent,
- Le lit hors ouvrages à l'axe,

☞ ***Nota-Bene*** : Le tronçon du lit entre l'aval du pont de Soulom et l'apex comprend 8 barrettes (notées B1 à B8) en enrochement bétonné et 8 seuils de fond (notés seuil A à seuil G) stabilisant le lit verticalement. Dans ce secteur un contrôle visuel est suffisant (aval des barrettes et seuils et liaison semelles débordantes – lit).

Cette opération améliorerait la robustesse de la démarche car on disposerait alors d'un profil en long servant de profil PZ adapté pour notre suivi longitudinal, particulièrement en termes de reproductibilité.

⇒ Un profil PZ robuste (adapté spécifiquement) : Il s'agira donc d'avoir une **approche bathymétrique dynamique**, à partir d'un ensemble de profils dits « **point zéro** » (PZ) servant de profils de référence. Cet ensemble devra comprendre *a minima* :

(1) → Un profil en long double **reproductible point par point** réalisé en pied d'ouvrage avec un pas de mesure rapproché pour être représentatif (1) de l'état des pieds d'ouvrage et du lit (fondations d'ouvrage en débord), (2) de l'état du lit hors débords des protections

(2) → Un ensemble de profils en travers précis, avec un pas suffisant augmenté dans tous les points singuliers décrits ci-dessus) et **reproductibles point par point**.

Ces éléments doivent ainsi être suffisamment précis pour pouvoir évaluer en post-cruie en comparant le profil PZ et antérieur et le profil post-cruie (comparaison point à point, c'est-à-dire que **chaque point des profils devra être relevé strictement au même endroit** (point par point, basé sur des repères durables) pour bénéficier de **comparaisons significantes** concernant l'évolution du profil en long au pied des ouvrages susceptible d'impacter Ri (revanche sur l'inondation) ou Ra (revanche sur l'affouillement) (cf. Figure 31)

Cette démarche permettra de prendre les mesures adéquates de dégravement pour conserver Ri ou de remblaiement pour conserver Ra

4.2.3.2. *Le suivi LiDAR des structures alluvionnaires*

Ce suivi bathymétrique doit être **complété par un suivi topographique avec du suivi topographique 3D : LiDAR, photogrammétrie** (concernant l'aval de l'apex jusqu'à la confluence) permettant un calcul précis des volumes.

Il concernera SM3 et SM5 et sera déclenché (à l'étiage) :

- **En post-cruie morphogènes sans avulsion dans la BAM** si les structures alluvionnaires de ces singularités morphologiques se sont notablement engraisées. On aura ainsi une approche morphologique et volumétrique précise dans la partie post-apex (bras générés, matériaux déposés...). Il donnera également lieu à un bilan volumétrique entre le PZ et la première crue, puis permettra de comparer chaque crue au PZ et chaque crue entre-elles mettant en référence niveau de crue et volumes apportés. Les besoins en levé LiDAR dans ce cas sont de 3,5 ha (cf. Figure 36).
- **En post-cruie morphogène avec avulsion dans la BAM** qui permettra d'avoir des données sur la BAM et là-encore de réaliser un bilan volumétrique complétant les éléments existants (évaluation à 100 000 m³ pour la crue de 2013 (RTM, 2013) et approche calculée partiellement à partir du LiDAR (incomplet) à 118 000 m³ dans le cadre de la présente étude). Les besoins en LiDAR seront d'environ 13 ha (cf. Figure 36).

☞ **Nota-Bene** : C'est l'analyse conjointe de la topographie PZ et profils en travers + LIDAR qui permettra de suivre et d'affiner la gestion du site, et éventuellement de planifier en post-cruies les nécessaires travaux à mettre en œuvre pour maintenir l'efficacité du système d'endiguement.

Une **base de données REX** pourra alors être construite intégrant ainsi le niveau de crue et les **caractéristiques de la crue** (durée, pic...), les **évolutions topographiques** (PZ, profils en travers, volumes de matériaux via le LIDAR) et l'**évolution des points singuliers** et de tout autre élément important en termes de gestion du système d'endiguement pour éviter les débordements (accrétions nouvelles, aggradations, embâclage du lit, incision, exhaussement, érosions, bras...).

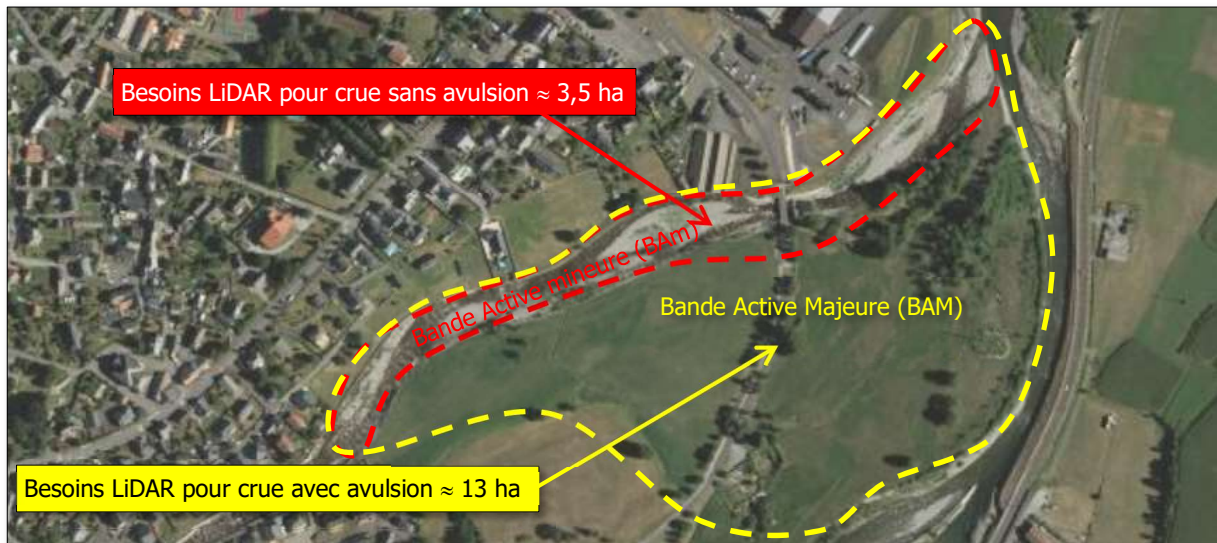


Figure 36 : Besoins LiDAR pour le suivi longitudinal en fonction du type de crue (avec ou sans avulsion dans la BAM (source Géoportail)

4.2.3.3. Faire évoluer le PZ en fonction de la mise en œuvre des scénarii

Le profil PZ devra être adapté lorsque des modifications seront apportés à la morphologie du lit comme le confortement des ouvrages affouillés ou l'amélioration de la section hydraulique au niveau du pont interzone.

4.2.4. Préparer le lit à la crue suivante

Ce chapitre concerne les **crues morphogènes** « non-extrêmes » comme celle de 2013 (une crue BFHM de ce type nécessitant des interventions lourdes et d'urgence). Ces crues morphogènes sont celles s'écoulant dans la BAM, sans avulsion, les crues dites extrêmes sont celles créant une avulsion vers la BAM.

Ces crues pourraient passer pour négligeables mais par leur effet cumulatif ou lors d'une crue plus morphogène, elles pourraient générer un impact finalement important, du fait de la morphologie du lit et du fonctionnement du secteur.

L'objectif d'une surveillance et de travaux de façonnage du lit dans ce cadre serait de « **préparer le lit à la crue suivante** », en suivant les points singuliers et leur niveau « d'encombrement solide »

En post-crue morphogène les éléments à surveiller particulièrement et éventuellement à travailler sont les suivants :

- Les **atterrissements actuels** et d'éventuelles **nouvelles accrétions** sur ceux-ci ou de **nouvelles structures**. Suivant le niveau de morphogénie de la crue et donc son impact en termes de transport solide il serait intéressant de **réévaluer le stock alluvial** pour avoir un bilan (en effet on est sur un cône fortement anthropisé et nous n'avons pas d'antériorité). Pour les structures alluvionnaires se développant en aval de l'apex (atterrissements n° 9 à 1), cette analyse devra intégrer leur impact sur la BAM, (avulsion, défluviation...). Les atterrissements les plus impactant étant les atterrissements proches de l'apex, entre celui-ci et le pont Interzone (point noir pour le transport solide), favorisant accrétions et avulsion (atterrissements n° 9 à 4). On en retirera également tout **embâcle** arrivé lors de la crue,
- Les **ouvrages d'art** et en particulier le pont Interzone qui dans sa conformation actuelle affecte le transport solide et contrôle plus ou moins l'aggradation à son amont, favorise les débordements vers sa rive droite et reste potentiellement contournable.
- La **confluence** qui reste encombrée de matériaux : atterrissements n° 3 à 1 de la BAM,
- Et bien évidemment les ouvrages du système d'endiguement.

Pour les crues BFHM (Basse Fréquence Haute Magnitude) plus extrêmes avec défluviation, comme 2013 le déplacement du chenal principal et l'expansion des écoulements dans la bande active nécessitent des travaux spécifiques. En particulier (suivant l'état post-crue) :

- Le masque rocheux reconstitué, voire amélioré (REX),
- La BAM sera également travaillée : façonnage du lit par remblaiement des chenaux, retrait d'embâcles...

4.3. LES ACCES EN LIT (SERVITUDES)

Afin de réaliser les travaux d'entretien de lit et des différents ouvrages, des accès en lit ont été déterminés et matérialisés par des conventions de servitude de passage.

Ces différents accès sont présentés dans les éléments cartographiques ci-dessous.

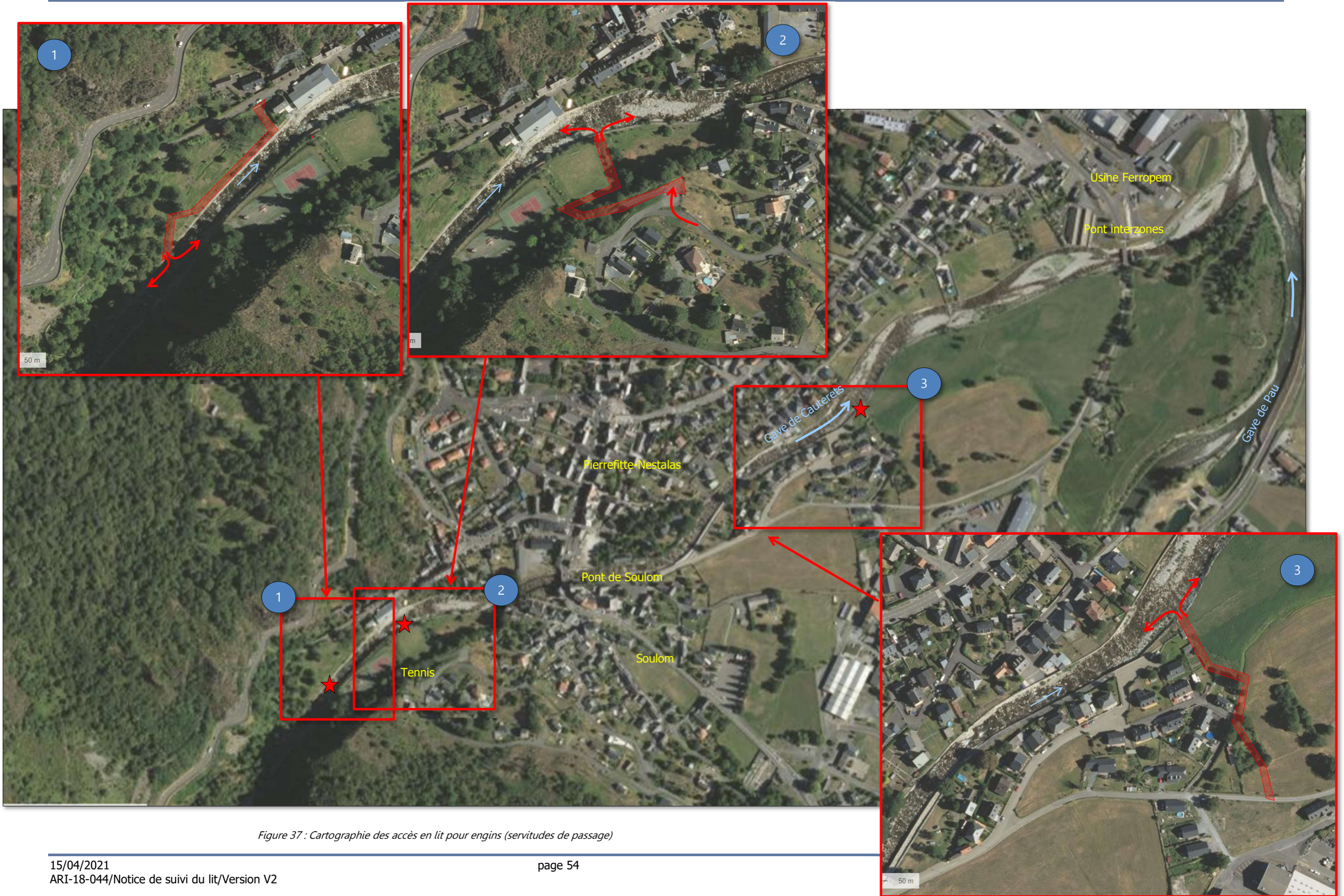


Figure 37 : Cartographie des accès en lit pour engins (servitudes de passage)

5. NOTICE DE SUIVI ET D'ENTRETIEN DYNAMIQUES

Le présent chapitre rappelle, regroupe et détaille les éléments de suivi et d'entretien dynamiques à mettre en œuvre pour suivre efficacement les composantes du système d'endiguement ainsi que la morphologie du lit (afin qu'elle soit la plus efficace d'un point de vue dynamique).

⇒ **Les objectifs de la présente notice de suivi et d'entretien dynamique :**

- (1) → Suivre et entretenir les composantes du système d'endiguement afin de conserver leur **performance hydraulique**,
- (2) → Suivre et entretenir la morphologie du lit pour conserver sa **performance hydromorphologique** en relation avec le **fonctionnement du système d'endiguement**,
- (3) → Développer grâce au suivi longitudinal un **Retour d'EXpérience** (REX) permettant d'adapter la gestion (i) par rapport aux **évolutions hydroclimatiques** et (ii) en relation directe avec notre amélioration de la **connaissance du fonctionnement du couple [Système d'endiguement – lit]**

5.1. LA NOTION D'ENTRETIEN DYNAMIQUE

L'**entretien dynamique** est un entretien basé sur un suivi régulier de la morphologie du lit à travers un suivi longitudinal (intégrant les intercrues, les post-crués et les aléas climatiques tels que les tempêtes...) et une réponse rapide pour pallier efficacement les désordres constatés.

Cet entretien est donc un véritable **accompagnement dynamique** de la morphologie du lit et de l'efficacité des ouvrages du système d'endiguement.

☞ **Nota-Bene** : Les préconisations présentées ci-dessous **ne sont pas exhaustives**. Leur exhaustivité doit être obtenue progressivement au moyen de leur enrichissement grâce **aux retours d'expériences** (REX) acquises au fil des aléas hydroclimatiques.

5.2. PRINCIPE DE BASE ET PRINCIPES GÉNÉRAUX DU SUIVI ET DE L'ENTRETIEN DYNAMIQUES

 **Le principe de base du suivi et de l'entretien dynamiques :**

« **Suivre régulièrement pour agir rapidement** »

Cela veut dire que le suivi doit être effectué :

- (1) → Régulièrement et efficacement
- (2) → Au plus près des événements (crués morphogènes, tempête...) et en cas de désordre constaté au plus vite pour éviter leur aggravation et la dégradation du système d'endiguement

Les **grands principes du suivi et de l'entretien dynamiques** sont présentés (et pour certains rappelés) dans le tableau suivant :

GRANDS PRINCIPES DU SUIVI ET DE L'ENTRETIEN		
Eléments	Principes généraux	Principes particuliers
Morphologie du lit	Visiter et contrôler en post-cruie et annuellement	→ Respecter les fréquences de visite, intervenir rapidement pour résoudre les désordres
	Conserver le plus possible le <i>statu quo</i> (cf. 4.2.3.1) Retirer les embâcles en lit	→ Suivre Ri et Ra et suivi longitudinal strictement → Particulièrement sur les atterrissements, les rétrécissements de section (pont Soulom, lit entre pont de Soulom et apex, pont interzones) et les seuils et barrettes
	Ne pas laisser se végétaliser les structures alluvionnaires	
	Ne pas laisser s'engraisser les structures alluvionnaires	
Ouvrages	Visiter et contrôler en post-cruie et annuellement	→ Respecter les fréquences de visite, intervenir rapidement pour résoudre les désordres
	Ne pas laisser les ouvrages se végétaliser Ne pas laisser les barbacanes s'obstruer	→ Suivre particulièrement le masque rocheux
	Assurer la pérennité des différentes parties des ouvrages (parements de berge, fondations sous l'ouvrage et en lit)	→ Recharger dès que des désordres sont constatés
	Assurer la pérennité des seuils et barrettes	→ Recharger dès que des désordres sont constatés

Tableau 17 : Grands principes du suivi et de l'entretien

5.3. LES ELEMENTS A CONTROLER

Le contrôle doit être effectué avec minutie et suivant les fréquences indiquées (cf. à cet effet les § 5.2 et 5.5) annuellement, post-cruie... en complément des éléments relevant du suivi longitudinal (cf. § 4). Il sera fait à l'étiage, en post-cruie on contrôlera rapidement dès les premières basses eaux.

Les éléments à contrôler suivant le type d'ouvrage sont détaillés (non exhaustif) dans le tableau suivant :

ELEMENTS DES OUVRAGES A CONTROLER			
Type d'ouvrage	Parties d'ouvrage	Elément à contrôler (non exhaustif)	Observations
Protections de berge	Parements en béton	Etat du béton (fissures, dégradations du béton, chocs...) Etat des barbacanes ou des ouvrages traversant	
	Parements en enrochement libre	Mouvements de blocs, lacunes de blocs Végétalisation	
	Parements en enrochement liaisonné bétonné	Mouvements de blocs, lacunes de blocs Végétalisation	
	Mur maçonné	Disjointoiement, lacunes de maçonnerie, fissures	
	Masque rocheux	Erosion Végétalisation	
	Fondation en béton ¹	Etat général, mouvements de blocs lacunes, déstructuration partielle	Lorsque l'élément de fondation est au contact du lit, la liaison fondation-lit est à contrôler (affouillement)
	Fondation en enrochement libre ¹	Etat général, mouvements de blocs lacunes, déstructuration partielle	
	Fondation en enrochement liaisonné béton ¹	Etat général, mouvements de blocs lacunes, déstructuration partielle	
	Sabot para fouille en enrochement libre ¹	Etat général, mouvements de blocs lacunes, déstructuration partielle	
	Idem en enrochement liaisonné béton ¹	Etat général, mouvements de blocs lacunes, déstructuration partielle	
Seuils	Totalité	Etat général et affouillements éventuels en aval	
Barrettes	Totalité	Etat général et affouillements éventuels en aval	
Pavages du lit	Totalité	Etat général et affouillements éventuels en aval	

¹ : si visible

Tableau 18 : Eléments à contrôler par type d'ouvrages

5.4. LE REX (RETOUR D'EXPERIENCES)

Principe de la rephotographie

Le principe de la rephotographie est assez simple et complète le suivi longitudinal.

Il s'agit d'effectuer dans le temps plusieurs prises de vue du même endroit (préalablement repéré) et sous le même angle, afin d'obtenir par comparaison une vision diachronique du lieu étudié.

La rephotographie peut se faire du sol ou à partir d'un drone (photographies verticales et/ou avec dévers).

Cette technique simple et efficace participe ainsi à une vision diachronique et peut ainsi compléter un suivi longitudinal en se calant sur les pas de temps de celui-ci

Le REX est essentiel dans le contexte actuel. Nous sommes en effet dans une période d'évolution rapide des conditions hydroclimatiques et certainement encore dans la période de relaxation de la crue de 2013.

Le REX longitudinal (c'est-à-dire issu du suivi longitudinal) va permettre de mieux cibler les suivis et contrôles à effectuer, notamment dans les zones sujettes à accrétion, affouillement et/ou embâclage, mais également de mieux cibler les interventions au vu de leur efficacité.

Il est donc nécessaire de mettre en place ce REX notamment en tenant à jour des chroniques de suivi et d'entretien accompagnés de photos géolocalisées utilisant le principe de la rephotographie (cf. Encart 2 ; Figure 38).

Encart 2 : La rephotographie



Figure 38 : Exemple de rephotographie (gave de Pau), la même vue (prise du même endroit) permettant ainsi le suivi d'un transfert-réinjection de matériaux. On voit au fil des saisons (et des crues) les matériaux déposés en glaciais de berge s'éroder petit à petit (injection-retard) et se disséminer dans le gave de Pau.

Ainsi, l'ensemble des résultats des opérations de surveillance et de contrôle devront être consignés dans un carnet de REX (il pourra prendre la forme d'un carnet numérique).

En effet, surveillance et contrôle constituant un suivi longitudinal, il est important de collecter, traiter et classer (c'est-à-dire archiver) ces éléments pour accompagner efficacement le cycle de vie du système d'endiguement et du lit.

Ce carnet de REX devra comprendre *a minima* :

- Les dates et heures d'intervention,
- L'origine de l'intervention (suivi annuel, contrôle post-crue, post-aléa climatique...)
- La localisation précise des interventions réalisées,
- Le type d'intervention (surveillance, contrôle, etc...),
- Les constats effectués,
- Les relevés effectués,
- Les photographies avant/après (rephotographie),
- Les suites données.

5.5. LA NOTICE DE SUIVI ET D'ENTRETIEN DYNAMIQUES

La notice de suivi et d'entretien dynamiques s'articule autour de quatre tronçons principaux à morphologie et fonctionnement dynamique différenciés utilisés, bornés par une singularité majeure :

TRONCONS DETERMINES POUR L'ENTRETIEN			
Tronçons	Borne amont	Borne aval	Remarques
T1	Seuil de Berty	Contraction au pont de Soulom	Tronçon sujet à l'incision et aux affouillements
T2	Pont de Soulom	Apex	Tronçon contrôlé par 8 barrettes et 8 seuils sujet éventuellement à l'incision si le pavage est déstructuré notamment en aval des ouvrages transversaux
T3	Apex	Pont interzones	Tronçon sujet au stockage
T4	Pont inter-zones	Confluence	

Tableau 19 : Découpage en tronçons pour l'entretien

Cette notice de suivi et d'entretien dynamiques est résumée sous forme de tableaux des préconisations de actions de contrôle et des travaux d'entretien du lit au droit du système d'endiguement.

Elle intègre également la particularité de ce cône de déjection anthropisée : l'effacement éventuel du masque rocheux (GC 42.3 et GC 43) lors d'une crue BFHM (Basse Fréquence Haute Magnitude au sens de Arnaud-Fassetta & Fort, 2004).

Entretien dynamique

On détermine ainsi deux types d'**entretien dynamique** :

- 1 → Le suivi et l'entretien dynamiques courants activés en post-aléas (crue/tempête) et lors des inter-crués régulièrement et ce, tant que la Bam reste active et fonctionnelle (pas de défluviation vers la BAM). On parlera alors d'**entretien dynamique courant**. Il est détaillé dans les tableaux ci-après.
- 2 → L'entretien dynamique post-crue ayant activé la BAM qui consiste (à l'instar de ce qui a été effectué en post-crue 2013) à effacer les effets de la crue BFHM ayant conduit à la défluviation assistée de Bam vers BAM. Il s'agit donc d'un **entretien dynamique exceptionnel**. Ces nécessaires travaux pour maintenir le système fonctionnel sont décrits après les tableaux traitant de l'entretien dynamique courant

5.5.1. L'entretien dynamique courant :

Cet entretien dynamique est résumé dans les tableaux ci-dessous :

TRONCON N° 1 : du seuil Berty au pont de Soulom – SUIVI ET ENTRETIEN COURANTS DES OUVRAGES ET DE LA MORPHOLOGIE DU LIT

Encodage/Nom	Type d'élément	Berge	Nature de l'ouvrage		Contrôle		Travaux éventuels si désordre(s) décelé(s)	Moyens à mettre en œuvre	Accès
			SAE – Système Anti-Erosion en berge et SAA – Système Anti-Affouillement en lit ou élément		Points à contrôler	Fréquence			
Atterrissement 11	Atterrissement	RG	Accrétion		Engraissement Végétalisation	Post-cruie 1 an	Ecrêter + transfert RD Dévégétaliser	Entreprise de TP En régie	Par le seuil
Seuil Berty	Seuil	-	Seuil		Sous-cavement	Post-cruie	Recharger	Entreprise de TP	Par le seuil
GC 29.1	Ouvrage de protection	RG	SAE ¹ : Masque rocheux SAA ² : Masque rocheux déposé en berge ⇒ pas de fondation		SAE : Erosion berge Végétalisation SAA : Affouillement	Post-cruie 1 an Post-cruie	Recharger Dévégétaliser Recharger	Entreprise de TP En régie Entreprise de TP	Accès n° 1
GC 29.2	Ouvrage de protection	RG	SAE : Enrochement bétonné SAA : Fondation sans avancée en lit en enrochement bétonné (FA ³)		SAE : Blocs de parement, liaisonnement béton Barbacanes SAA : Affouillements en pied d'ouvrage (fondation non débordante en lit) contrôle de la liaison fondation/lit	Post-cruie 1an et post-cruie Post-cruie	Rechargement ou reprise Nettoyage Recharger en blocs	Entreprise de TP Personnel Entreprise de TP	Accès n° 1
GC 30	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur en béton banché SAA : Semelle béton à géométrie inconnue		SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) SAA : Déstructuration de la semelle Affouillements à la liaison fondation/lit ⚠ Attention épaisseur de semelle inconnue	Post-cruie Post-cruie Post-cruie	Reprise des fissures et impacts Reprise Rechargement	Entreprise de TP Entreprise de TP Rechargement	Accès n° 2
GC 31.1	Ouvrage de protection	RG	SAE : Enrochement bétonné SAA : Fondation variable : enrochement bétonné surmonté ponctuellement d'une semelle béton ou d'un sabot parafouille (PP ⁴) variable (entre 0,10 et 3,00 m)		SAE : Blocs de parement, liaisonnement béton Barbacanes SAA : Déstructuration des semelles et/ou sabot parafouille Affouillements à la liaison fondation/lit ⚠ Attention épaisseur de débord et nature de la fondation parafouille variables ⇒ Contrôle des liaisons fondations/lit et des liaisons des différentes fondations entre elles	Post-cruie 1an et post-cruie Post-cruie Post-cruie	Rechargement ou reprise Nettoyage Reprise Rechargement	Entreprise de TP En régie Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 2
GC 36.1	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur poids en béton SAA : Semelle en béton parallélépipédique type longrine		SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) SAA : Déstructuration de la semelle Affouillements à la liaison fondation/lit ⚠ Attention épaisseur de semelle réduite à 0,75 m	Post-cruie Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Reprise Rechargement voire pose sabot	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 2
GC 36.2	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur poids en béton SAA : Semelle en béton parallélépipédique type longrine		SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) SAA : Déstructuration de la semelle Affouillements à la liaison fondation/lit ⚠ Attention épaisseur de semelle réduite à 0,75 m	Post-cruie Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Reprise Rechargement voire pose sabot	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 2
GC 36.3	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur poids en béton SAA : Semelle en béton parallélépipédique type longrine		SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) SAA : Déstructuration de la semelle Affouillements à la liaison fondation/lit ⚠ Attention épaisseur de semelle réduite à 0,75 m	Post-cruie Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Reprise Rechargement voire pose sabot	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 2
GC 27.1	Ouvrage de protection	RD	SAE : Mur maçonné SAA : Bêche en enrochement bétonné		SAE : Contrôle état maçonnerie (disjointement, lacunes...) SAA : Déstructuration de la bêche Affouillements à la liaison fondation/lit	Post-cruie Post-cruie Post-cruie	Rejointoiement, comblement Reprise Rechargement	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n°1
GC 27.2	Ouvrage de protection	RD	SAE : Enrochement bétonné SAA : Bêche en enrochement bétonné		SAE : Blocs de parement, liaisonnement béton SAA : Déstructuration de la bêche Affouillements à la liaison fondation/lit	Post-cruie Post-cruie Post-cruie	Rechargement ou reprise Reprise Rechargement	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n°1
GC 28	Ouvrage de protection	RD	SAE : Enrochement bétonné (partie basse), enrochement libre (partie haute) SAA : Bêche en enrochement bétonné		SAE : Blocs de parement, liaisonnement béton (partie basse) SAA : Déstructuration de la bêche Affouillements à la liaison fondation/lit	Post-cruie Post-cruie Post-cruie	Rechargement ou reprise Reprise Rechargement	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n°1
GC 32	Ouvrage de protection	RD	SAE : Enrochement libre SAA : Bêche en enrochement bétonné, sabot parafouille (PP) disparu (à reconstruire)		SAE : Blocs de parement, liaisonnement béton SAA : Déstructuration de la bêche et/ou du sabot reconstruit Affouillements à la liaison fondation/lit	Post-cruie Post-cruie Post-cruie	Rechargement ou reprise Reprise Rechargement	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n°2

GC 34	Ouvrage de protection	RD	SAE : Enrochement libre SAA : Bêche en enrochement bétonné, sabot parafouille (PP) disparu (à reconstruire)	SAE : Blocs de parement, liaisonnement béton SAA : Déstructuration de la bêche et/ou du sabot reconstruit Affouillements à la liaison fondation/lit	Post-cruie Post-cruie Post-cruie	Rechargement ou reprise Reprise Rechargement	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 2
Atterrissement 10	Atterrissement	RG	Accrétion	Engraissement Végétalisation	Post-cruie 1 an	Ecrêter + transfert RD Dévégétaliser	Entreprise de TP En régie	Accès n° 2
GC 35.1	Ouvrage de protection	RD	SAE : Massif rocheux SAA : Roche	SAE : Sans objet SAA : Sans objet	Sans objet Sans objet	Sans objet Sans objet	Sans objet Sans objet	Sans objet
GC 35.2	Ouvrage de protection	RD	SAE : Mur poids en béton SAA : Inconnue (rajout plinthe en béton banché)	SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) Végétation crête de digue SAA : Contrôle plinthe (érosion) Affouillements en pied d'ouvrage	Post-cruie 1 an Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Dévégétaliser Reprise Rechargement	Entreprise de TP En régie Entreprise de TP Pelle	Accès n° 2
GC 35.3	Ouvrage de protection	RD	SAE : Mur maçonné SAA : Semelle béton	SAE : Contrôle état maçonnerie (disjointoiement, lacunes...) SAA : Déstructuration de la semelle Affouillements à la liaison fondation/lit	Post-cruie Post-cruie	Rejointoiement, comblement Reprise Rechargement voire pose sabot	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n°2

1 : SAE = système anti-érosion (et/ou anti-débordement) positionné en berge et en appui sur une fondation en lit protégeant la berge de l'érosion et/ou le coté val du débordement lors des crues.

2 : SAA = système anti-affouillement en lit constitué d'une semelle ou d'un sabot avançant en lit pour éviter les affouillements susceptibles de déstructurer et de ruiner l'ouvrage en berge auquel il sert de fondation.

4 : FA = fondation d'appui (partie d'ouvrage servant de fondation au SAE). *Nota-Bene* : quand la fondation est mixte (fondation d'appui *stricto sensu* avec petit débord) ou quand les éléments de connaissance sont insuffisants pour indiquer si c'est une fondation d'appui sans débord, le terme FA n'est pas indiqué.

5 : PP = protection parafouille, protection en lit contre l'affouillement venant en débord.

☞ **Nota-Bene** : Pour le tronçon n° 2 les seuils et barrettes en lit ainsi que les zones pavées ont été traitées en même temps, compte-tenu du fait que ces éléments sont sensiblement identiques et que les mesures de suivi et de contrôle ainsi que les travaux d'entretien sont identiques.

TRONCON N° 2 : du pont de Soulom à l'apex – SUIVI ET ENTRETIEN COURANTS DES OUVRAGES ET DE LA MORPHOLOGIE DU LIT									
Encodage/Nom	Type d'élément	Berge	Nature de l'ouvrage		Contrôle		Travaux éventuels si désordre(s) décelé(s)	Moyens à mettre en œuvre	Accès
			SAE – Système Anti-Erosion en berge et SAA – Système Anti-Affouillement en lit ou élément	Points à contrôler	Fréquence				
B1 à B8	Barrettes	-	Barrettes contrôlant le profil en long du lit		Affouillement aval		Recharger	Entreprise de TP	Accès n° 2 ou 3
Seuils A à G	Seuils	-	Seuils contrôlant le profil en long du lit		Affouillement aval		Recharger	Entreprise de TP	Accès n° 2 ou 3
GC 37	Pavage du lit	-	Pavage en gros blocs		Surface pavée		Recharger	Entreprise de TP	Accès n° 2 ou 3
GC 40.1	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur de soutènement canal SAA : Semelle en béton à géométrie inconnue	SAE : Contrôle du mur béton SAA : Contrôle de la partie visible de la semelle	Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Reprise éventuelle béton	Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 2	
GC 40.2	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur en béton SAA : Semelle en béton, semelle anti-affouillement rajoutée (PP) mais pas de donnée géométrique sur cette dernière.	SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) SAA : Déstructuration de la semelle Affouillements à la liaison fondation/lit ☞ Attention épaisseur de semelle inconnue	Post-cruie Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Reprise béton Rechargement	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 2	
GC 40.3	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur en béton SAA : Semelle en béton, semelle anti-affouillement rajoutée (PP) mais pas de donnée géométrique sur cette dernière.	SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) SAA : Déstructuration des semelles Affouillements à la liaison fondation/lit ☞ Attention épaisseur inconnue	Post-cruie Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Reprise béton Rechargement	Entreprise de TP Entreprise de TP Pelle	Accès n° 2	
GC 40.4	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur en béton SAA : Semelle en béton, semelle anti-affouillement (PP) rajoutée mais pas de donnée géométrique sur cette dernière.	SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) SAA : Déstructuration de la semelle Affouillements à la liaison fondation/lit ☞ Attention épaisseur inconnue	Post-cruie Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Reprise Rechargement voire pose sabot	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 2	
GC 46	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur en béton SAA : Semelle en béton, semelle anti-affouillement rajoutée mais pas de donnée géométrique sur cette dernière.	SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) SAA : Déstructuration de la semelle Affouillements à la liaison fondation/lit ☞ Attention épaisseur de semelle inconnue	Post-cruie Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Reprise Rechargement voire pose sabot	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 3	
GC 45bis	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur en béton SAA :	SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) SAA : Déstructuration de la bêche	Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Reprise	Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 3	

			Bêche en enrochement bétonné devant laquelle un sabot en enrochement libre (PP) a été déposé (pas de données géométriques sure)	Déstructuration du sabot Affouillements à la liaison bêche/sabot et/ou à la liaison fondation/lit ☞ Attention épaisseur du sabot inconnue	Post-cruie	Rechargement	Entreprise de TP	
GC 38.1	Ouvrage de protection	RD	SAE : Mur poids en béton SAA : Une partie non connue (amont fondation) et aval longrine béton avec sabot parafouille (PP)	SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) SAA : Déstructuration longrine béton Déstructuration sabot parafouille Affouillement liaison longrine/sabot et/ou sabot/lit ☞ Attention épaisseur de sabot inconnue et globalement fondation mal connue	Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Reprise Rechargement Rechargement	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 2
GC 38.2	Ouvrage de protection	RD	SAE : Mur poids béton + paroi berlinoise SAA : Fondations béton (FA) avec devant semelle parafouille en béton	SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) SAA : Déstructuration de la fondation béton Déstructuration semelle parafouille Affouillement entre la fondation béton/semelle parafouille et à la liaison semelle/lit ☞ Attention épaisseur de semelle inconnue	Post-cruie Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Reprise Rechargement Reprise/rechargement	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 2
GC 38.3	Ouvrage de protection	RD	SAE : Mur en béton SAA : Fondation en béton avec hauteur variable avec semelle parafouille en béton (PP)	SAE : Blocs de parement, liaisonnement béton (partie basse) SAA : Déstructuration de la fondation béton Déstructuration de la semelle parafouille Affouillements à la liaison fondation/lit ☞ Attention épaisseur de semelle inconnue	Post-cruie Post-cruie	Rechargement ou reprise Reprise Reprise Rechargement	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 2
GC 39	Ouvrage de protection	RD	SAE : Mur de soutènement béton (bas) et perré maçonné (haut) SAA : Fondation en béton avec en débord semelle parafouille (PP)	SAE : Blocs de parement, liaisonnement béton SAA : Déstructuration de la fondation Déstructuration de la semelle parafouille Affouillements à la liaison fondation/lit ☞ Attention épaisseur de semelle inconnue	Post-cruie Post-cruie Post-cruie	Rechargement ou reprise Reprise Reprise Rechargement	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n°2

☞ **Nota-Bene :** Pour le tronçon n° 3 les seuils et les atterrissements ont été traités en même temps, compte-tenu du fait que ces éléments sont sensiblement identiques et que les mesures de suivi et de contrôle ainsi que les travaux d'entretien sont de même nature.

TRONCON N° 3 : de l'apex au pont interzones – SUIVI ET ENTRETIEN COURANTS DES OUVRAGES ET DE LA MORPHOLOGIE DU LIT								
Encodage/Nom	Type d'élément	Berge	Nature de l'ouvrage	Contrôle		Travaux éventuels si désordre(s) décelé(s)	Moyens à mettre en œuvre	Accès
			SAE – Système Anti-Erosion en berge et SAA – Système Anti-Affouillement en lit ou élément	Points à contrôler	Fréquence			
Seuils H et GC 52	Seuils	-	Seuils contrôlant le profil en long du lit	Affouillement aval	Post-cruie	Recharger	Entreprise de TP	Accès n° 3
Atterrissement 9 à 4	Atterrissements	-	Accrétion	Engraissement Végétalisation	Post-cruie 1 an	Ecrêter + transfert-injection hors zone (gave de pau) Dévégétaliser	Entreprise de TP En régie	Accès n° 3
GC 45	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur en béton SAA : Bloc béton (FA) avec en débord sabot parafouille en enrochement bétonné (PP)	SAE : Contrôle du mur béton SAA : Déstructuration du sabot Affouillements à la liaison fondation/lit ☞ Attention épaisseur inconnue	Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Reprise sabot (blocs) Rechargement lit et/ou sabot	Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 3
GC 47.1	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur en béton SAA : Bloc béton (FA) avec en débord sabot parafouille en enrochement bétonné (PP)	SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) SAA : Déstructuration du sabot Affouillements à la liaison fondation/lit ☞ Attention épaisseur de semelle inconnue	Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Reprise béton/blocs Rechargement lit et/ou sabot	Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 3
GC 47.2	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur en béton vertical SAA : Bêche en béton (FA + PP) complétée par un sabot parafouille (PP) en enrochement libre	SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) SAA : Déstructuration des semelles Affouillements à la liaison fondation/lit ☞ Attention épaisseur inconnue	Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Reprise béton Rechargement lit et/ou sabot	Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 3
GC 48.1	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur en béton SAA : Fondation en béton (FA), bêche et sabot anti-affouillement (PP) rajoutés	SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) SAA : Déstructuration de la semelle Affouillements à la liaison fondation/lit	Post-cruie Post-cruie	Reprises des fissures et impacts Reprise Rechargement lit et/ou sabot	Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 3
GC 48.2	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur maçonné	SAE : Contrôle état maçonnerie (disjointoiement, lacunes...)	Post-cruie	Rejointoiement, comblement...	Entreprise de TP	Accès n° 3

			SAA : Inconnue, toutefois il y aurait un sabot parafouille réalisé pendant les travaux post-cruie	SAA : Attention • Conseil : avant toute intervention essayer par sondages par plot à l'étiage avec entreprise spécialisée de retrouver la configuration de la fondation en prenant le maximum de précautions (plots minimalistes en taille et minimum de plots, reboucher chaque plot avant de faire le suivant, les combler avec des matériaux grossiers...)	Post-cruie	<u>Comblé strictement tous les affouillements avec des matériaux grossiers</u> tant que fondation inconnue	Entreprise spécialisée (inspection fondation)	
GC 48.3	Ouvrage de protection	RG	SAE : Mur en enrochement bétonné SAA : Inconnue, toutefois il y aurait un sabot parafouille réalisé pendant les travaux post-cruie	SAE : Contrôle état maçonnerie (disjointoiement, lacunes...) SAA : Attention • Conseil : avant toute intervention essayer par sondages par plot à l'étiage avec entreprise spécialisée de retrouver la configuration de la fondation en prenant le maximum de précautions (plots minimalistes en taille et minimum de plots, reboucher chaque plot avant de faire le suivant, les combler avec des matériaux grossiers...)	Post-cruie Post-cruie	Rejointoiement, comblement... <u>Comblé strictement tous les affouillements avec des matériaux grossiers</u> tant que fondation inconnue	Entreprise de TP Entreprise spécialisée (inspection fondation)	Accès n° 3
Seuil pont interzones	Seuil parafouille	-	Béton	Etat général du béton, Affouillement	Post-cruie	Reprise jusqu'à travaux nouveau pont	Entreprise spécialisée ouvrage d'art	Accès par berge
GC 42bis.1	Ouvrage de protection	RD	SAE : Enrochement bétonné partiellement enterré SAA : Bêche en enrochement cyclopéen	SAE : Blocs de parement, liaisonnement béton (partie non enterrée) SAA : Déstructuration de la bêche Affouillements à la liaison fondation/lit (partie non enterrée)	Post-cruie Post-cruie	Rechargement ou reprise Reprise Rechargement	Entreprise de TP Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 3
GC 42bis.2	Ouvrage de protection enterré	RD	SAE : Enrochement bétonné enterré SAA : Bêche en enrochement cyclopéen (FA + PP) et en débord sabot en enrochement bétonné (PP) ces éléments sont enterrés	SAE : Partie non enterrée SAA : Partie enterrée	Annuellement contrôle végétation	Dévégétalisation	En régie	Accès terrestre pour la partie non enterrée supérieure seulement
GC 42.1	Ouvrage de protection	RD	SAE : Mur en enrochement bétonné SAA : Inconnue	SAE : Blocs de parement, liaisonnement béton SAA : Attention • Conseil : avant toute intervention essayer par sondages par plot à l'étiage avec entreprise spécialisée de retrouver la configuration de la fondation en prenant le maximum de précautions (plots minimalistes en taille et minimum de plots, reboucher chaque plot avant de faire le suivant, les combler avec des matériaux grossiers...)	Post-cruie	Rechargement ou reprise	Entreprise spécialisée (inspection fondation)	Accès n° 3
GC 42.2	Ouvrage de protection	RD	SAE : Mur en enrochement bétonné SAA : Inconnue	SAE : Blocs de parement, liaisonnement béton SAA : Attention • Conseil : avant toute intervention essayer par sondages par plot à l'étiage avec entreprise spécialisée de retrouver la configuration de la fondation en prenant le maximum de précautions (plots minimalistes en taille et minimum de plots, reboucher chaque plot avant de faire le suivant, les combler avec des matériaux grossiers...)	Post-cruie	Rechargement ou reprise	Entreprise spécialisée (inspection fondation)	Accès n° 3
GC 42.3	Ouvrage de protection	RD	SAE : Masque rocheux fusible permettant la défluviation de la Bam vers la BAM lors des crues BFHM SAA : Pas de SAA	SAE : Présence du masque rocheux Végétalisation du masque rocheux SAA : Déstructuration de la bêche Affouillements à la liaison fondation/lit (partie non enterrée)	Post-cruie Annuellement Post-cruie	Rechargement Eviter absolument toute végétalisation ⇒ Laisser matériaux libres Reprise Rechargement	Entreprise de TP En régie Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 3
CG 43	Ouvrage de protection	RD	SAE : Masque rocheux fusible permettant la défluviation de la Bam vers la BAM lors des crues BFHM SAA : Pas de SAA	SAE : Présence du masque rocheux Végétalisation du masque rocheux SAA : Déstructuration de la bêche Affouillements à la liaison fondation/lit (partie non enterrée)	Post-cruie Annuellement Post-cruie	Rechargement Eviter absolument toute végétalisation ⇒ Laisser matériaux libres Reprise Rechargement	Entreprise de TP En régie Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 3

TRONCON N° 4 : du pont interzones à la confluence – SUIVI ET ENTRETIEN COURANTS DES OUVRAGES ET DE LA MORPHOLOGIE DU LIT

Encodage/Nom	Type d'élément	Berge	Nature de l'ouvrage		Contrôle		Travaux éventuels si désordre(s) décelé(s)	Moyens à mettre en œuvre	Accès
			SAE – Système Anti-Erosion en berge et SAA – Système Anti-Affouillement en lit ou élément		Points à contrôler	Fréquence			
Atterrissement 3 à 1	Atterrissements	-	Accrétion		Engraissement Végétalisation	Post-cruie 1 an	Ecrêter + transfert-injection hors zone (gave de pau) Dévégétaliser	Entreprise de TP En régie	Accès par l'aval RD
GC 49.1.a	Ouvrage de protection	RG	SAE : Enrochement bétonné		SAE : Blocs de parement, liaisonnement béton	Post-cruie	Rechargement ou reprise	Entreprise de TP	Accès n° 3

			SAA : Bêche en blocs du site bétonnés (FA) et un sabot parafouille (PP)	SAA : Déstructuration du sabot Affouillements à la liaison fondation/lit	Post-crue Post-crue	Reprise sabot (blocs) Rechargement lit et/ou sabot	Entreprise de TP Entreprise de TP	
GC 49.1.b	Ouvrage de protection	RG	SAE : Enrochement liaisonné béton en 2/1 SAA : Bêche en blocs du site bétonnés (FA) et un sabot parafouille (PP) en enrochement libre	SAE : Blocs de parement, liaisonnement béton SAA : Déstructuration du sabot Affouillements à la liaison fondation/lit	Post-crue Post-crue	Rechargement ou reprise Reprise sabot (blocs) Rechargement lit et/ou sabot	Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 3
GC 49.1.c	Ouvrage de protection	RG	SAE : Enrochement liaisonné béton en 2/1 SAA : Bêche en blocs du site bétonnés (FA) et un sabot parafouille (PP) en enrochement libre	SAE : Blocs de parement, liaisonnement béton SAA : Déstructuration du sabot Affouillements à la liaison fondation/lit	Post-crue Post-crue	Rechargement ou reprise Reprise sabot (blocs) Rechargement lit et/ou sabot	Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 3
GC 49.2	Ouvrage de protection	RG	SAE : Prédalles en parement SAA : Bêche en enrochement bétonné (FA) et sabot parafouille (PP) en enrochement libre	SAE : Etat général du mur (fissures, impacts...) SAA : Déstructuration du sabot Affouillements à la liaison fondation/lit	Post-crue Post-crue	Reprises des fissures et impacts Reprise Rechargement lit et/ou sabot	Entreprise de TP Entreprise de TP	Accès n° 3
Pas d'ouvrage en rive droite								

Mini-glossaire des termes employés dans la notice d'entretien

Pour lire les tableaux ci-dessus, les termes employés ont la signification suivante :

Désordres : terme générique indiquant dans un aménagement un problème structurel susceptible de s'aggraver et de conduire un ouvrage à sa ruine partielle ou totale.

Déstructuration : il s'agit de désordres internes à une structure pouvant conduire à sa déstabilisation (ruine partielle ou totale). Ainsi un enrochement non liaisonné peut avoir des lacunes (blocs manquants) favorisant au fil des crues la déstabilisation des blocs alentours... Un élément en béton peut être fissuré, ces fissures pouvant ensuite conduire à sa ruine...

Dévégétaliser : terme employé ici de manière générique. Il s'agit de supprimer la végétation dans une protection (par exemple poussant entre les blocs) mais également sur un atterrissement. Dans ce cas, suivant le niveau de végétalisation cela peut-être de supprimer la végétation, de dessoucher, voire lorsque cette végétation est ancienne (strate arbustive voire arborée) après dessouchage de scarifier pour faciliter la remobilisation des matériaux.

FA : acronyme pour fondation d'appui (fondation soutenant la protection)

En régie : Travaux effectués en interne par le gestionnaire. Toutefois dans certains cas ils peuvent nécessiter la location de matériel spécialisé (par exemple une mini-pelle) ou encore nécessiter une intervention complémentaire d'une entreprise de TP (exemple pour de la scarification d'atterrissement après dévégétalisation).

Entreprise de TP : terme employé ici de manière générique. Il concerne des entreprises susceptibles de réaliser toutes sortes de travaux en rivière (batardage, protections de berge, reprise de protection y compris matage de fissures, rejointoiement de maçonneries, réalisation de semelles en béton...).

Lacune : manque de matériaux dans un mur maçonné, un enrochement. Les éléments manquants ont été érodés et emportés lors d'une crue morphogène.

PP : acronyme pour protection parafouille avançant en lit (débord)

Recharger : cette action concerne l'apport et la mise en œuvre de matériaux (blocs pour un enrochement type sabot parafouille voire parement, matériaux grossiers pour combler des affouillements en lit...).

Reprendre : cette action concerne la reprise avec la même technique d'un aménagement partiellement déstructuré ou déstabilisé afin d'éviter l'aggravation des désordres constatés et de lui rendre sa performance hydraulique.

SAA : Système Anti-Affouillement, fondation en lit avançant par rapport à la fondation stricto-sensu et protégeant une partie du lit de l'affouillement.

SAE : Système Anti-Erosion, protection du parement de talus de berge contre l'érosion du cours d'eau.

5.5.2. [L'entretien dynamique exceptionnel](#)

Cet entretien est à mettre en œuvre lorsque la BAM (Bande Active Majeure) a été activée par une crue BFHM, c'est-à-dire lorsque l'avulsion dirigée a fonctionné (cf. figures ci-dessous).

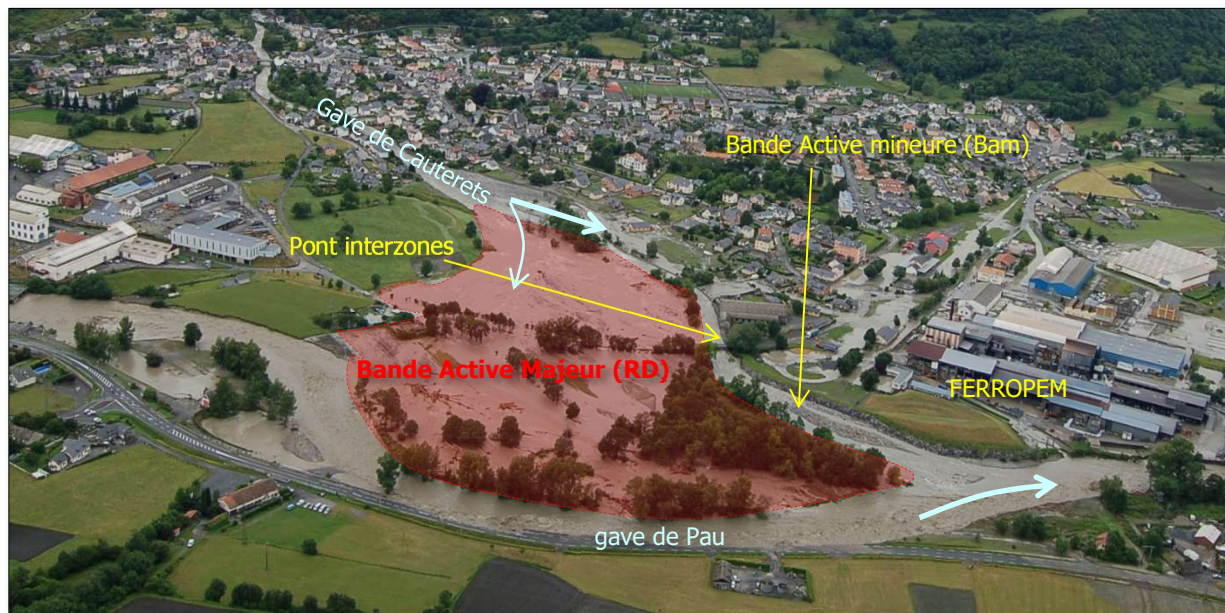
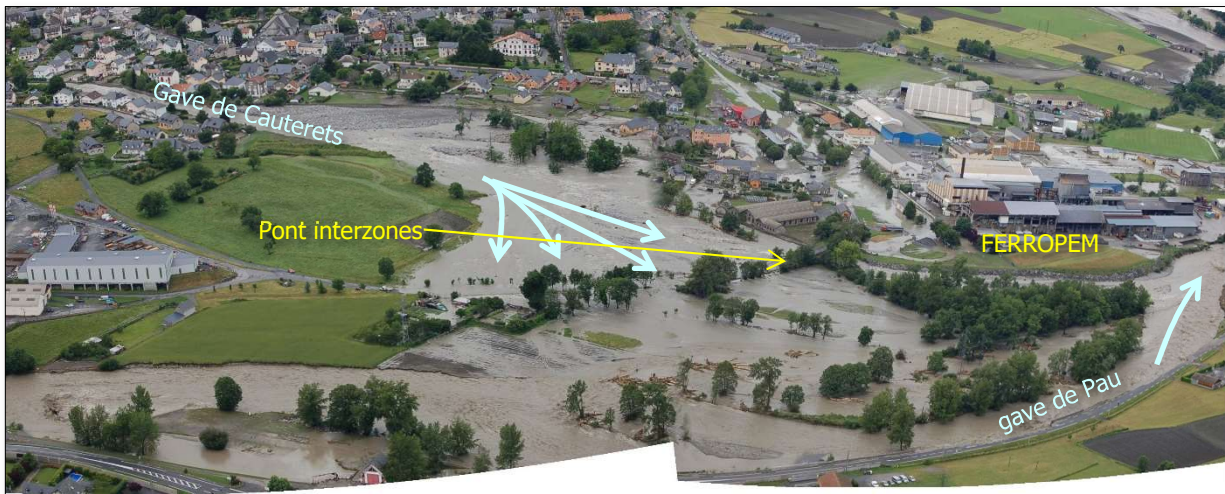


Figure 39 : Défluviation du gave dans la BAM lors de la crue de 2013 (source DDT 65)

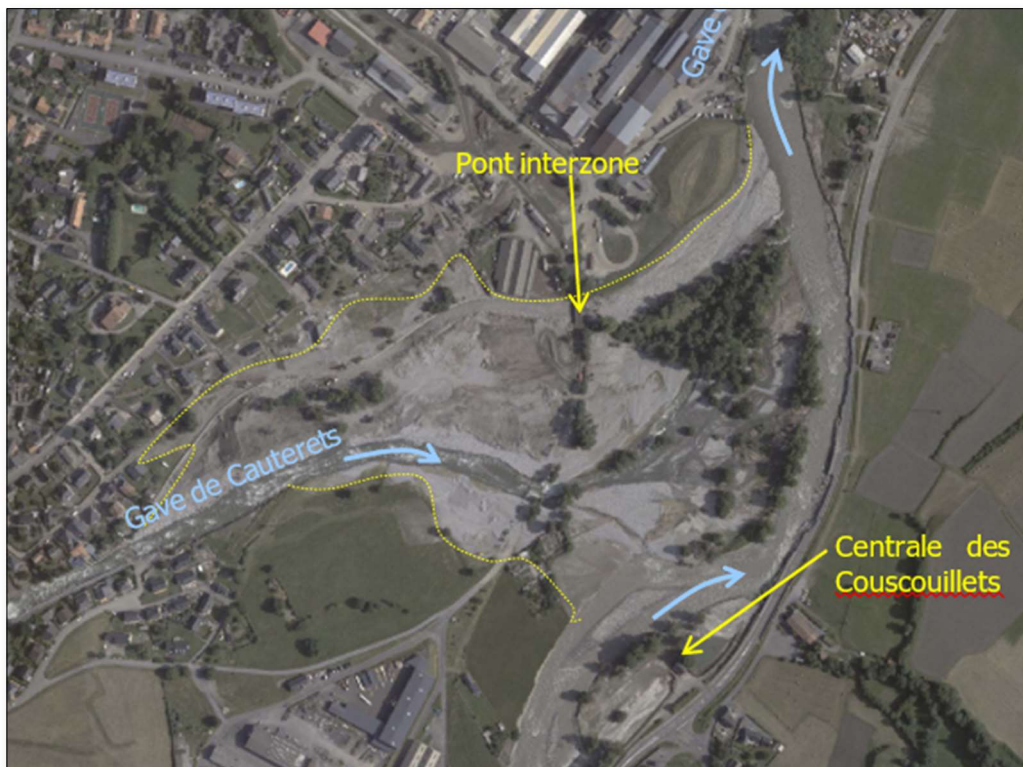


Figure 40 : Vue de la partie distale du cône qui s'est activée lors de la crue de 2013 (source DDT 65)

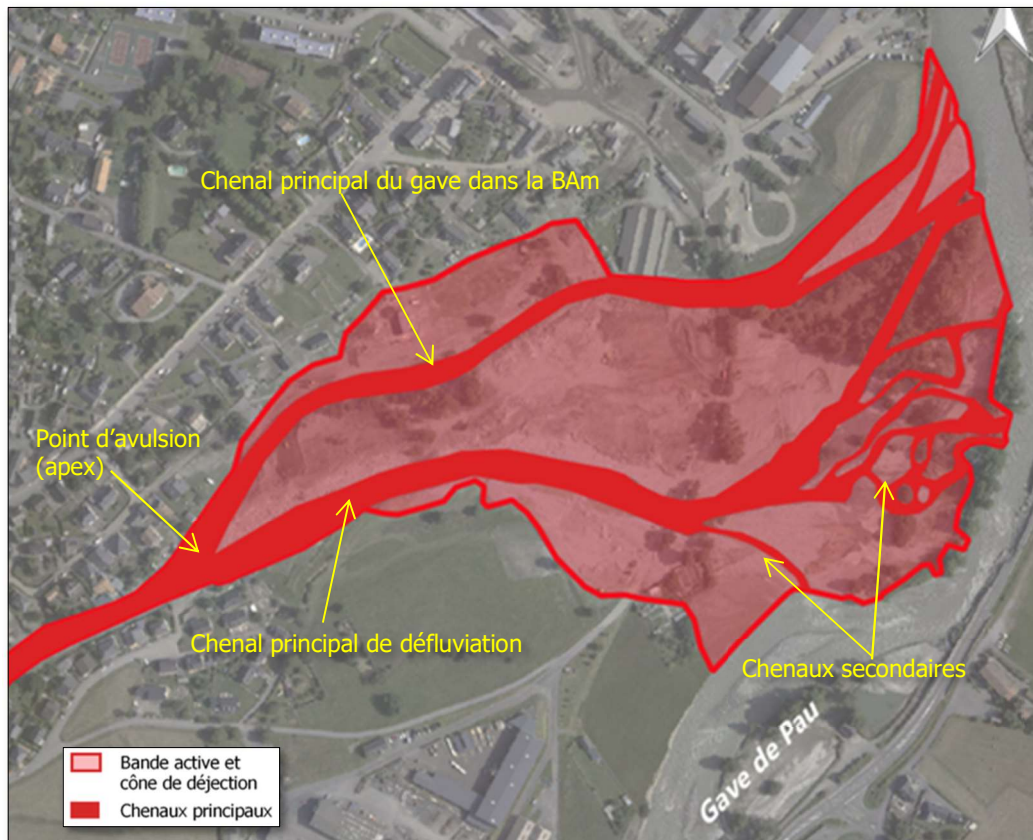


Figure 41 : Détail de la BAM activée lors de la crue de 2013 avec les chenaux de défluviation résiduels en post-crue (source DDT 65)

Le contrôle post-crue exceptionnelle devra reprendre les bases du contrôle courant (cf. ci-dessus) en particulier en amont de la zone de défluviation et en rive gauche de la BAM.

Nota-Bene : Les travaux présentés ci-dessous sont des grands principes qui s'effectueront certainement dans un contexte d'urgence, contexte particulier lors duquel les règles applicables couramment sont logiquement assouplies pour pallier cet état d'urgence.

Il convient de noter également que suite à la crue de 2013 des besoins importants en matériaux pour réparer les berges et travailler le lit ont été nécessaires, le secteur du cône de déjection lors de ce type de crue est un secteur de sédimentation préférentiel (estimation Hydrétudes en 2020 : 118 000 m³).

Ce chapitre ne traite pas de la reprise des ouvrages du système d'endiguement, mais des travaux concernant la morphologie du lit mineur et majeur (BAm et BAM) et de leur « courroie de transmission » c'est-à-dire le masque rocheux de défluviation GC 42.3 et GC 43.

Les travaux vont ainsi consister en :

Première opération : travailler la BAM en y créant un lit acceptable.

Il s'agit d'expurger le trop-plein de matériaux déposés en lit qui ont ainsi favorisé la défluviation vers la BAM.

⇒ **Principe général : appliquer le *statu quo* (cf. § 4.2.3.1 paragraphe 2)**

Il s'agit de revenir à une BAM superposable à l'actuelle pour cela on effectuera des travaux de façonnage du lit en utilisant principalement les matériaux atterris dans la BAM lors de la crue exceptionnelle :

(1) → On **expurgera les matériaux déposés excédentaires** pour arriver à volume total $\approx 3\,500\text{ m}^3$ dans la Bam entre l'apex et le pont de Soulom et $\approx 1\,500\text{ m}^3$ en aval de ce dernier dans la zone de confluence. Ces matériaux excédentaires pourront être utilisés pour l'opération n° 2 (comblement des chenaux de défluviation).

(2) → On **recréera de chenaux d'étiage à l'instar des chenaux actuels** et en s'en servant comme modèle. On veillera à avoir des chenaux correctement positionnés en altimétrie, notamment par rapport aux différents ouvrages de rive gauche et en particulier à leurs fondations débordantes. Il s'agit ainsi d'avoir la revanche supérieure maximale et la revanche inférieure maximale. Les matériaux superficiels

devront constituer une armure grossière (avec une granulométrie du type 20-250 mm et un $D_{50} \approx 75$ mm). Ces chenaux devront avoir des pentes compatibles avec les pentes actuelles (cf. figure 15, tableau 3 de la note technique hydromorphologique de juin 2020).

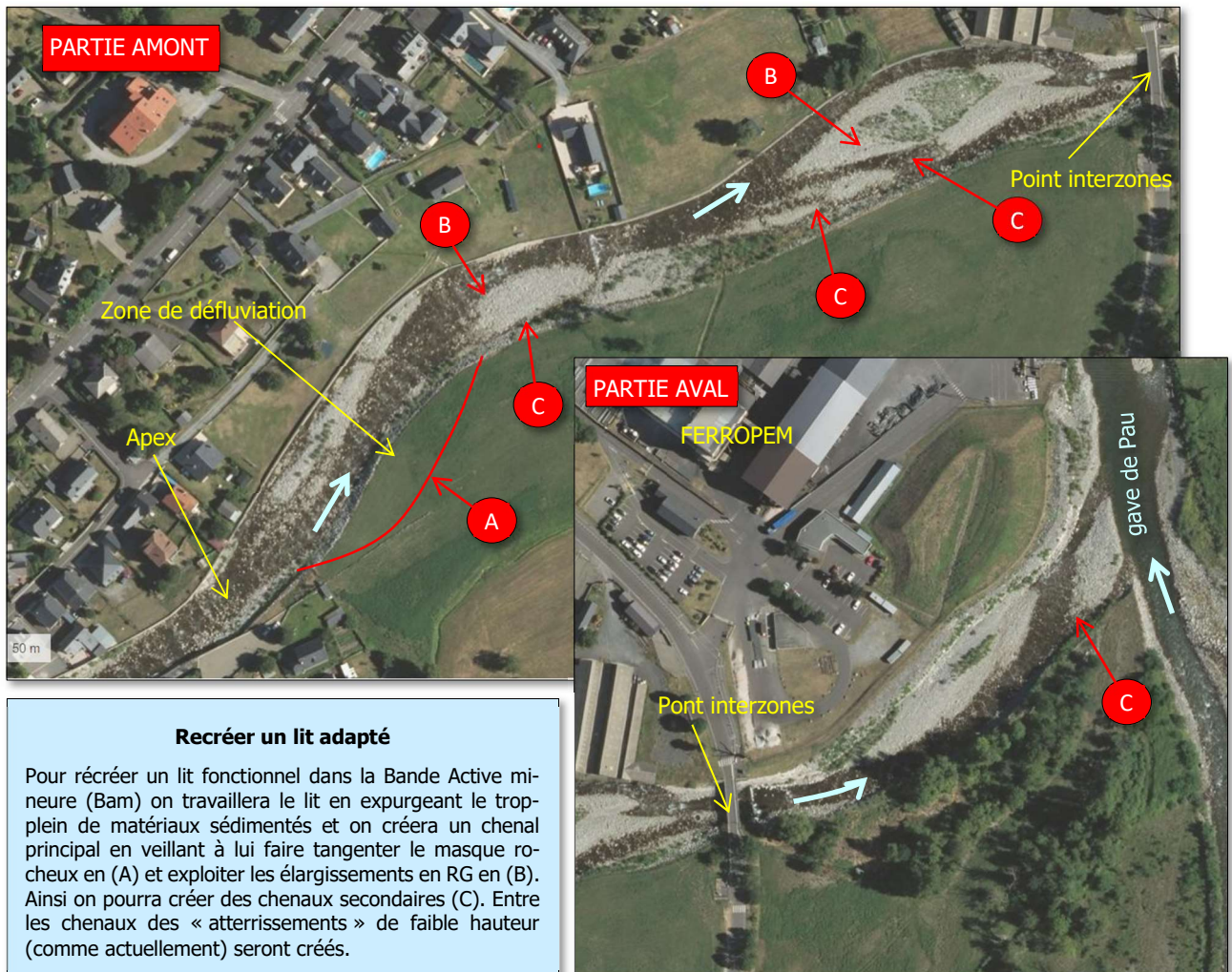


Figure 42 : Recréation d'un lit post-crué dans la BAM à partir de la morphologie du lit actuel

Deuxième opération : travailler la BAM pour préparer la prochaine défluviation,

Pour la BAM il s'agit de travailler les chenaux et la topographie du site pour qu'à la prochaine crue BFHM avec défluviation, ce processus se passe correctement.

⇒ Principe général : là-encore appliquer le *statu quo* (cf. § 4.2.3.1 paragraphe 2)

Il s'agit de revenir à une BAM proche de l'actuelle pour cela on effectuera des travaux de façonnage du lit en utilisant principalement les matériaux atterris dans la BAM (et éventuellement la Bam) :

(1) → On **expurgera les matériaux déposés excédentaires** pour conserver une topographie qui permette la défluviation : autrement dit pas de rehausse importante du TN et maintien de la berge actuelles de la Bam en rive droite.

(2) → On **comblera les chenaux de défluviation** : chenal principal et chenaux secondaires (cf. Figure 41) préférentiellement avec des matériaux du site.

Troisième opération : Reconstituer le masque rocheux pour préparer la prochaine défluviation,

La dernière opération consistera à reconstituer le masque rocheux bordant la Bam et délimitant la BAM, à l'identique de l'actuel.

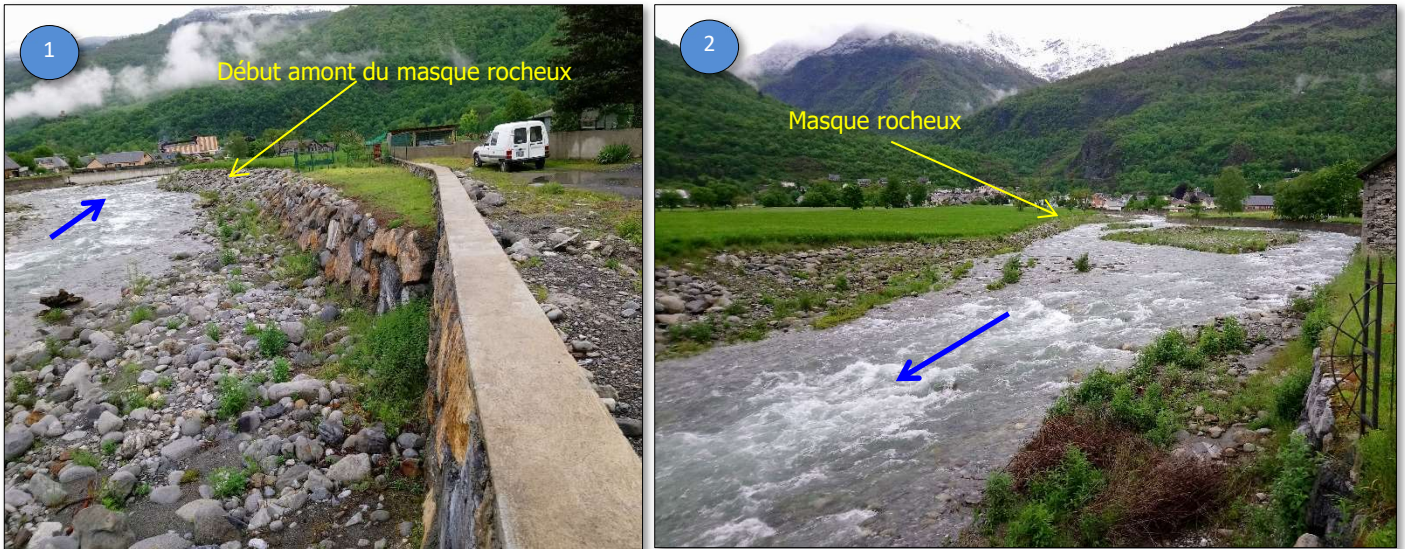



Figure 43 : (1) → Vue du masque du rocheux depuis l'apex en appui sur un enrochement

6. GLOSSAIRE GENERAL

L'**avulsion** est un 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.

La **crue morphogène** est la crue dont le niveau dépasse le seuil de mise en mouvement des matériaux et dont les effets contribuent à modifier de manière plus ou moins importante la morphologie du lit (stock alluvial, profil en long par le jeu des exhaussements et des incisions, profil en travers par le jeu de la sédimentation et de l'érosion). Une crue morphogène peut également avulser le lit et lui donner ainsi un nouveau tracé shuntant alors le tracé qu'il avait jusque-là.

L'**entretien dynamique** est un entretien  basé sur un suivi régulier et une réponse rapide pour pallier efficacement les désordres constatés à travers un suivi longitudinal (intégrant les intercrues, les post-crués et les aléas climatiques tels que les tempêtes...).

Cet entretien est donc un véritable **accompagnement dynamique** de la morphologie du lit et de l'efficacité des ouvrages du système d'endiguement.

La **fondation complexe** d'un ouvrage de protection contre l'érosion et/ou contre les débordements est un élément de cet ouvrage en lit, servant de fondation et protégeant également le lit de l'affouillement, c'est donc un système anti-affouillement. Une fondation complexe est ainsi composée de deux éléments en lit : généralement une fondation d'appui (c'est-à-dire sur laquelle l'ouvrage de protection en berge s'appuie) complétée par une protection parafouille débordant largement en lit.

Hétérométrie désigne des matériaux de taille très diverses.

L'**intercrué** est la période se déroulant entre deux crues morphogènes. Lors des intercrues et en particulier des intercrues prolongées, la végétation va se développer et fixer ainsi les alluvions mobilisées lors de la crue précédente et va ainsi participer activement à la relaxation de la crue précédente.

Le **patron géomorphologique** est un modèle dynamique qui caractérise le fonctionnement et l'évolution dynamiques d'un cours d'eau. Dans des conditions identiques aux conditions actuelles le patron prédétermine les réponses morphologiques du cours d'eau notamment suite aux crues morphogènes. Il est construit à partir du style fluvial et des contraintes anthropiques.

La **performance hydraulique** d'un ouvrage (protection de berge, protection contre les inondations...) est la capacité de résilience d'un ouvrage notamment suite aux crues par rapport au dimensionnement qui a été fixé lors de sa conception (par exemple : capacité d'une protection de berge de résister jusqu'à tel niveau de crue, capacité d'une digue d'éviter les débordements jusqu'à tel niveau de crue et de conserver sa revanche vis-à-vis de cette crue).

La **performance hydromorphologique** du lit d'un cours d'eau est sa capacité à faire transiter les écoulements liquides et solides, particulièrement lors des crues. Cette performance hydromorphologique est liée :

- (1) → Au lit *stricto-sensu* définit par ses points de contrôle latéraux, verticaux et longitudinaux à un instant t , c'est-à-dire le profil en long et la topographie des berges (caractérisée par les pieds et hauts de berges (naturelles ou corsetées)),
- (2) → Aux macroformes liées aux crues et au transport (i) solide par charriage et en suspension dans la colonne d'eau et (ii) aux flottants amenés par les crues (bois, déchets) et aux chenaux qu'elles délimitent. Ainsi en récession de crues les matériaux transitant sont déposés en lit pendant que le ou les chenaux fonctionnels pour les écoulements en basses-eaux se fixent.

Le **point nodal** est (dans certaines singularités) un point clairement identifiable qui est ainsi générateur des évolutions de la morphologie du lit (vers l'aval et/ou vers l'amont), dans ce cas il est identifié comme point nodal de la singularité (par exemple : un seuil).

Le **point zéro** (PZ) est le point de départ temporel du suivi longitudinal, il en détermine l'état de référence.

La **résilience hydromorphologique** du lit d'un cours d'eau est sa capacité à faire évoluer sa performance hydromorphologique pour adapter sa morphologie aux différentes crues morphogènes qu'il subit.

La **respiration** (verticale du lit) concerne les variations altitudinales du niveau du lit autour d'un niveau moyen. Ces variations sont liées aux crues et au transit sédimentaire. La respiration d'un lit est ainsi caractérisée par le charriage des matériaux le constituant pendant les crues et leur remplacement en fin de crue par d'autres, de telle sorte que le niveau du lit reste quasiment constant.

On parle de respiration latérale pour caractériser l'évolution en plan de la bande active d'un cours d'eau.

Le **suivi longitudinal** permet de suivre une population ou un phénomène dans le temps, à partir et en fonction d'un événement de départ (point-zéro). Ce suivi longitudinal permet donc de suivre l'évolution de la population ou du processus étudiés sur sa durée.

Dans le domaine du suivi dynamique longitudinal des cours d'eau se suivi doit être permanent pour adapter les modalités de gestion aux évolutions dynamique et particulièrement dans le contexte actuel de forçages climatique et anthropique.

Condition *sine qua non* d'un suivi longitudinal :

- (1) → Les données concernent deux périodes distinctes
- (2) → Les éléments étudiés sont identiques (répétitivité de la mesure)

L'intérêt du suivi longitudinal est qu'on peut comparer tout au long du suivi entre la mesure du début (point-zéro) et la dernière mesure effectuée mais également avec les mesures intermédiaires.

Le suivi longitudinal qui se déroule dans le temps s'oppose à une étude dite transversale qui elle observe un phénomène ou une population à l'instant t . Si on compare l'étude transversal à une photographie, le suivi longitudinal serait un film.

7. BIBLIOGRAPHIE

ARNAUD-FASSETTA, G., FORT, M., 2004. La part respective des facteurs hydroclimatiques et anthropiques dans l'évolution récente (1956 - 2000) de la bande active du haut Guil, Queyras. Méditerranée, Géosystèmes montagnards et méditerranéens – mélanges offerts à Maurice Jorda, 102, pp. 143-156.

BROOKES, A., 1988. Channelized rivers: perspectives for environmental management. John Wiley & Sons, Chichester.

DUFOUR, S., 2005. Contrôles naturels et anthropiques de la structure et de la dynamique des forêts riveraines des cours d'eau du bassin rhodanien (Ain, Arve, Drôme et Rhône). Thèse de Géographie et Aménagement. Université Jean Moulin Lyon 3, 244 p.

LANG, P., 2010. Hydrodynamique bidimensionnelle Logiciel TELEMAT-2D Version 6.0 Manuel de l'utilisateur 2010.

WOLMAN, M.G., GERSON, R., 1978. Relative scales of time and effectiveness in watershed geomorphology. *Earth Surface Processes*, 3, pp. 189-208.

