
Rapport de stage individuel

5^{ème} Année

Délimitation d'un Espace de Bon Fonctionnement sur le Verdon

Entreprise : Dynamique Hydro
Adresse : 4 rue Chinard
69009 Lyon-

Tuteur entreprise : Charles Monneret
Fonction : Hydromorphologue et co-gérant
Maître de stage : Loïc Grospretre
Fonction : Hydromorphologue, chef de projet

Etudiante :
Joséphine Artus
IMA
2020-2021

Tuteur académique : Vincent Rotgé

Sommaire

Sommaire	3
Remerciements	5
Table des illustrations.....	6
Table des tableaux.....	6
Liste des abréviations	6
1- PRESENTATIONS PREALABLES	8
1.1- Bureau d'études Dynamique Hydro	8
1.2- Missions complémentaires réalisées	8
1.2.1- Analyse géomorphologique liée aux barrages – Vidourle	9
1.2.2- Suivi de l'évolution de bancs - Isère	9
1.2.3- Rédaction d'un Dossier Loi sur l'Eau – Rival.....	9
1.2.4- Caractérisation d'érosion de berges – Ain	9
2- INTRODUCTION	10
3- MATERIEL ET METHODE : DETERMINATION D'UN EBF	11
3.1- Description et aspects techniques d'un EBF	11
3.1.1- Généralités	11
3.1.2- Etapes méthodologiques clés.....	12
3.2- EBF appliqué au Verdon	13
3.2.1- Compréhension du contexte territorial du Verdon	13
3.2.1.1- Recherches bibliographiques	13
3.2.2- Construction de l'EBF	13
3.2.2.1- Délimitation des périmètres morphologiques théoriques	13
3.2.2.2- Délimitation des périmètres morphologiques appliqués	14
3.2.2.3- Délimitation des périmètres hydrauliques théoriques.....	14
3.2.2.4- Délimitation des périmètres hydrauliques appliqués	15
3.2.3- Compréhension du fonctionnement hydromorphologique du Verdon	15
3.2.3.1- Sectorisation	15
3.2.3.2- Analyse topographique des fonds.....	15
3.2.3.3- Analyse granulométrique.....	15
3.2.3.4- Analyse diachronique des bandes actives.....	16
4- RESULTATS.....	17
4.1- Eléments de diagnostic	17
4.1.1- Contexte général du Verdon	17
4.1.2- Eléments hydromorphologiques	20
4.1.2.1- Sectorisation	20
4.1.2.2- Evolutions verticales	21
4.1.2.3- Evolutions en plan.....	23
4.1.2.4- Constitution des fonds	29

4.2- EBF élaboré.....	31
4.2.1- <i>Espaces intégrés à l'EBF</i>	31
4.2.1.1- <i>Espaces morphologiques liées aux confluences</i>	31
4.2.1.2- <i>Espaces biologiques</i>	31
4.2.1.3- <i>Espaces hydrogéologiques</i>	31
4.2.1.4- <i>Espaces biogéochimiques</i>	31
4.2.2- <i>Emprise EBF</i>	32
5- DISCUSSION	35
5.1- Portée et limites de l'EBF	35
5.1- Leviers pour la restauration du Verdon	35
6- CONCLUSION	37
Bibliographie	38
Annexes	39

Remerciements

Je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui m'ont accompagnée tout au long de ce stage.

- Loïc Grospretre, mon maître de stage, qui m'a formée avec pédagogie et patience.
- Charles Monneret, mon tuteur de stage, qui s'est assuré du bon déroulement de ma mission et de mon intégration au sein de l'équipe.
- Clément Moret-Bailly et Baadis Zouaoui qui ont contribué à l'élargissement de mes connaissances en me confiant des missions complémentaires.
- Marion Monneret, Benoit Fourcade et Simon Chabbert qui ont été disponibles pour répondre à mes questions.
- Madile Tillie et Elisabeth Poupin, pour leurs relectures attentives.

Table des illustrations

Figure 1 : Répartition temporelles du stage	8
Figure 2 : Localisation des secteurs étudiés et des barrages	10
Figure 3 : Les interactions existantes entre les fonctions naturelles (BURGEAP)	11
Figure 4 : Localisation des levés granulométriques sur le Bas et le Moyen Verdon	16
Figure 5 : L'occupation du sol sur le Bas Verdon.....	18
Figure 6 : L'occupation du sol sur le Moyen Verdon	18
Figure 7 : Contexte environnemental du Bas Verdon	19
Figure 8 : Contexte environnemental du Moyen Verdon	19
Figure 9 : Contexte hydrogéologique du Bas Verdon	19
Figure 10 : contexte hydrogéologique du Moyen Verdon	19
Figure 11 : Sectorisation du Bas Verdon	20
Figure 12 : Sectorisation sur le Moyen Verdon	21
Figure 13 : Evolutions verticales sur le Bas Verdon.....	22
Figure 14 : Evolutions verticales sur le Moyen Verdon.....	22
Figure 15 : Evolution des largeurs des bandes active du Moyen Verdon	23
Figure 16 : Evolution de la largeur des bandes actives du Bas Verdon.....	23
Figure 17 : Evolutions en plan du Bas Verdon amont	24
Figure 18 : Evolutions en plan du Bas Verdon aval	25
Figure 19 : Evolutions en plan du Moyen Verdon Amont	26
Figure 20 : Evolutions en plan du Moyen Verdon intermédiaire	27
Figure 21 : Evolutions en plan du Moyen Verdon aval.....	28
Figure 22 : La granulométrie dominante sur le Bas Verdon.....	29
Figure 23 : La granulométrie dominante sur le Moyen Verdon	30
Figure 24 : L'EBF du Bas Verdon	33
Figure 25 : L'EBF du Moyen Verdon	34

Table des tableaux

Tableau 1 : Opérations effectuées sur l'étude du Vidourle	9
Tableau 2 : Résumé des recherches bibliographiques effectuées	13
Tableau 3 : Démarche de délimitation des périmètres hydrauliques	15
Tableau 4 : Années choisies et explications liées	17

Liste des abréviations

APPB : Arrêté Préfectoral Protection du Biotope

AZI : Atlas des zones inondables

DCE : Directive Cadre européenne sur l'Eau

DEA : Diplôme d'Etude approfondies

DLE : Dossier Loi sur l'Eau

EBF : Espace de Bon Fonctionnement

EDH : Espace de divagation historique

EPTB : Etablissement Public Territorial de Bassin

GEMAPI : Gestion de Milieux Aquatiques et la Prévention des risques Inondation :

MEFM : Masse d'Eau Fortement Modifiée :

PAGD : (Plan d'Aménagement et de Gestion Durables)

PPRI : Plan de Prévention des Risques Inondation

SAGE : Schéma d'Aménagement et Gestion de l'Eau

SIRRA : Syndicat Isérois des Rivières Rhône aval

TCC : Tronçon court-circuité

TRI : Territoire important du Risque inondation

1- PRESENTATIONS PREALABLES

1.1- Bureau d'études Dynamique Hydro

Le bureau d'études Dynamique Hydro a été fondé en 2004 par Charles Monneret, Clément Moret-Bailly et Baltazard Bory, trois jeunes diplômés d'un D.E.A (Diplôme d'Etudes Approfondies) « Interface Nature et société » de géographie physique et géomorphologie fluviale. L'entreprise s'est peu à peu développée et emploie aujourd'hui un total de sept salariés aux compétences variées et polyvalentes :

- Charles Monneret et Clément Moret-Bailly (hydrogéomorphologues et cogérants) se consacrent notamment aux études hydrogéomorphologiques et aux projets de restauration ;
- Baadis Zouaoui (hydraulicien et hydrogéomorphologue) s'occupe principalement des projets de maîtrise d'œuvre ;
- Loïc Grospretre (hydrogéomorphologue) est responsable des suivis techniques et scientifiques ;
- Benoit Fourcade (hydrologue et hydraulicien) s'occupe du volet hydraulique et hydrologique ;
- Simon Chabbert (hydrogéomorphologue) participe aux projets de restauration et maîtrise les aspects réglementaires ;
- Marion Monneret les assiste et gère l'entreprise d'un point de vue administratif.

Dynamique Hydro a pour vocation de comprendre, de restaurer et de valoriser les écosystèmes aquatiques. A ses débuts, l'entreprise mène principalement des suivis techniques et scientifiques en lien avec l'hydromorphologie. Ces derniers visent à comprendre le fonctionnement des cours d'eau et à gérer l'évolution des formes des rivières en établissant, par exemple, des plans de gestion sédimentaire. En 2010, les études se sont diversifiées avec l'arrivée des projets de maîtrise d'œuvre. Il s'agit de restaurer la qualité morphologique et physique des cours d'eau (renaturations, déplacements de cours d'eau, confortement de berges...) et de rétablir la continuité écologique (effacement ou aménagement d'ouvrages hydrauliques).

Au fil de son développement, il a été important pour Dynamique Hydro d'investir dans du matériel spécifique pour les mesures. Cela lui confère aujourd'hui une réelle autonomie dans les études et les projets qu'il mène. Cet atout participe notamment à son identité.

1.2- Missions complémentaires réalisées

En plus de la mission principale liée à la délimitation de l'Espace de Bon Fonctionnement (EBF) du Verdon, j'ai travaillé sur d'autres études (figure 1). Le but de cette partie est de les présenter brièvement et de les valoriser.

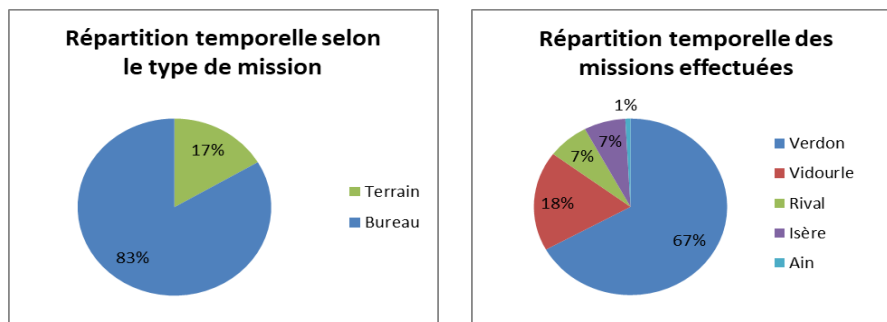


Figure 1 : Répartition temporelle du stage

1.2.1- Analyse géomorphologique liée aux barrages – Vidourle

L'EPTB (Etablissement Public Territorial de Bassin) Vidourle établit un plan de gestion sédimentaire au niveau de trois barrages écrêteurs des crues. J'ai pris part à l'analyse qui vise à comprendre le fonctionnement actuel de ces trois barrages et leurs impacts respectifs sur le transport solide. L'ensemble des opérations que j'ai réalisées sont regroupées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Opérations effectuées sur l'étude du Vidourle

Type	Opération	Description et outils utilisés	But
Bureau	Analyse diachronique	Géoréférencement (photos aériennes anciennes) et photo-interprétation	Evaluer l'évolution en plan du lit
	Analyse hydraulique	Etablissement de la chronique des crues (banque hydro et excel) et délimitation des zones inondées	Connaître l'impact des barrages sur les débits liquides et solides
	Synthèse bibliographique	Lecture d'études déjà réalisées (transport solide) et fonctionnement des barrages	Comprendre les éléments déjà étudiés et identifier les éléments manquants
Terrain	Analyse topographique	Levés au GPS et au niveau de chantier, établissement d'un profil en long	Apprécier la modification de la pente (dépôts et érosion progressive)
	Relevés bathymétriques	Levés à l'échosondeur et GPS montés sur un bateau	Evaluer l'évolution des fonds de la retenue en eau
	Etude granulométrique	Prélèvements à la benne d'Ekman en retenue, détermination visuelle des discontinuités sur les autres tronçons	Evaluer l'impact du barrage sur les matériaux solides

1.2.2- Suivi de l'évolution de bancs - Isère

EDF a lancé en 2014 un suivi morphologique pluriannuel de l'Isère dans la Combe de Savoie. Il s'agit de suivre les évolutions en plan, en altitude et granulométrie – et plus particulièrement les dépôts de sédiments fins (sables et limons) – de six bancs alluviaux.

Trois campagnes de terrain ont été réalisées lors du stage. Les deux premières ont consisté à sillonner les bancs selon un quadrillage précis avec un GPS. A chaque point, l'altitude, le taux de recouvrement surfacique des dépôts fins et leur épaisseur ont été relevés. La dernière campagne a consisté à relever et implanter des sondes mesurant les niveaux d'eau à différents points du tronçon suivi. Ces différents indicateurs permettent de mettre en évidence les évolutions morphologiques des bancs et de les mettre en relation avec les conditions hydrauliques.

1.2.3- Rédaction d'un Dossier Loi sur l'Eau – Rival

Pour rétablir la continuité écologique sur un linéaire de 5,4 km du Rival, une restauration a été engagée par le Syndicat Isérois des Rivières Rhône aval (SIRRA). Un gué va être remplacé par un pont cadre. Avant de pouvoir lancer un dossier de consultation des entreprises pour la réalisation des travaux, il est nécessaire d'effectuer un dossier réglementaire solide. C'est ainsi, que j'ai participé à la rédaction d'un Dossier Loi sur l'Eau (DLE).

1.2.4- Caractérisation d'érosion de berges – Ain

Le parc naturel régional du Haut Jura a lancé un appel à projet pour élaborer la restauration sur une portion de l'Ain qui est en déficit sédimentaire. Une des solutions envisagée par Dynamique Hydro est d'effectuer une recharge sédimentaire.

J'ai participé à la campagne de terrain dédiée à l'analyse des berges érodées. Sur chacune d'entre elles, les couches sédimentaires présentes ont été mesurées et caractérisées selon la granulométrie des particules : fines, intermédiaires et grossières. Ainsi, il est possible de connaître le type de matériaux que le cours d'eau est en train de remobiliser. De plus, cela donne une idée du type de matériaux potentiellement présents dans la plaine alluviale.

2- INTRODUCTION

Le Verdon est rivière méditerranéenne de montagne qui prend sa source dans le massif des Trois Evêchés. Longue de 165 km, elle draine un bassin versant de 2289 km², avant de se jeter dans la Durance au niveau du barrage de Cadarache. Depuis 2008, elle est couverte par un SAGE (renouvelé en 2014) et par un contrat territorial de rivière. Malgré une grande richesse écologique et paysagère, elle est classée comme Masse d'Eau Fortement Modifiée (MEFM). Selon l'agence de l'eau, il s'agit des milieux aquatiques « ayant subi certaines altérations physiques dues à l'activité humaine ». Ces milieux ont tellement été perturbés qu'atteindre le bon état écologique imposé par la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) est impossible. Il est plutôt question d'atteindre un bon potentiel écologique. Cette qualification du Verdon est due à la présence de cinq grands barrages hydroélectriques (figure 2).

C'est dans la volonté d'améliorer le fonctionnement global du Verdon que le parc naturel régional du Verdon, qui possède la compétence GEMAPI (Gestion de Milieux Aquatiques et la Prévention des risques Inondation), a lancé un appel d'offre pour délimiter l'Espace de Bon Fonctionnement (EBF) du Verdon et établir un plan de gestion sédimentaire. L'espace de Bon Fonctionnement (EBF) des cours d'eau est un concept récent qui vise à préserver et à améliorer toutes leurs fonctionnalités. C'est l'espace que nécessite un cours d'eau pour assurer durablement et sans contrainte ses fonctions naturelles (Terrier et al., 2016). Le bureau d'études Dynamique Hydro a été mandaté en décembre 2020 pour réaliser cette étude sur les secteurs du Moyen Verdon, en amont des célèbres gorges du Verdon, et du Bas Verdon en amont de la confluence avec la Durance (figure 2).

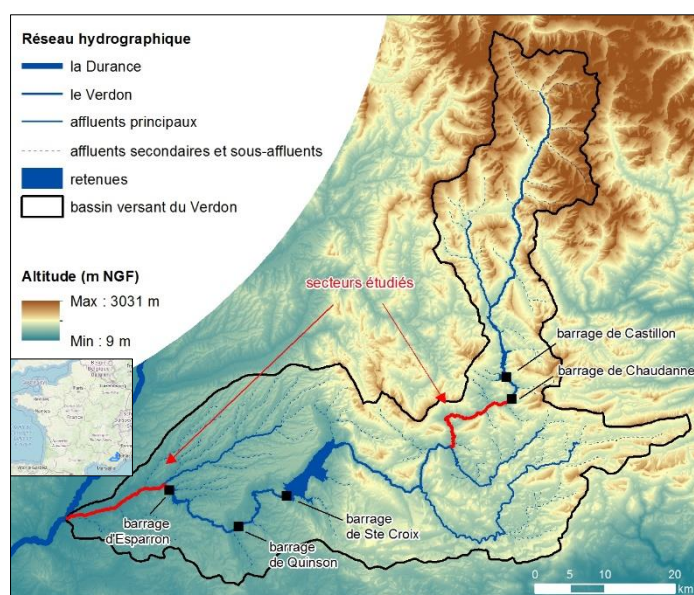


Figure 2 : Localisation des secteurs étudiés et des barrages

L'étude dure deux ans et s'articule autour de trois grandes phases : le diagnostic, la délimitation de l'Espace de Bon Fonctionnement (EBF) et l'élaboration d'un plan de gestion. La mission du stage concerne seulement les deux premières phases au sujet desquelles la réunion de restitution et de concertation est fixée en septembre 2021. On a donc cherché à répondre à la problématique suivante :

Quel espace de bon fonctionnement peut-on attribuer au Verdon pour améliorer son fonctionnement naturel sans compromettre les enjeux humains ?

Dans un premier temps sera explicitée la méthodologie, puis les résultats obtenus seront présentés. Enfin, on portera en un regard critique sur le travail effectué.

3- MATERIEL ET METHODE : DETERMINATION D'UN EBF

La délimitation de l'EBF du Verdon est en grande partie basée sur la méthodologie du guide technique de l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse « Délimiter l'Espace de Bon Fonctionnement des cours d'eau » défini par Terrier et al., 2016. La première section (3.1) de ce chapitre résume les points essentiels du guide. La seconde section (3.2) décrit sa mise en application sur le Verdon.

3.1- Description et aspects techniques d'un EBF

3.1.1- Généralités

Etablir un EBF, c'est initier une gestion passive, c'est-à-dire réduire les pressions exercées sur le cours d'eau afin qu'il puisse recréer lui-même sa dynamique naturelle (Dany, 2016). Cette gestion est moins coûteuse et moins interventionniste. La délimitation vise à préserver et améliorer la qualité globale du cours d'eau. Il s'agit d'essayer de lui redonner de l'espace afin d'optimiser les services naturels qu'il peut rendre tout en préservant les enjeux humains. L'espace dans lequel la rivière circule et interagit définit la possibilité ou non d'assurer ses cinq grandes fonctions naturelles. Les fonctions morphologiques et hydrauliques sont prépondérantes puisqu'elles conditionnent les autres fonctions : biologiques, hydrogéologiques et biogéochimiques (figure 3).

La morphologie est dite fonctionnelle lorsque le cours d'eau façonne ses formes alluviales sans contrainte longitudinale (continuité du transport sédimentaire) et latérale (mobilité liée aux processus d'érosion et de dépôt). Cette fonction régit, par exemple, l'équilibre du profil en long et la qualité et la diversité des habitats aquatiques physiques. Le fonctionnement hydraulique est associé à la libre circulation des écoulements en lit mineur (débit de plein bord) et en lit majeur qui écrête les crues importantes. Il intègre également la connectivité avec les milieux annexes (bras morts, bras secondaires, zones humides...). Par ailleurs, un écosystème équilibré, composé d'une variété d'espèces végétales alluviales (ripisylve et plusieurs stades végétatifs) et d'un cortège d'espèces faunistiques inféodées aux milieux aquatiques, reflète un bon fonctionnement biologique. L'hydrogéologie s'intéresse, elle, aux échanges qu'il existe entre la nappe alluviale et la rivière. Ils influencent par exemple, l'autoépuration, l'oxygénation et la thermie de l'hydrosystème. Enfin, la biogéochimie qualifie la qualité chimique en lien avec l'autoépuration et la limitation des transports de polluants dans le cours d'eau.

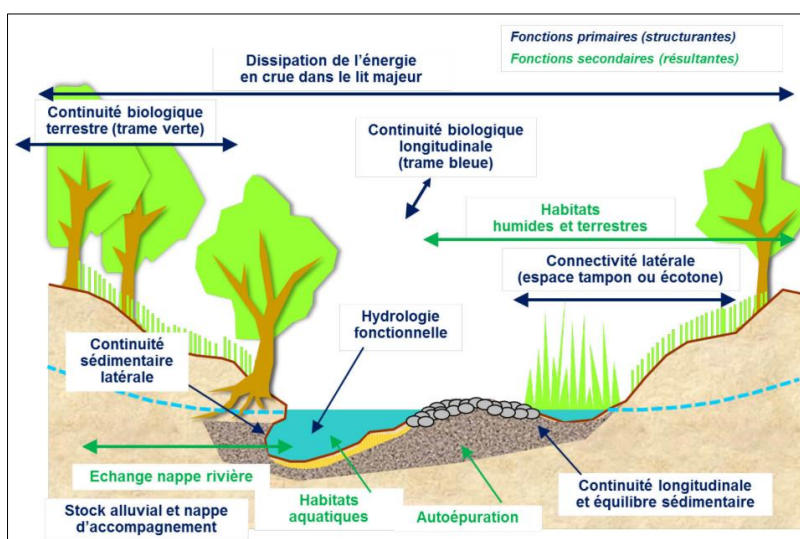


Figure 3 : Les interactions existantes entre les fonctions naturelles (BURGEAP)

L'EBF n'a pas de portée réglementaire, sauf s'il est inclus dans un SAGE (Schéma d'Aménagement et Gestion de l'Eau) approuvé, il a alors la portée réglementaire du PAGD (Plan d'Aménagement et de Gestion Durables) et du règlement du SAGE lié. Il a vocation d'informer et d'alerter les acteurs du développement du territoire (élus locaux, aménageurs, urbanistes...) afin que chaque nouveau projet proposé soit compatible avec les objectifs visés par l'EBF. Il est donc préconisé de l'inclure dans les documents d'urbanisme pour qu'il participe à l'orientation de la stratégie de planification et d'aménagement du territoire.

3.1.2- Etapes méthodologiques clés

L'élaboration d'un EBF se décompose en plusieurs grandes étapes. Tout d'abord, il faut identifier le style fluvial de référence de la rivière étudiée qui conditionne la méthodologie à appliquer. Il est défini comme étant « le style que prendrait à plus ou moins long terme le cours d'eau, si l'on restaurait les processus géomorphologiques du cours d'eau en enlevant les contraintes latérales et verticales présentes actuellement, quels que soient les enjeux présents à proximité » (Terrier et al., 2016 : 45). La notion de style fluvial fait appel à une classification qui repose sur l'allure des formes alluviales (sinuosité, nombre et aspect des chenaux), la morphométrie (pente, largeur) et la lithologie (rocheuse ou alluviale) (Bravard et Petit, 1997). Elle reflète la dynamique fluviale et le fonctionnement hydromorphologique de l'hydrosystème. Au sein de la diversité des styles fluviaux, le guide de l'EBF retient les trois grands styles suivants : les cours d'eau à forte pente, les cours d'eau à tresses et à bancs alternés et les cours d'eau à méandres développés et migrants. La détermination du style de référence s'appuie sur l'analyse de documents anciens et récents (photos aériennes, cartes, relevés Lidar...). Ils permettent notamment d'identifier les styles fluviaux anciens et naturels (sans contrainte anthropique). Cette analyse peut être complétée ou réalisée par une approche plus théorique qui différencie les styles fluviaux en fonction de la pente et du débit morphogène de la rivière (Church 2002, repris par Chapuis, 2012).

Une fois le style fluvial de référence bien identifié, il s'agit de délimiter les périmètres morphologique et hydraulique selon deux niveaux d'ambition : l'EBF nécessaire et l'EBF optimal. Le périmètre nécessaire reflète l'espace minimal indispensable pour assurer ses fonctions écologiques de manière durable. Le périmètre optimal est l'espace où l'hydrosystème réalise l'ensemble de ses fonctions de manière aussi naturelle que possible. Il est dit optimal dans le sens, où un espace plus grand n'apporterait aucune plus-value à son fonctionnement. Les périmètres hydrauliques sont les espaces nécessaires aux écoulements (lit mineur, lit majeur, zone d'expansion des crues). Les périmètres morphologiques sont eux les espaces où s'exprime « la continuité longitudinale et latérale au niveau sédimentaire » (Terrier et al., 2016 : 54) et le remaniement des formes alluviales.

A ces périmètres morphologiques et hydrauliques peuvent être ajoutés d'autres espaces remarquables s'ils jouent un rôle important au regard du fonctionnement de l'hydrosystème, ou bien possèdent une écologie particulière et fortement liée au milieu alluvial. C'est en menant une analyse complémentaire sur les composantes biologique, hydrogéologique et biogéochimique qu'il est possible d'intégrer ces milieux au sein de l'EBF.

Ces phases techniques débouchent sur deux enveloppes cartographiques qui définissent l'EBF optimal et l'EBF nécessaire. Elles sont comparées l'une à l'autre lors de la phase de concertation qui mobilise les acteurs locaux. Elles sont également confrontées aux enjeux humains présents sur le territoire. Il est ainsi possible d'évaluer les gains et les pertes dans le domaine socio-économique afin de choisir le périmètre de l'EBF le plus adapté au territoire. Cette phase de concertation est également importante pour établir une politique et une gestion territoriale partagées autour de l'EBF.

3.2- EBF appliqué au Verdon

3.2.1- Compréhension du contexte territorial du Verdon

3.2.1.1- Recherches bibliographiques

De nombreuses recherches bibliographiques et de bases de données ont été effectuées (tableau 2). Elles ont parfois été longues et fastidieuses puisqu'il a fallu les multiplier en fonction des secteurs d'études (2), des départements (3) et des communes (7). Elles ont permis de comprendre le contexte socio-économique et le fonctionnement hydromorphologique du Verdon. Puis, elles ont permis de prendre en compte les composantes biologique, hydrogéologique et biogéochimique pour délimiter l'EBF du Verdon. Certaines ont contribué à l'identification des enjeux humains en fond de vallée alluvial, notamment avec l'étude de l'occupation des sols à l'échelle de celui-ci, où les enjeux peuvent directement contraindre l'EBF.

Tableau 2 : Résumé des recherches bibliographiques effectuées

Type	Informations recherchées	Bases de données consultées
Zonages écologiques	Réserve Naturelle Nationale et Régionale	DREAL PACA et Géoportail
	Arrêté préfectoral de protection biotope	DREAL PACA et Géoportail
	Réservoir biosphère et biologique	DREAL PACA et Géoportail
	Natura 2000 : Zone Spéciale de Conservation (Directive Habitat) et Zone de Protection spéciale (Directive Oiseau)	DREAL PACA et Géoportail
	ZNIEFF de type 1 et 2	DREAL PACA et Géoportail
	Espaces Naturels Sensibles	DREAL PACA et Géoportail
	RAMSAR	DREAL PACA et Géoportail
	Inventaire de zone humide à l'échelle régionale	DREAL PACA et Géoportail
	Trames vertes et bleues (SRCE)	DREAL PACA et Géoportail
Hydrogéologie	Entités hydrogéologiques	BDLISA, Eau France Rhône méditerranée
	Captages, ouvrages sondages	BSS infoterre
Biogéochimie	Origine des pollutions	Bibliographie des études liées au Verdon
Hydraulique	Bassin versant, réseau hydrographique	BD CARTAGE, BD TOPOAGE
	Inondations	PPRI, AZI, PPR
Hydrologie	Débits	Bibliographie des études liées au Verdon et banque hydro
Morphologie	Evolution des bandes actives	IGN, remonter le temps
	Topographie	IGN, grandes forces hydrauliques, bibliographie des études liées au Verdon
Enjeux socio-économique	Contexte	SDAGE, SAGE, contrat de rivière, chartre du PNR du Verdon
	Tourisme et emploi	INSEE
	Ouvrages hydrauliques	Lidar, RGE alti, ROE
	Occupation du sol	Corine Land Cover, RPG, BD Topo, PLU

3.2.2- Construction de l'EBF

Les composantes hydraulique et morphologique constituent les bases de la construction de l'EBF car elles sont prépondérantes et conditionnent, en grande partie, les autres composantes.

3.2.2.1- Délimitation des périmètres morphologiques théoriques

Le périmètre morphologique optimal est cartographié grâce à l'espace de divagation historique (EDH) qui représente l'espace parcouru par le cours d'eau au fil d'un certain temps (Snijders et.al, 2006) (cf. 3.2.2.4-). A cet espace s'ajoutent éventuellement des zones de régulation du transport solide. Il s'agit de zones susceptibles d'être érodées prochainement par le cours d'eau.

Le périmètre morphologique nécessaire se compose du lit actif élargi d'une bande qui assure une meilleure continuité latérale. La largeur de cette bande est déterminée à l'échelle des tronçons. Elle correspond soit, de manière approximative, à 1,5 à 2 fois la largeur du lit actif, si celui-ci n'a pas

été modifié par une crue majeure, soit à la largeur maximale du lit actif atteint au cours des dernières décennies (hors crues majeures).

3.2.2.2- Délimitation des périmètres morphologiques appliqués

La méthode indiquée par le guide de l'EBF a scrupuleusement été appliquée sur les deux secteurs du Verdon pour le périmètre morphologique optimal. L'espace de divagation historique utilisé est compris entre les années 1860 et 2021.

Pour le périmètre morphologique nécessaire, il a été attribué un fuseau de 75 m de large sur la totalité du linéaire du Moyen Verdon. Elle correspond à deux fois la largeur moyenne du lit actuel, tous tronçons confondus, car les différences entre les tronçons homogènes identifiés sont faibles. Elles ne correspondent pas toujours à la largeur maximale de chaque tronçon qui varie de 65 m sur le TCC (tronçon court-circuité) à 120 m à Carajuan. Ce fuseau a été réduit au fond de vallée alluvial, quand il le dépassait.

Sur le Bas Verdon, il a été décidé de distinguer la partie amont (tronçon court-circuité) de la partie aval de la restitution (soumises aux éclusées) pour des raisons de cohérence hydrologique et morphologique. Les fuseaux appliqués sont respectivement de 80 m et de 90 m. Elles correspondent à deux fois la largeur moyenne du lit actuel en amont et en aval, les trois tronçons amont ayant une largeur semblable.

Enfin, Il a été pertinent de s'intéresser aux affluents pour déterminer si leurs confluences méritaient d'être intégrés à l'EBF en tant que zone de régulation du transport solide (ex. : cône de déjection). L'intérêt a surtout porté sur à la quantité de sédiments grossiers qu'ils peuvent fournir au Verdon. Cet apport sédimentaire dépend essentiellement des éléments suivants :

- La taille du bassin versant drainée par l'affluent qui rend compte de la quantité de sédiments pouvant être érodés ;
- La pente de l'affluent et de son bassin versant qui contrôle l'intensité de l'érosion par ruissellement ou mouvement de masse (ex. : éboulements) et la capacité des matériaux érodés à rejoindre le fond de vallée ;
- La lithologie qui conditionne le type de matériaux érodés ;
- La couverture végétale qui renseigne sur l'érodabilité des terrains ;
- La connectivité de l'affluent au cours d'eau qui reflète la capacité ou non des matériaux à atteindre la confluence.

L'ensemble de ces paramètres ont été étudiés, sur la base d'analyses cartographiques complétées avec des observations de terrain, et mis en relation les uns avec les autres pour identifier les principaux affluents contributeurs de la charge solide du Verdon.

3.2.2.3- Délimitation des périmètres hydrauliques théoriques

Le périmètre hydraulique optimal correspond à la zone inondée, en faisant abstraction des aménagements hydrauliques, par les événements hydrologiques majeurs. Il s'agit des crues rares ou exceptionnelles comme la plus grande crue connue ou la crue centennale. L'idéal est de recueillir les cartes d'aléas issues des zonages construits par les documents liés au risque inondation (PPRI, TRI, AZI). Il est aussi possible de réaliser une modélisation hydraulique mais cela engendre des coûts d'étude nettement plus élevés.

Le périmètre hydraulique nécessaire enveloppe les zones de grands écoulements lors des crues majeures, où l'eau circule avec une énergie importante. En pratique, il s'agit des zones où le produit de la hauteur d'eau par la vitesse des écoulements est supérieur à $0,5\text{m}^2/\text{s}$.

Les périmètres hydrauliques doivent être cohérents avec les périmètres morphologiques établis puisqu'ils sont des espaces mobilisables par le cours d'eau. C'est pourquoi, les périmètres morphologiques sont obligatoirement inclus dans les périmètres hydrauliques.

3.2.2.4- Délimitation des périmètres hydrauliques appliqués

Délimiter les périmètres hydrauliques optimaux et nécessaires s'est avéré une étape complexe au vu de la disparité des données trouvées (tableau 3). La démarche suivie est présentée dans (tableau 3), en fonction des communes.

Ainsi, il a été impossible de définir les zones de grand écoulement du Moyen Verdon donc de proposer un périmètre hydraulique nécessaire. Pour cette composante et ce secteur, seul un périmètre hydraulique optimal est proposé, très imprécis à l'image des données disponibles.

Tableau 3 : Démarche de délimitation des périmètres hydrauliques

Informations	Gréoux-les-Bains	Vinon-sur-Verdon	Saint-Paul-les-Durance	Castellane
Localisation	Bas Verdon amont	Bas Verdon intermédiaire	Bas Verdon confluence Durance	Moyen Verdon
Documents	PPRN	Etude de danger sur les digues	PPRI	PPRN
Données disponibles la plus précise	Aléas (fort, moyen, faible)	Modélisations hydrauliques – divers scénarios	Aléas (fort, moyen, faible et exceptionnel)	Risque (faible, moyen, fort, très fort)
Périmètre hydraulique optimal	Combinaison de l'ensemble des aléas	Zone inondable 1300m ² /s (Q100) avec rupture de toutes les digues	Extrapolation du modèle hydraulique de Vinon (jusqu'au fond de vallée alluvial)	- Ensemble des risques inondation -Ajustement des tracés approximatifs et parfois incohérents
Périmètre hydraulique nécessaire	Aléas fort	H x V > 0,5m ² /s	Aléa exceptionnel correspondant au Verdon	Impossible à déterminer avec les données disponibles

3.2.3- Compréhension du fonctionnement hydromorphologique du Verdon

3.2.3.1- Sectorisation

La sectorisation consiste à découper un cours d'eau en plusieurs entités homogènes (Valette et al., 2008). Ces entités peuvent s'emboîter les unes dans les autres, c'est-à-dire correspondre à plusieurs échelles (secteurs, tronçons, sous-tronçons et unités fonctionnelles). Pour la sectorisation du Verdon deux échelles ont été considérées : les tronçons et les sous-tronçons. Les tronçons ont été découpés sur l'ensemble du linéaire de la rivière de façon à créer des entités homogènes d'un point de vue physique et géomorphologique (Bernot et al., 1996). Les sous-tronçons ont été délimités seulement à l'échelle des secteurs du Moyen Verdon et du Bas Verdon en se basant sur les critères hydromorphologiques comme la morphologie du fond de vallée alluvial (largeur, pente), sa nature dominante (rocheux ou alluvial) et les confluences majeures (y compris les dérivations et restitutions des aménagements hydroélectriques).

3.2.3.2- Analyse topographique des fonds

L'analyse topographique des fonds vise à comprendre l'évolution de la pente du cours d'eau au fil du temps. Elle consiste à projeter et à caler l'ensemble des données topographiques du fond du lit disponibles (études précédentes, grandes forces hydrauliques, levés EDF avant construction des barrages...) sur un unique linéaire de référence. Il est ainsi possible d'établir le profil en long pour chacune des années étudiées.

3.2.3.3- Analyse granulométrique

La taille des substrats minéraux présents sur les fonds des cours d'eau (Vallette, Chandersis et Souchon, 2013) renseigne sur la qualité des habitats mais aussi sur le transport solide (Malavoi et Souchon, 2002). La campagne de terrain effectuée en 2021 est venue compléter les levés que Dynamique Hydro avait effectués pour une autre étude en 2019. La méthode utilisée pour caractériser la granulométrie des fonds lors de ces deux campagnes est la même et s'inspire de la méthode « EVHA » (évaluation des habitats) de Malavoi et Souchon (1989) décrite en annexe 1. Tous les 300m

sur le Moyen Verdon, et tous les 400m sur le Bas Verdon, une analyse granulométrique transversale a été effectuée (figure 4). A chaque transect, le type de faciès d'écoulement est identifié et les indicateurs suivants sont déterminés visuellement en dix points répartis de manière homogène sur la largeur du lit :

- La fraction la plus grossière qui correspond aux substrats de taille maximale ;
- La fraction dominante, c'est-à-dire celle qui a le taux de recouvrement le plus important ;
- L'éventuelle fraction co-dominante .

Il est, par ailleurs, souligné que les sous-tronçons « encaissés » où la rivière circule à fleur de montagne sur des fonds étroits et non alluviaux, ne sont pas pris en compte dans l'étude granulométrique. En effet, leurs caractéristiques naturelles (affleurement rocheux, apport sédimentaire des versants) donnent peu d'information sur les éventuels dysfonctionnements (Grospretre, 2019).

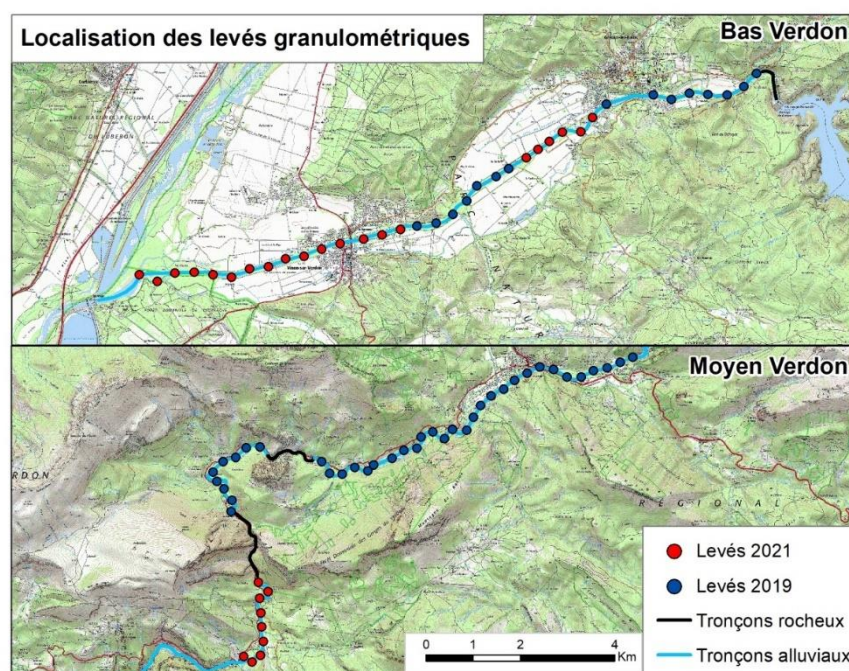


Figure 4 : Localisation des levés granulométriques sur le Bas et le Moyen Verdon

3.2.3.4- Analyse diachronique des bandes actives

Les bandes actives, représentent les espaces qui sont régulièrement remaniés et mobilisés par les crues. Elles sont composées à la fois des chenaux en eau et des bancs alluviaux peu ou pas végétalisés (Malavoi et Bravard, 2010 et Bravard et Petit, 1997). L'analyse diachronique des bandes actives permet d'évaluer l'évolution en plan de la rivière. Il est question de leur largeur, de leur position et éventuellement du style fluvial. Pour effectuer cette analyse, les cartes d'état-major (1860) et plusieurs séries de photographies aériennes anciennes ont été sélectionnées sur les secteurs du Bas et du Moyen Verdon (site IGN, remonter le temps). Les années ont été choisies en fonction des événements importants comme la mise en service des barrages hydrauliques ou l'apparition d'une crue importante (tableau 4). Néanmoins, les choix ont parfois été contraints par la disponibilité, l'emprise ou la qualité des photographies aériennes.

Tableau 4 : Années choisies et explications liées

Secteur	Année	Explication
Bas Verdon	1860	Carte d'état-major
	1934	Date la plus ancienne
	1966	Avant la mise en service du barrage d'Esparron (amont) Après la mise en service du barrage de Cadarache (aval)
	1993	Avant la grande crue de novembre 1994
	1995	Après la grande crue de 1995
	2010	Date intermédiaire
	2021	Date la plus récente
Moyen Verdon	1860	Carte de l'état-major
	1933	Date la plus ancienne
	1948	Mise en service du barrage de Castillon (amont) Avant la mise en service du barrage de Chaudanne (amont direct)
	1972	Date intermédiaire
	1996	Après la grande crue de novembre 1994
	2010	Date intermédiaire
	2021	Date la plus récente

L'ensemble des photos aériennes et les cartes d'état-major ont été géoréférencées sous ArcGis en s'appuyant sur les photos aériennes de 2010, déjà géoréférencées. Il s'agit d'identifier des éléments du territoire présents sur les deux entités cartographiques (routes, carrefours, bâtis...) afin de pouvoir les juxtaposer.

Les bandes actives ont ensuite été tracées en étudiant la présence et le type de végétation, pour différencier les parties actives et inactives du lit. Bien qu'il ne soit pas toujours aisé de trancher visuellement, l'idée est d'être homogène et cohérent dans les choix effectués.

Enfin, la compilation des bandes actives permet d'obtenir l'espace de divagation historique (EDH). Il représente l'espace occupé par le lit vif du cours d'eau sur une longue période d'au moins plusieurs décennies et incluant si possible une crue majeure (Snijders et.al, 2015). Sur le Verdon, l'analyse s'est focalisée sur la période 1860-2021.

4- RESULTATS

4.1- Eléments de diagnostic

4.1.1- Contexte général du Verdon

Le Verdon est une rivière de montagne voire de piedmont à son extrémité aval. Elle présentait, sur les secteurs étudiés et d'autres tronçons alluviaux, un style fluvial en tresses associé à un transport solide abondant. Il s'agit désormais d'un cours d'eau à bancs alternés, très artificialisé et classé Masse d'Eau Fortement modifiée (MEFM). Ce statut est essentiellement dû à la présence de cinq grands barrages hydroélectriques qui ont amplement et durablement modifié leur fonctionnement physique. Ils entraînent notamment deux impacts majeurs.

D'une part, ils modifient le régime hydrologique du cours d'eau. Il en résulte une raréfaction des crues morphogènes sur à peu près l'ensemble du Verdon. Sur les tronçons situés directement en aval des barrages (tronçons court-circuités), où transitent seulement les débits réservés et les très rares crues dépassant les capacités de stockage des barrages. En aval des restitutions, les débits moyens sont plus élevés du fait des fréquentes éclusées mais ces dernières sont très peu morphogènes. Par conséquent, la dynamique fluviale du Verdon est fortement amoindrie.

D'autre part, ces barrages rompent la continuité écologique, c'est-à-dire qu'ils empêchent la libre circulation des espèces aquatiques et des sédiments. Cela provoque des perturbations

biologiques et morphodynamiques majeures. En effet, comme le débit liquide, le débit solide est une variable de contrôle qui participe à l'équilibre dynamique des cours d'eau. La rupture du transport sédimentaire entraîne, notamment à l'aval des barrages des phénomènes d'érosions progressives par dissipation d'énergie.

Outre ces aménagements transversaux, le Verdon a également été contraint par de nombreux ouvrages latéraux dans ses portions alluviales. Le Moyen Verdon a été endigué dès le XVI^{ème} siècle dans la traversée de Castellane (en rive droite). Sur le Bas Verdon, la plupart des digues ont été érigées à la fin du XIX^{ème} siècle. A ces ouvrages s'ajoute une urbanisation dans le lit majeur du Verdon.

D'un point de vue socio-économique, les secteurs du Bas et du Moyen Verdon sont peu peuplés. Cependant, l'attrait touristique de la région entraîne une surpopulation en période estivale. Les activités sportives et de loisirs aquatiques (canyoning, kayak, rafting...) sont très prisées et engendrent une certaine pression sur les milieux. Les activités touristiques sont génératrices d'emplois et constituent un enjeu économique majeur.

Au sein du fond de vallée alluvial, les principaux enjeux humains concernent les zones urbaines et agricoles comme le représente l'analyse de l'occupation du sol à l'échelle du fond de vallée alluvial (figure 5 et figure 6). Sur les deux secteurs, quelques activités « sensibles » (écoles, stations d'épuration, déchèterie) ont été implantées à proximité directe de la rivière.

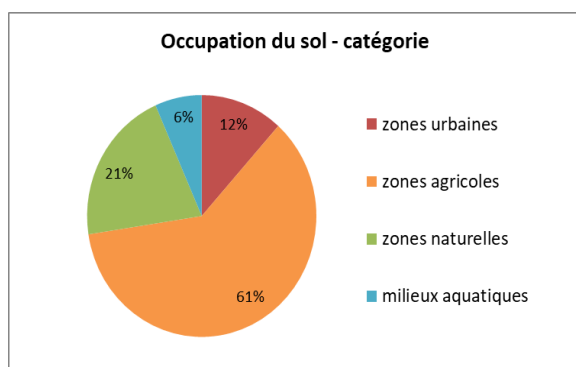


Figure 5 : L'occupation du sol sur le Bas Verdon

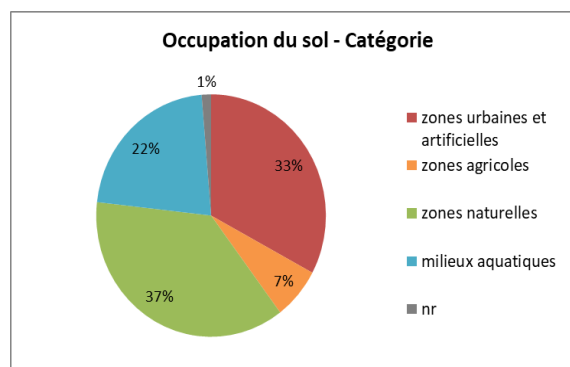


Figure 6 : L'occupation du sol sur le Moyen Verdon

Les deux secteurs étudiés s'intègrent dans un espace naturel remarquable. En effet, les deux secteurs sont inclus dans le parc naturel régional du Verdon et de nombreux espaces particuliers sont identifiés à proximité (figure 7 et figure 8) Un Arrêté Préfectoral Protection du Biotope (APPB), vise notamment, à lutter contre la dégradation de la biodiversité est présent en aval du Moyen Verdon. Il s'applique plus précisément le long des gorges du Verdon et cible la protection de l'apron du Rhône, espèce patrimoniale, endémique du bassin du Rhône, qui est en voie d'extinction.

Les figures figure 9 et 10 et présentent le contexte hydrogéologique des secteurs étudiés. L'analyse de la composante hydrogéologique a été réalisée pour des raisons formelles mais a en fait peu contribué au diagnostic ou à la délimitation de l'EBF.

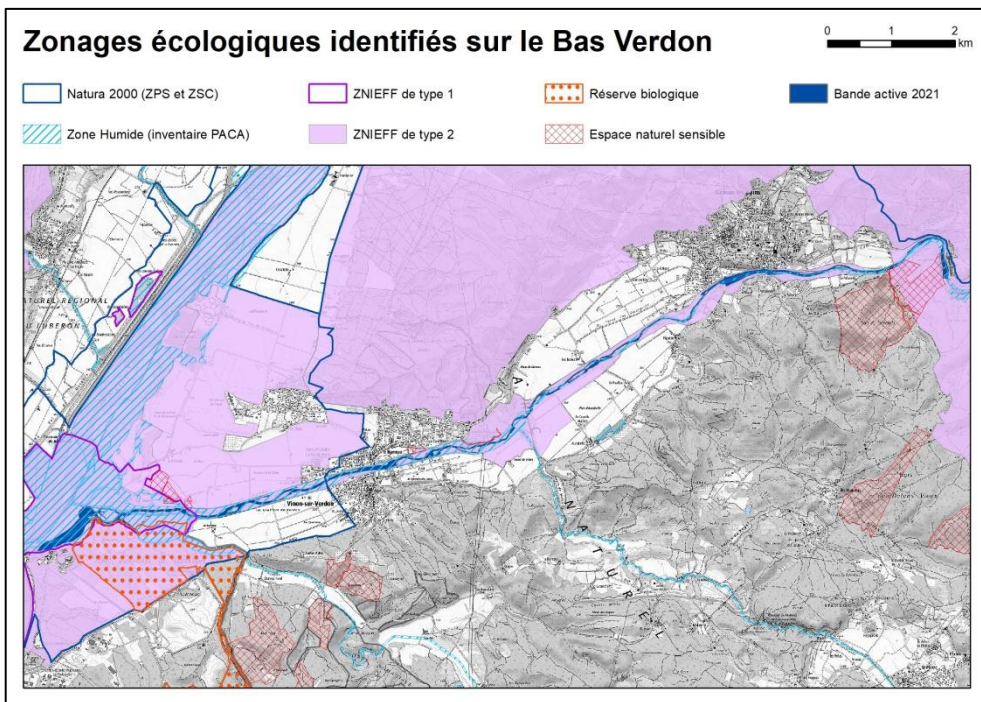


Figure 7 : Contexte environnemental du Bas Verdon

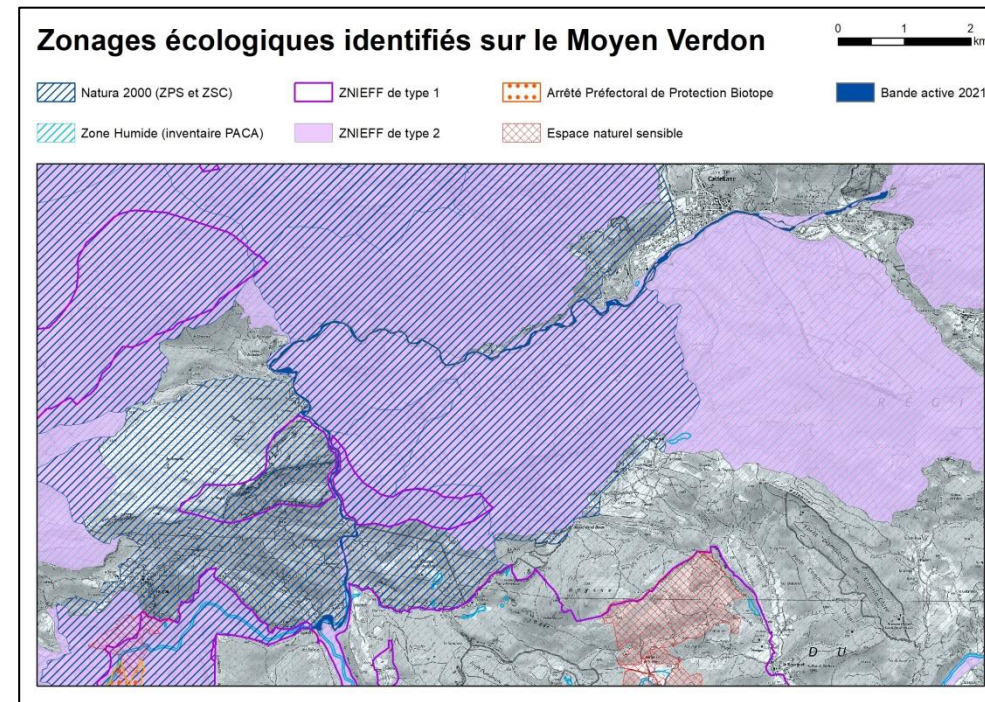


Figure 8 : contexte environnemental du Moyen Verdon

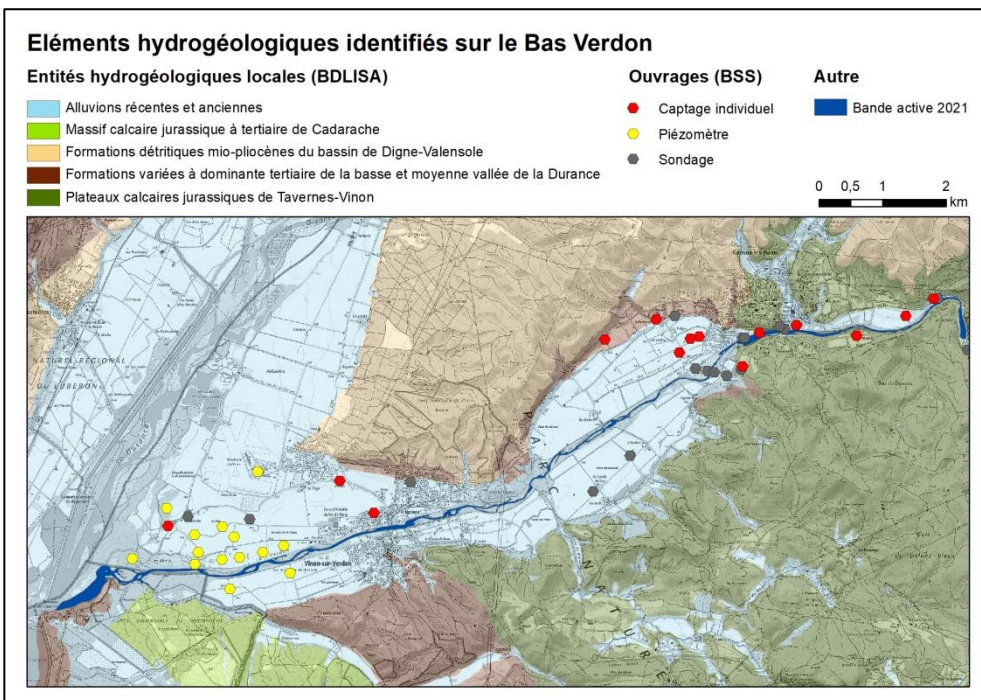


Figure 9 : Contexte hydrogéologique du Bas Verdon

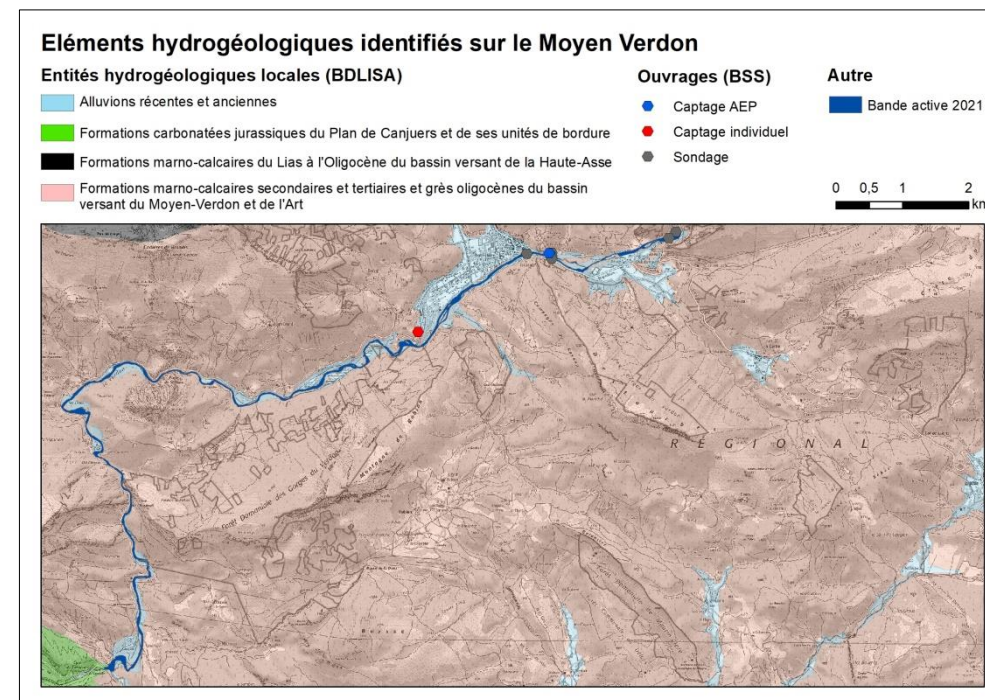


Figure 10 : Contexte hydrogéologique du Moyen Verdon

4.1.2- Eléments hydromorphologiques

4.1.2.1- Sectorisation

Sur le Bas Verdon (figure 11) on distingue trois tronçons homogènes alluviaux ainsi qu'un court tronçon encaissé dont la délimitation a principalement été structurée par les aménagements hydrauliques et les brusques élargissements ou rétrécissements du fond de vallée alluvial. Le premier tronçon, très court (moins de 800m), s'écoule dans un fond de vallée étroite à dominante rocheuse entre le pied du barrage d'Esparron et la confluence avec le Colostre. Le deuxième tronçon, soit le tronçon alluvial le plus en amont intitulé « TCC amont », débute à la confluence avec le Colostre qui marque plus ou moins l'entrée dans la plaine alluviale et s'arrête au niveau du seuil de Gréoux qui bloque le transport solide. Cet ouvrage est implanté au droit d'un premier rétrécissement du fond de vallée et fondé sur un affleurement rocheux qui constituait déjà un point dur. Le troisième tronçon est un tronçon endigué qui divaguait autrefois largement dans la plaine alluviale des Iscles. Il s'arrête au niveau de la restitution qui coïncide avec un nouveau resserrement du fond de vallée alluvial où la roche mère affleurante forme encore un point dur. Le dernier tronçon, en aval de la restitution, s'écoule jusqu'à la retenue du barrage de Cadarache à la confluence avec la Durance. Il accueille des débits moyens plus élevés que les tronçons amont du fait des fréquentes éclusées de l'usine hydroélectrique. Ces débits régulièrement lâchés, sont trop faibles pour être réellement morphogènes.

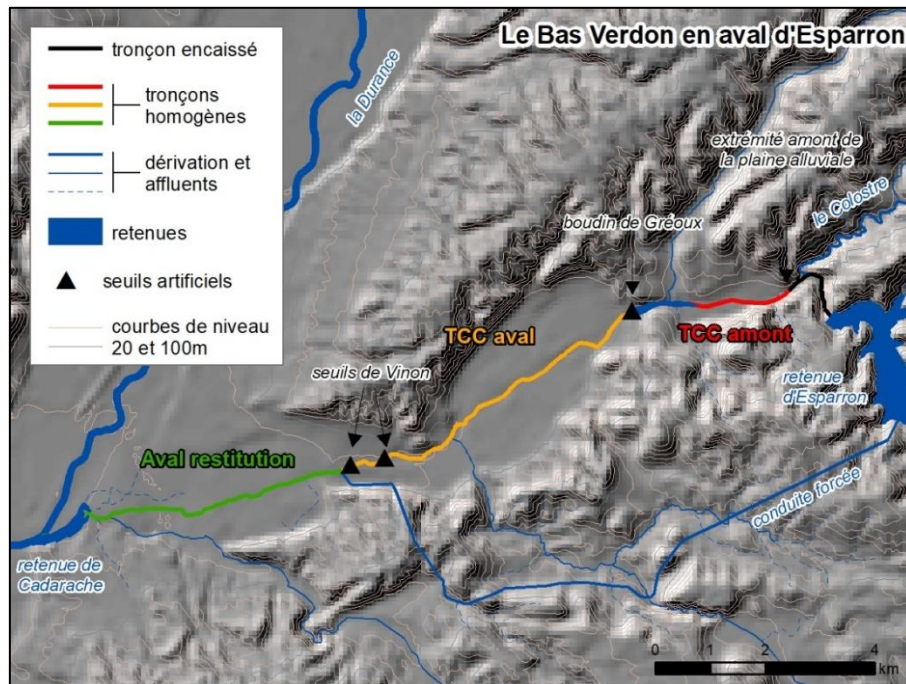


Figure 11 : Sectorisation du Bas Verdon

Sur le Moyen Verdon (figure 12) la sectorisation repose essentiellement sur des caractéristiques naturelles liées à l'évolution de la largeur du fond de vallée alluvial. Comme sur le Bas Verdon, le tronçon court-circuité (TCC) se distingue par des débits faibles et constants. En aval de la restitution de l'usine de Chaudanne, le tronçon de Castellane s'écoule dans un fond de vallée alluvial naturellement large mais il est endigué et donc contraint de prendre un tracé rectiligne. Le fonctionnement hydromorphologique du Moyen Verdon aval est complètement différent. La rivière est peu aménagée mais davantage contrainte par les versants de la montagne. Le fond de vallée alluvial est donc plus étroit. Les trois tronçons alluviaux « Carajuan », « Chasteuil » et « Colle Blanche » ont un fonctionnement hydromorphologique semblable mais sont entrecoupés par deux tronçons rocheux encaissés qui correspondent à la Porte-Saint-Jean et à la clue de Chasteuil.

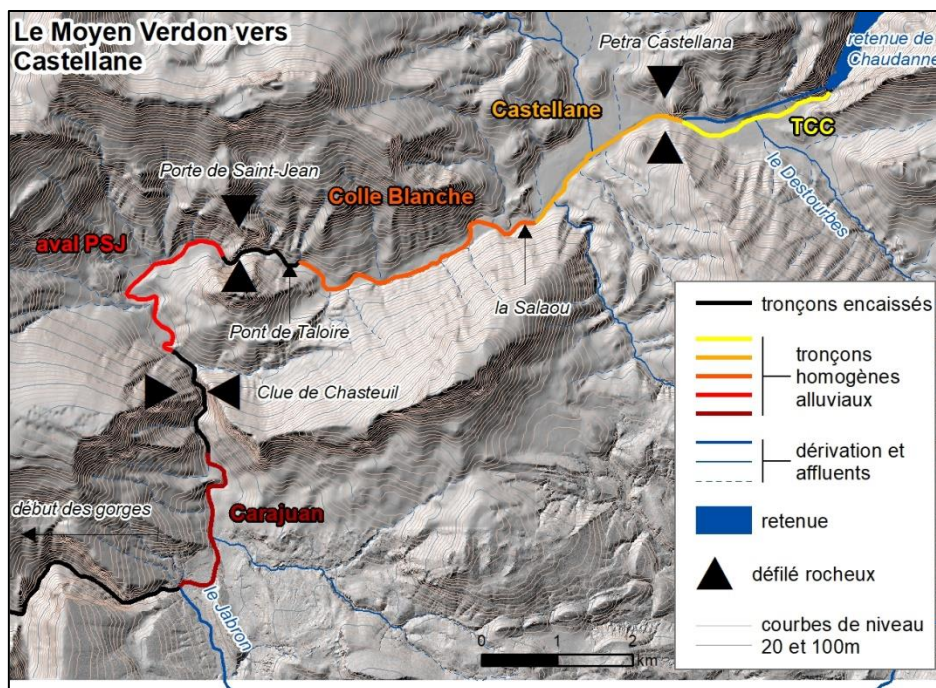


Figure 12 : Sectorisation sur le Moyen Verdon

4.1.2.2- Evolutions verticales

Sur le bas Verdon, même en considérant le biais selon lequel les lignes d'eau varient en fonction du débit (figure 13), il apparaît clairement que le Bas Verdon s'est incisé d'environ 1,5 m depuis 1907. L'incision est plus importante au pied du boudin de Gréoux et du seuil de Vinon qui constituent des points durs limitant l'enfoncement des fonds en amont. Cette incision est due à la rupture de la continuité du transit sédimentaire qui a pu débuter très tôt, avec la construction d'un premier barrage à Quinson en 1869 et s'est poursuivie par la suite, notamment avec les barrages plus récents construits entre les années 1950 et 1970). En amont du seuil de Vinon le profil en long semble être stabilisé depuis 1964 car les points épars levés cette année-là s'alignent sur les profils en long plus récents. Et on ne constate plus aucune évolution entre 2010 et 2021.

Sur le tronçon « aval de la restitution », le profil en long a dans un premier temps basculé avec une érosion en amont, liée au déficit sédimentaire (annexe 2). Dans un second temps, il s'est exhausé à l'extrémité aval du Verdon engendré par la retenue du barrage de Cadarache mis en service en 1959 qui favorise les dépôts de sédiments. Depuis 1994, le barrage est mis en transparence lors des crues et l'on ne constate plus d'exhaussement en aval. Le lit a peu évolué depuis mais il est difficile de conclure sur sa stabilité future du fait de l'absence de crues importantes (et de leur méconnaissance).

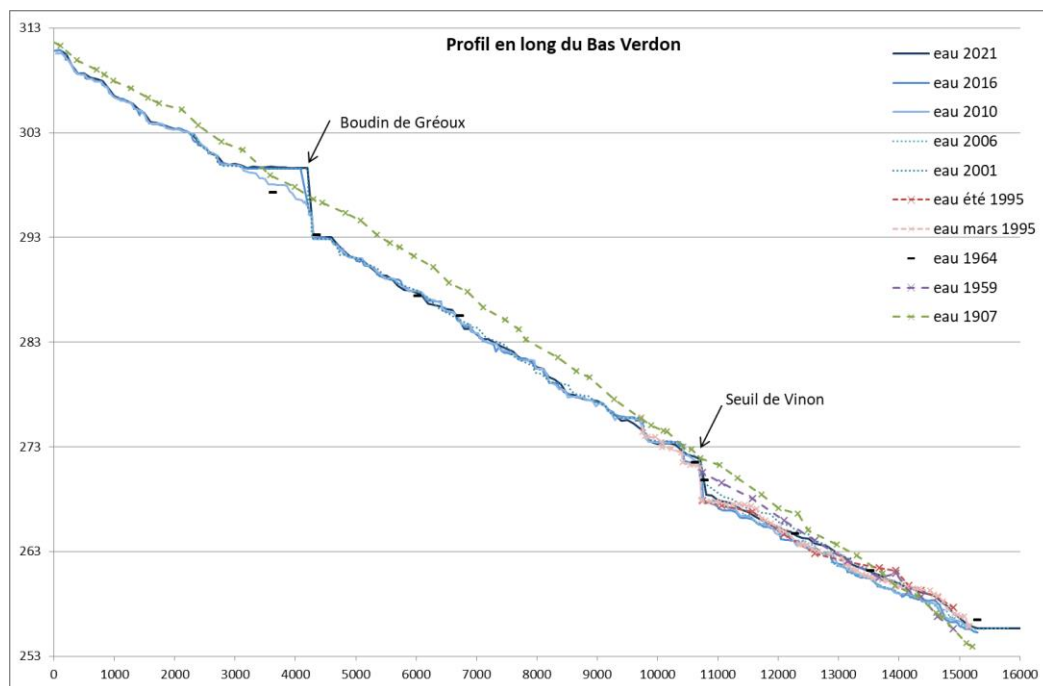


Figure 13 : Evolutions verticales sur le Bas Verdon

Même en considérant le biais lié aux lignes d'eau, le Moyen Verdon s'est incisé de 2 m environ (figure 14). Cette forte incision est plus importante en aval du seuil EDF et de la restitution ainsi qu'au lieu-dit « La Colle » où les granulats de la rivière étaient extraits jusqu'en 1994. Plus en aval, l'intensité de l'incision diminue pour être presque nulle au pont de Carajuan. Le profil en long semble s'être stabilisé depuis 2010 mais il est encore difficile de conclure sur la future stabilité verticale du Moyen Verdon compte tenu des rares levés disponibles, notamment en aval.

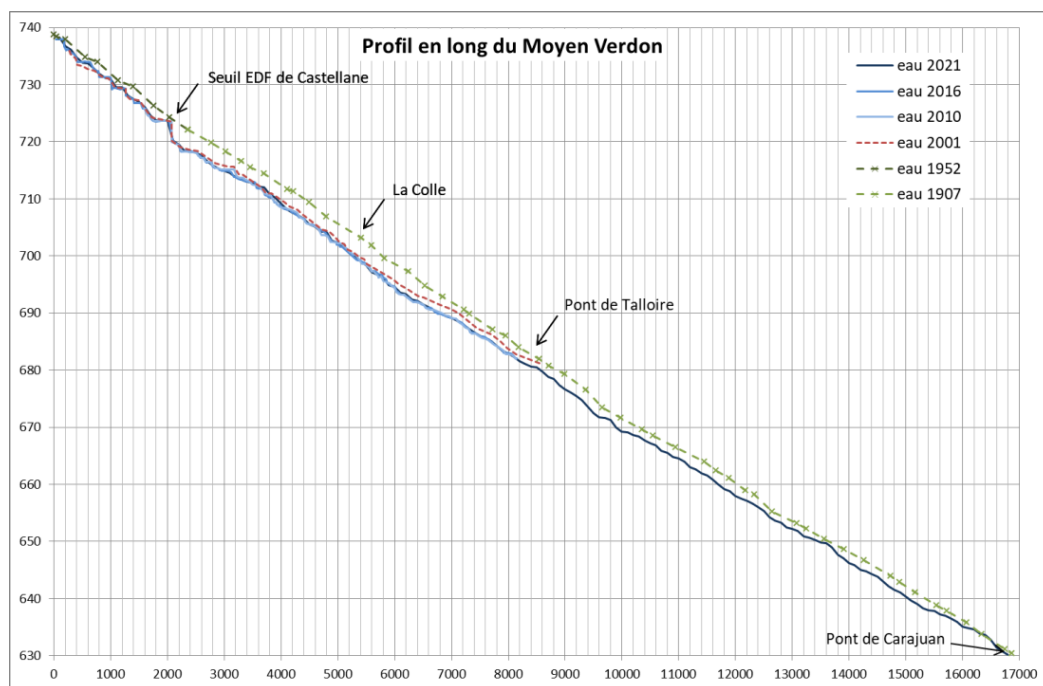


Figure 14 : Evolutions verticales sur le Moyen Verdon

4.1.2.3- Evolutions en plan

Les figure 15, figure 166, figure 17, figure , figure 20 et figure présentent les évolutions en plan sur le Moyen et le Bas Verdon. Par souci de clarté et d'efficacité du propos, l'ensemble des bandes actives dessinées n'ont pas été représentées sur les cartes.

Sur les deux secteurs étudiés, il apparaît clairement une rétractation importante du lit actif du Verdon ainsi qu'un changement de style alluvial dans les années 1930. Le Verdon a perdu son lit en tresses pour laisser place à un style fluvial à bancs alternés. Sur les deux secteurs, la crue de 1994 ($406\text{ m}^3/\text{s}$) a eu un impact non négligeable sur la largeur moyenne du lit vif en remobilisant certaines portions de celui-ci.

Sur le Bas Verdon, la diminution de la largeur du lit est constante depuis 1860. Entre 1860 et 1934 le Verdon a été endigué sur environ 60% de son linéaire ce qui explique la forte diminution du lit entre ces dates. Depuis 1934, le Verdon a perdu environ 75 m de largeur moyenne, ce qui s'explique très certainement par l'installation des barrages en amont. En effet, leur utilisation diminue les débits et absorbe la plupart des crues. La diminution de la quantité d'eau induit une baisse d'énergie. Le cours d'eau est donc moins large et moins mobile. De plus, la rupture du transport sédimentaire et le déficit sédimentaire engendrés par les barrages participe lui aussi à la diminution de la largeur du lit. En effet, ce rétrécissement est lié aux phénomènes d'incision.

Toutefois, on observe que le lit avait déjà tendance à diminuer avant la construction du barrage d'Esparron (amont direct du secteur étudié) mis en service en 1967. Cela laisse supposer que le barrage de Quinson (10 km en amont, 1869), avait déjà un impact sur le Bas Verdon. Il est aussi possible que le rétrécissement de la bande active soit une tendance naturelle.

Le Moyen Verdon a été endigué dès le XVI^{ème} siècle autour de Castellane. Entre 1860 et 1934, la largeur moyenne du lit augmente légèrement. Ce résultat peut résulter de l'imprécision du tracé de la bande active sur la carte d'état-major ou par les crues importantes survenues à la fin du 19^{ème} siècle dans cette région. Puis, de 1934 à 2021, le Moyen Verdon se rétracte à vitesse à peu près constante. Son lit vif a ainsi perdu environ 50m de largeur moyenne. A l'image du Bas Verdon, on observe que le lit avait déjà tendance à diminuer avant la construction des barrages de Castillon et de Chaudanne (directement en amont du secteur étudié), mis en service en 1948 et 1952 respectivement.

En somme, la rétraction significative des bandes actives du Moyen Verdon et du Bas Verdon s'explique en grande partie par la présence des grands barrages hydroélectriques. En effet, ils ont largement modifié le fonctionnement de l'hydrosystème, non seulement en diminuant et en régulant les débits liquides mais aussi en stoppant le transit sédimentaire. Mais il s'agit d'aménagements récents qui n'expliquent pas toujours les premières évolutions constatées.

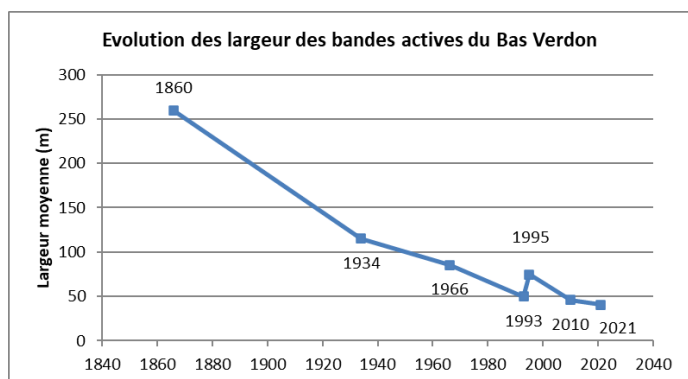


Figure 15 : Evolution de la largeur des bandes actives du Bas Verdon

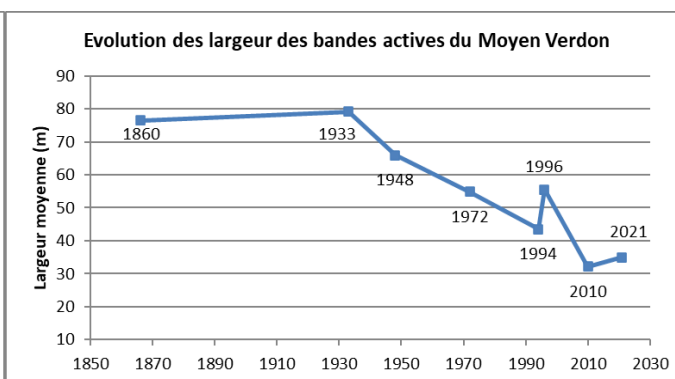


Figure 16 : Evolution des largeurs des bandes active du Moyen Verdon

Evolutions des bandes actives et aménagements hydrauliques du Bas Verdon amont

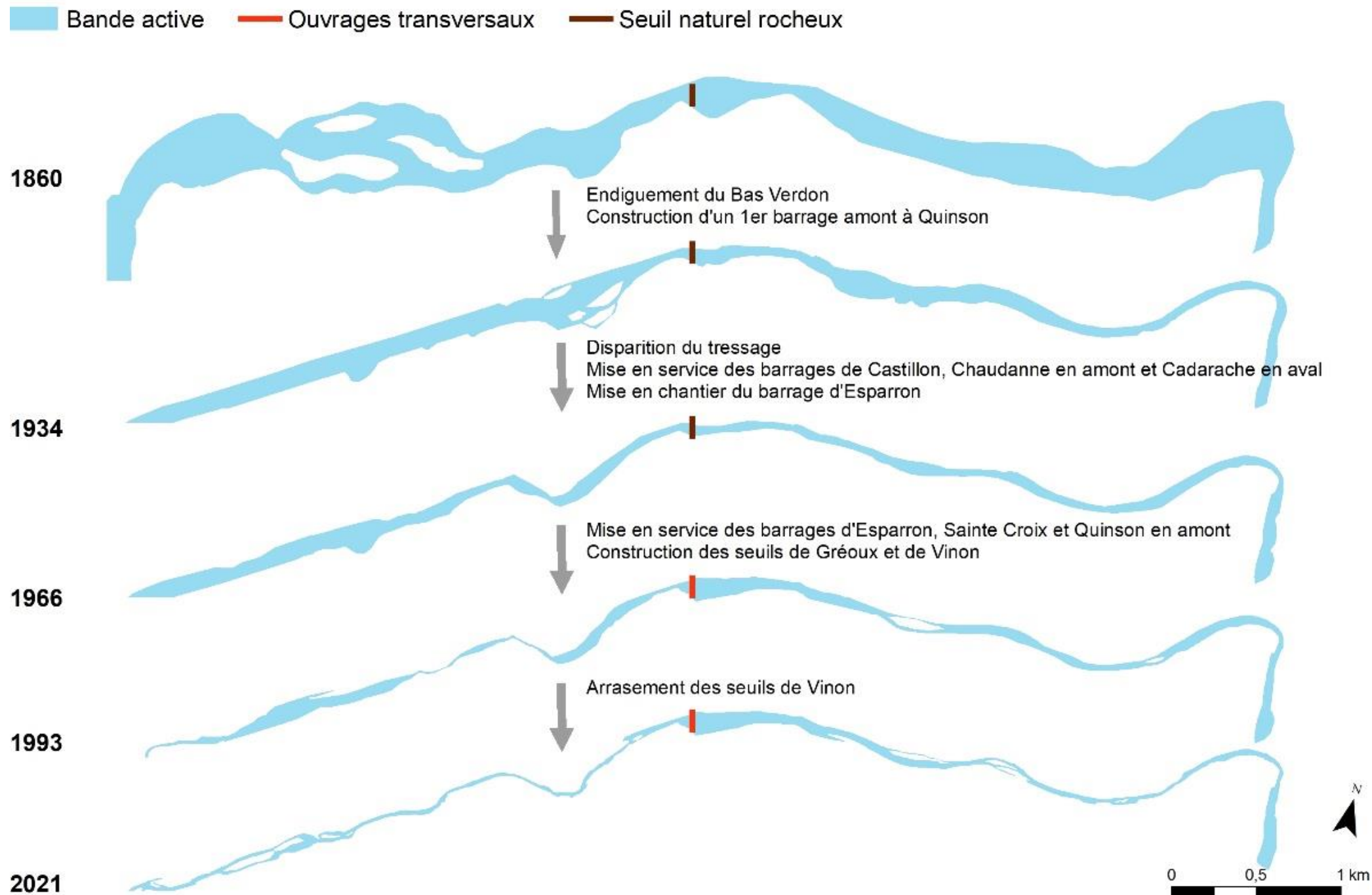


Figure 17 : Evolutions en plan du Bas Verdon amont

Evolutions des bandes actives et aménagements hydrauliques du Bas Verdon aval

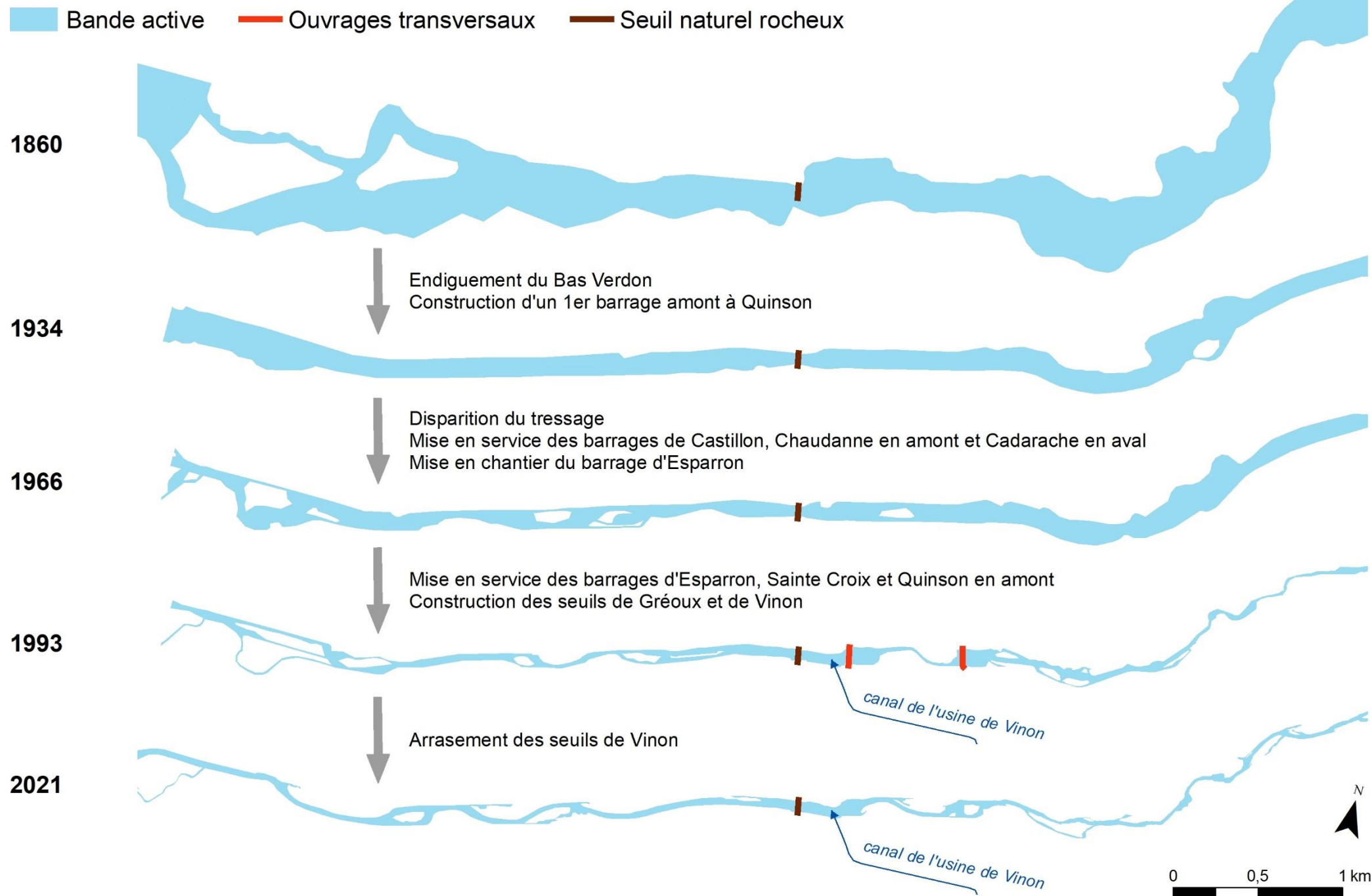


Figure 18 : Evolutions en plan du Bas Verdon aval

Evolutions des bandes actives et aménagements hydrauliques du Moyen Verdon amont

 Bande active  Ouvrages transversaux

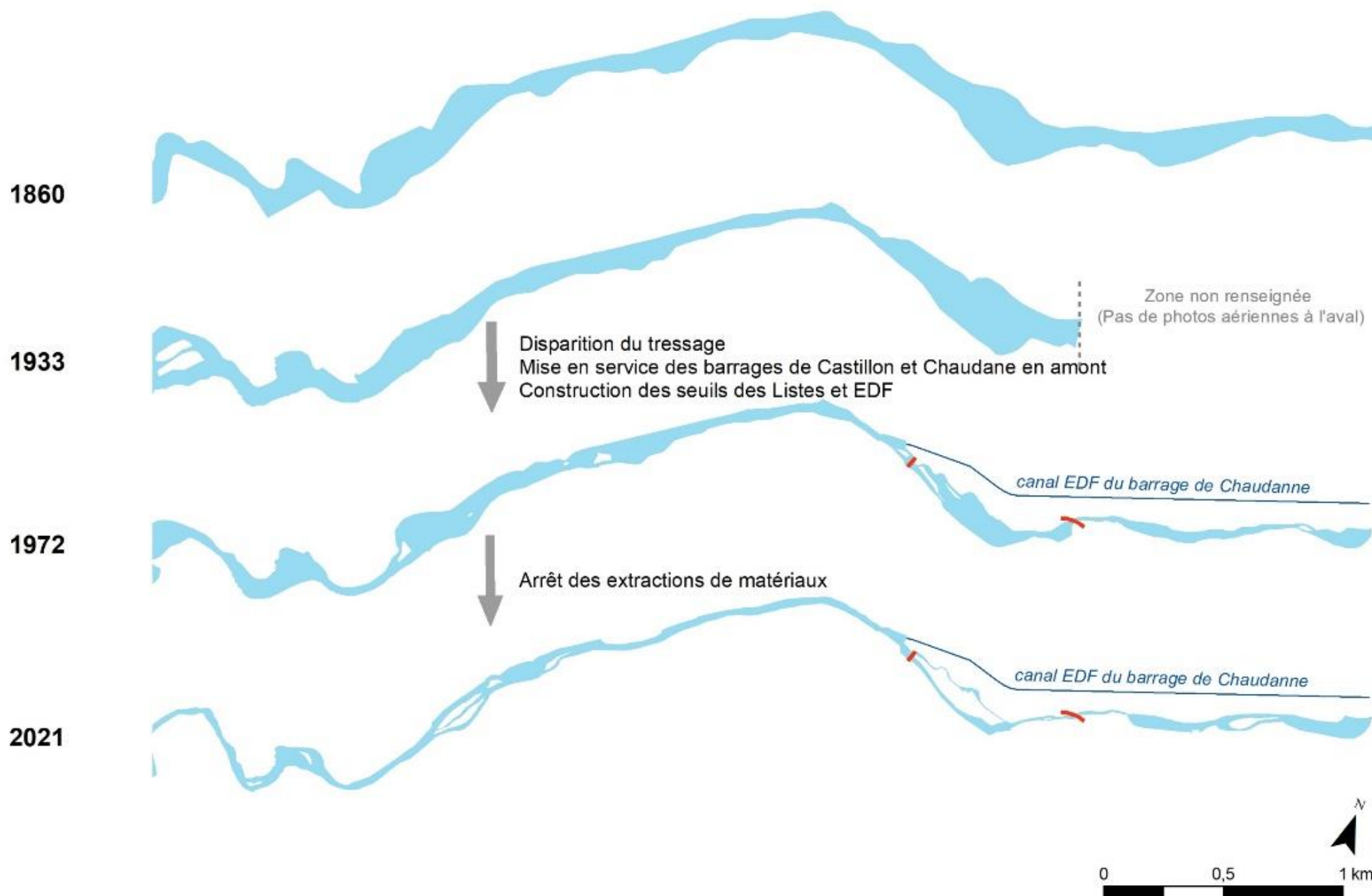


Figure 19 : Evolutions en plan du Moyen Verdon Amont

Evolutions des bandes actives et aménagements hydrauliques du Moyen Verdon intermédiaire

 Bande active

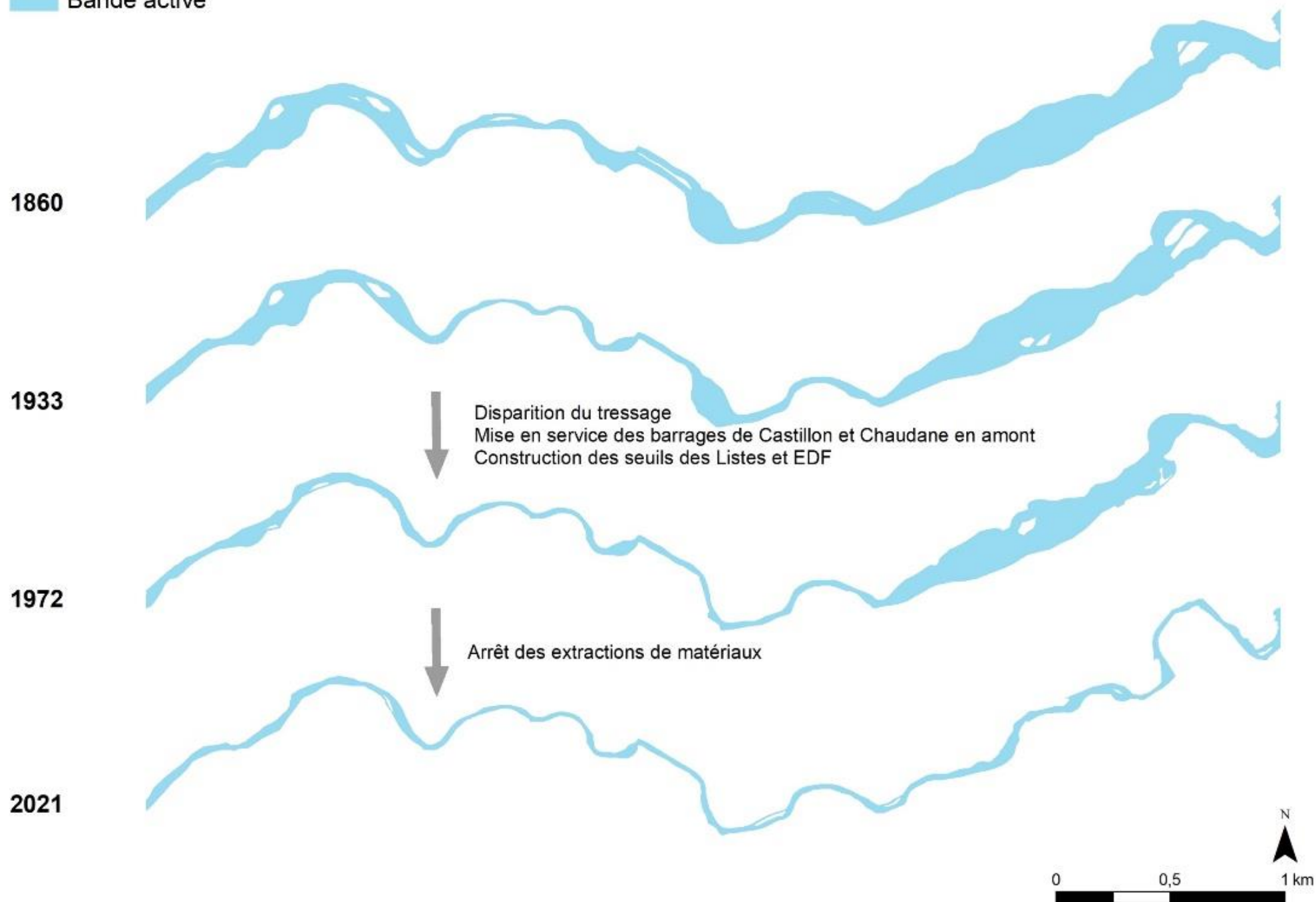


Figure 20 : Evolutions en plan du Moyen Verdon intermédiaire

Evolutions des bandes actives et aménagements hydrauliques du Moyen Verdon aval

 Bande active

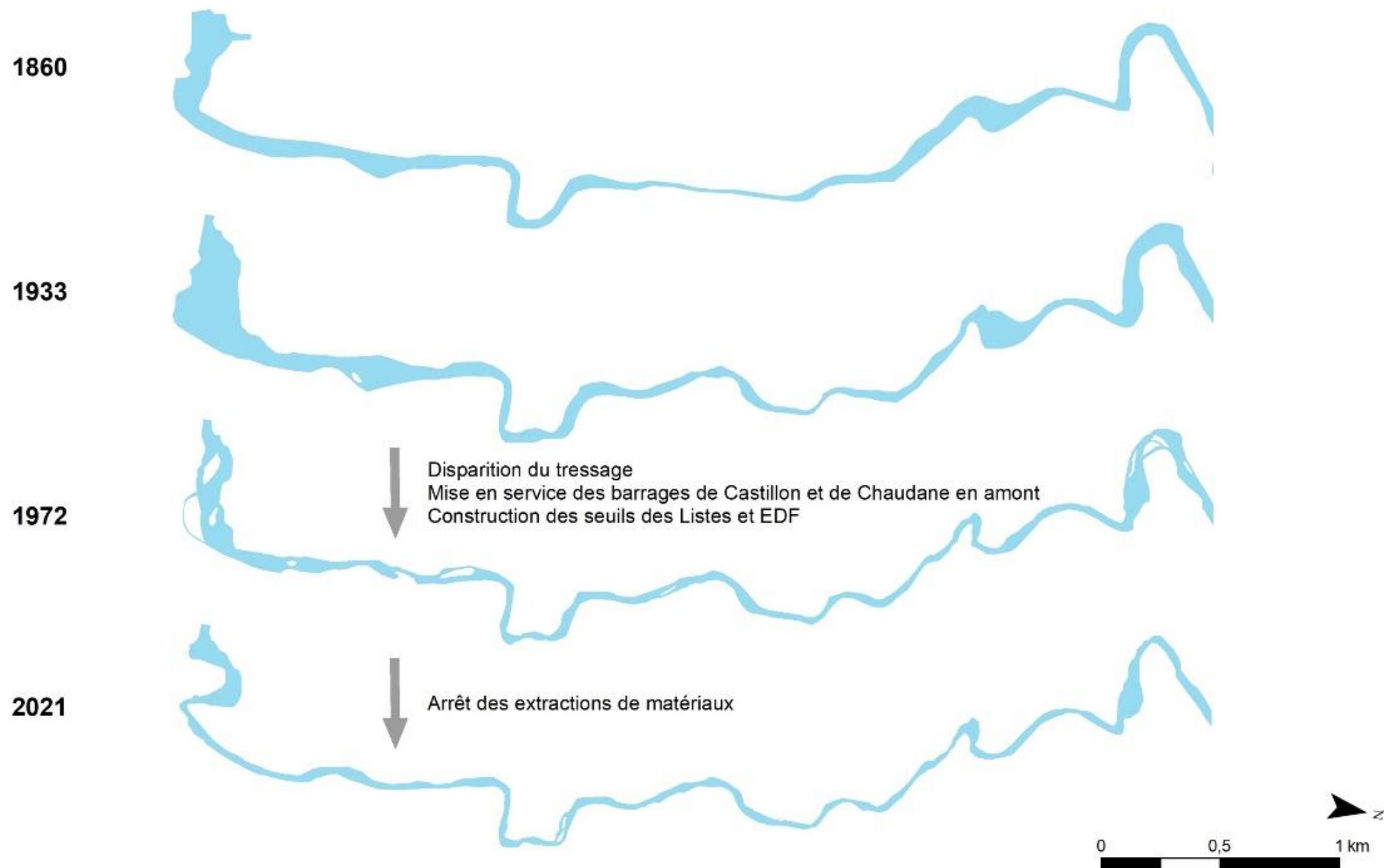


Figure 21 : Evolutions en plan du Moyen Verdon aval

4.1.2.4- Constitution des fonds

Sur le Bas Verdon, le tronçon « TCC amont » se distingue des autres principalement par sa forte proportion de dalles (figure 22, a).

Les deux autres tronçons ont une granulométrie globalement similaire (figure 22 a). En aval de la restitution les fractions grossières sont un peu plus importantes que sur le « TCC aval » (35% de pierres grossières et 40% de pierres fines). Ce dernier a une portion de fraction moyenne (45%) plus importante que le tronçon « Aval restitution ».

Par ailleurs, le tronçon « Aval restitution » a un gradient granulométrique bien visible (figure 22 b). Les fractions grossières tendent à diminuer pour laisser place aux fractions granulométriques moyennes vers l'aval du tronçon. Un gradient semblable existe également sur le tronçon « TCC aval » mais il est plus difficile à détecter à cause des différences entre les types de faciès échantillonnés.

Le Bas Verdon est fragmenté par le boudin de Gréoux et le seuil rocheux de Vinon et le barrage de Cadarache. Ces ouvrages transversaux entraînent une rupture du transport sédimentaire et/ou un effet point dur qui stabilise les fonds. Cela engendre à leur aval un déficit sédimentaire et laisse ainsi place aux fractions plus grossières. A leur amont, les sédiments vont au contraire se déposer, ce qui explique la présence plus importante des fractions moyennes. Ces éléments ont été observés sur le terrain, où les fractions grossières étaient recouvertes d'algues mousseuses et de périphyton. Ces indicateurs sont témoins d'une eutrophisation du milieu mais surtout d'un transit sédimentaire très faible.

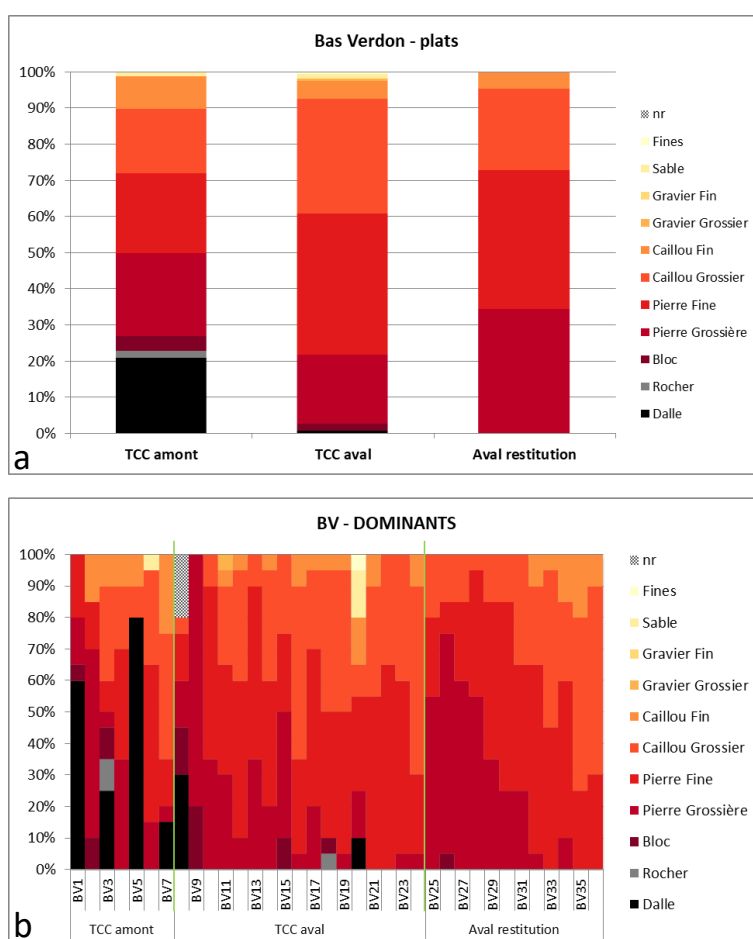


Figure 22 : La granulométrie dominante sur le Bas Verdon

Sur le Moyen Verdon, en prenant en compte tous les types de faciès d'écoulement, le tronçon court-circuité (TCC) se distingue nettement des autres tronçons par la dominance des particules fines

(sables et limons) (figure a). Cela s'explique par les faibles débits qui transitent sur ce tronçon et par les apports de sédiments fins depuis le ravin de Destourbes (affluent de rive gauche au milieu du TCC). De plus, le seuil des Listes et le seuil EDF contribuent à réduire les vitesses d'écoulement, ce qui favorise la décantation et le colmatage des matières fines. Les autres tronçons sont plus ou moins similaires, avec les pierres grossières, les pierres fines et les cailloux grossiers qui dominent.

Les différences entre tronçons peuvent néanmoins découler des types de faciès échantillonnés sur chacun. Il est donc utile de comparer les tronçons sur la base d'un ou deux mêmes types de faciès, le plus fréquents (figure b et c). La comparaison des faciès « profonds » (mouilles, chenaux lentiques ou lotiques) du tronçon de Castellane et du TCC (figure 23 b) confirme que ce dernier accueille plus de particules fines. On constate aussi que les plats présentent une granulométrie plus grossière à Castellane, avec 10 à 15% de plus de pierres grossières et de pierres fines, que dans les tronçons aval qui présentent davantage de cailloux fins (figure 23 c), certainement issus des affluents plus nombreux et des versants. Ces différences laissent supposer que les tronçons aval ont un fonctionnement morphodynamique légèrement plus équilibré que le tronçon de Castellane.

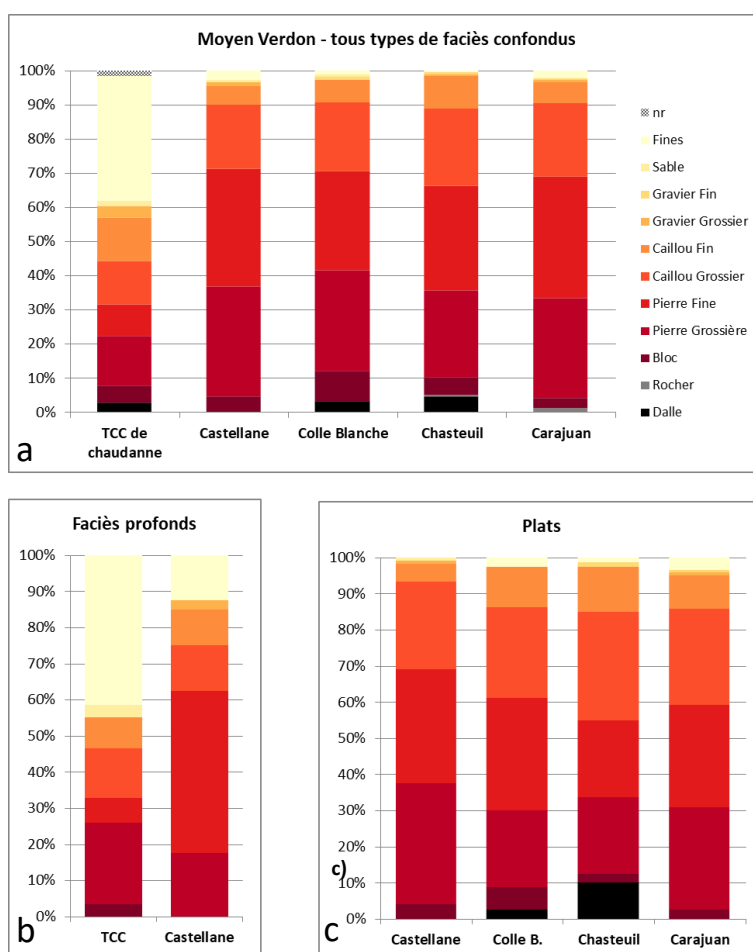


Figure 23 : La granulométrie dominante sur le Moyen Verdon

4.2- EBF élaboré

4.2.1- *Espaces intégrés à l'EBF*

4.2.1.1- *Espaces morphologiques liées aux confluences*

Sur le Bas Verdon, aucun des affluents n'est pertinent à intégrer vis-à-vis de la composante morphologique en tant que zone de régulation du transport solide. Le Colostre est pourtant un affluent relativement important mais il apporte peu de sédiments grossiers.

Sur le Moyen Verdon, les ravins de Patarasse et de Rouret sont théoriquement les plus aptes à fournir une quantité de matériaux grossiers intéressante au regard des caractéristiques qu'ils possèdent (superficie du bassin, pentes, lithologie). Cependant, les observations de terrain ont montré qu'en fait les apports solides de ces affluents étaient relativement faibles. Il n'y a donc aucun affluent à inclure dans l'EBF du Verdon.

Il est toutefois noté que les nombreux affluents du Moyen Verdon apportent tous un peu de matière alluviale grossière. Comme les débits du Verdon sont bien plus faibles qu'avant, cette faible charge alluviale contribue au nouvel équilibre dynamique du Verdon en aval de Castellane. Il est donc nécessaire de préserver ces affluents et leurs apports sédimentaires. Par ailleurs, il a été observé que la route constitue une rupture de connectivité entre les versants et la rivière. Il serait pertinent, lors d'opération d'entretien ou de nettoyage de la route, de déposer les cailloux au-delà des glissières de sécurité, du côté du Verdon.

4.2.1.2- *Espaces biologiques*

Il n'est pas pertinent d'inclure au sein de l'EBF tous les espaces naturels identifiés aux alentours du Moyen Verdon et du Bas Verdon (figure 7 et figure 8 et annexe 3) En effet, certains sont éloignés et donc déconnectés du fonctionnement du Verdon. D'autres ne présentent aucune caractéristique liée aux milieux aquatiques. Par exemple, la ZNIEFF de la Clue de Chasteuil (Moyen Verdon) s'étend strictement sur les versants adjacents au fond de vallée du Verdon, sans rapport avec ce dernier. Enfin, des zonages aux délimitations imprécises s'étalent sur des superficies trop vastes pour être pris en compte. C'est notamment le cas des espaces Natura 2000 présents sur la zone où il est difficile de déterminer les interactions avec le Verdon.

Seule l'ENS des Mians (Bas Verdon), proche de la confluence avec la Durance, pourrait être intégrée à l'EBF puisqu'elle est fortement liée au cours d'eau (étalement des écoulements lors des crues et forêts humides). Cette zone est néanmoins déjà incluse dans le périmètre hydraulique.

Par ailleurs, d'après les prospections terrain la Louane (Bas Verdon) est un milieu intéressant à inclure dans l'EBF. Il s'agit d'un adou, c'est-à-dire d'un petit cours d'eau alimenté par les nappes. Malgré des fonds colmatés, il accueille une grande diversité d'herbiers aquatiques qui constituent des refuges et des habitats particuliers. De plus, en rive droite une roselière remarquable d'une taille importante est présente. A l'image de l'ENS des Mians cette zone est incluse dans le périmètre hydraulique.

4.2.1.3- *Espaces hydrogéologiques*

Les informations recueillies ne montrent aucun espace à ajouter au regard des relations entre la nappe alluviale et la rivière. De plus, aucun captage ne présente un enjeu de préservation particulier.

4.2.1.4- *Espaces biogéochimiques*

Sur les deux secteurs, l'implantation d'une bande enherbée n'est pas utile pour limiter l'apport des polluants agricoles. En effet, ces parcelles sont déjà séparées du cours d'eau par la ripisylve relativement épaisse, la digue et, bien souvent, un chemin ou une route.

Cependant, il est important de noter que la station d'épuration de Gréoux-les-Bains rejette des effluents qui sont à l'origine d'un colmatage des fonds et d'une eutrophisation. Résoudre les

dysfonctionnements du traitement des eaux usées améliorerait nettement la qualité physico-chimique de l'eau.

4.2.2- Emprise EBF

Bas Verdon (figure 24) :

Le périmètre hydraulique optimal s'étale largement dans la plaine alluviale et recouvre une grande partie des zones agricoles aux alentours. Dans la plaine des Iscles, en amont, elle s'étale en moyenne sur une largeur de 900 m tandis que sur la plaine aval, (juste avant la confluence avec la Durance) elle atteint des largeurs de de 1300-1400 m. L'espace hydraulique nécessaire s'étale également dans les plaines alluviales mais dans une moindre mesure.

Le périmètre morphologique optimal déborde, lui aussi, amplement dans la plaine alluviale. Ce résultat s'explique par la prise en compte du tracé de 1860, où la rivière n'était pas encore contrainte latéralement. Cet étalement naturel ancien ne reflète plus la dynamique actuelle du cours d'eau. Le périmètre morphologique nécessaire se cantonne à peu près à l'espace interdigue actuel.

De manière générale, les périmètres hydrauliques sont donc plus larges que les périmètres morphologiques. Cela s'explique par la faible intensité morphodynamique du Verdon.

Moyen Verdon (Figure 25) :

L'EBF aval occupe la quasi-totalité du fond de vallée alluvial naturellement étroit. Seules quelques hautes terrasses hydrauliquement déconnectées font exception. En amont, le périmètre hydraulique optimal s'étale amplement sur la plaine de Castellane (400 m de largeur moyenne) et sur la zone industrielle située à l'aval du barrage de Chaudanne (200 m de largeur en moyenne). Les périmètres morphologiques ont une emprise limitée du fait de la faible activité dynamique actuelle. C'est particulièrement le cas dans la traversée de Castellane, où la stabilité en plan du Verdon est acquise depuis longtemps, d'où un EDH et un périmètre morphologique modestes, en lien avec la digue de la Barricade construite au XVI^{ème} siècle. Sur ce tronçon, le périmètre morphologique nécessaire construit à partir d'un fuseau de 75 m est parfois plus large que le périmètre morphologique optimal.

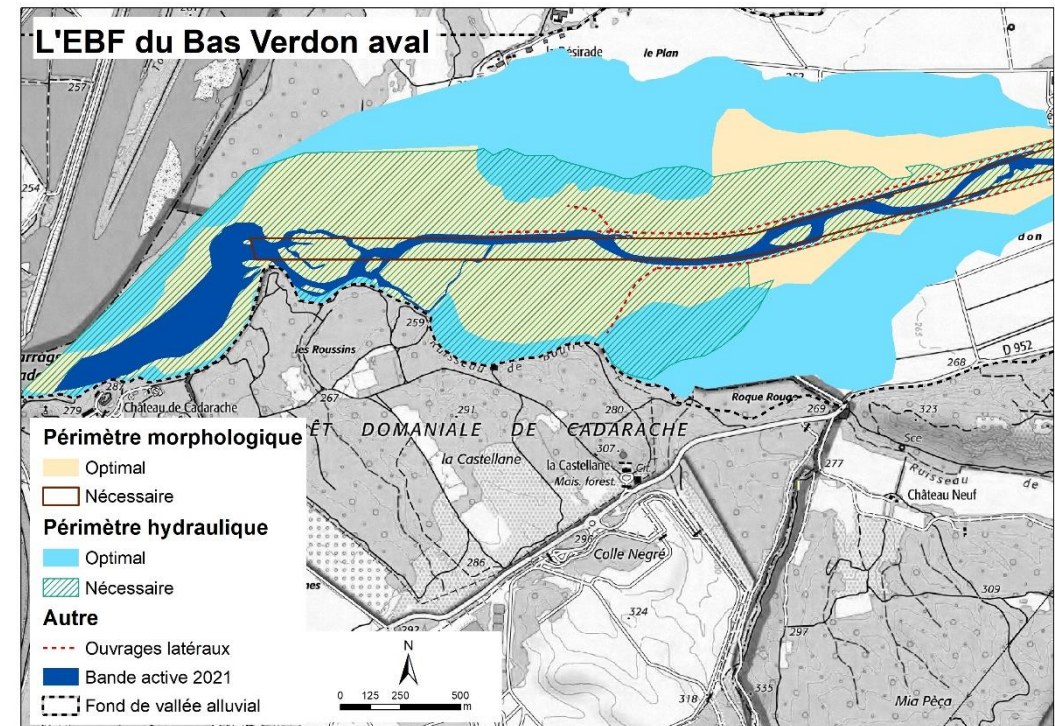
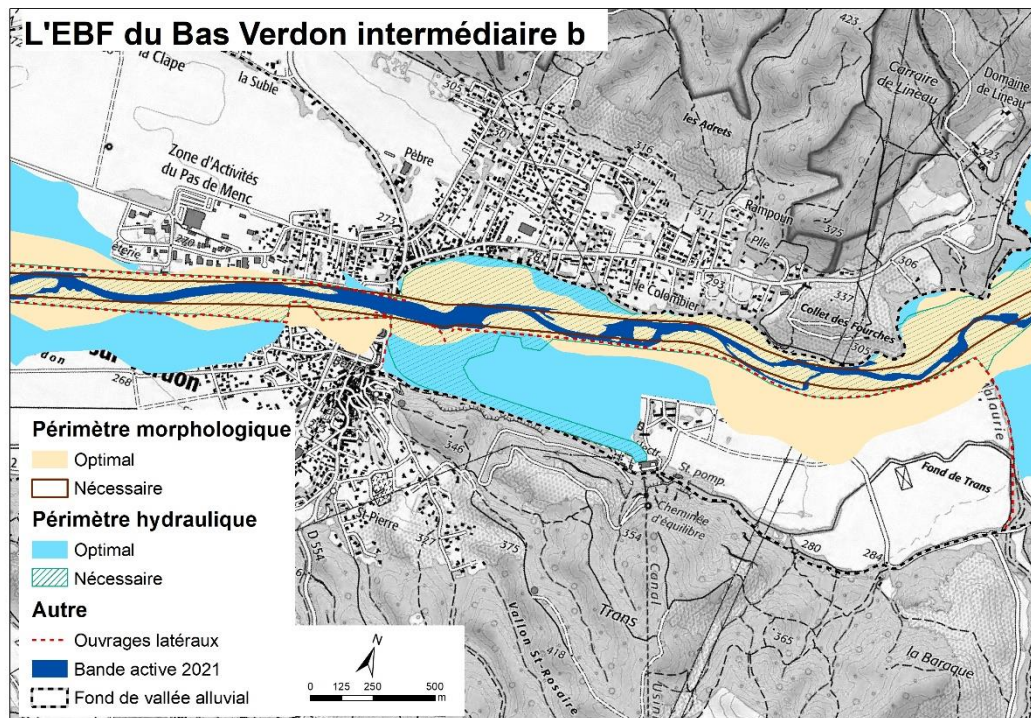
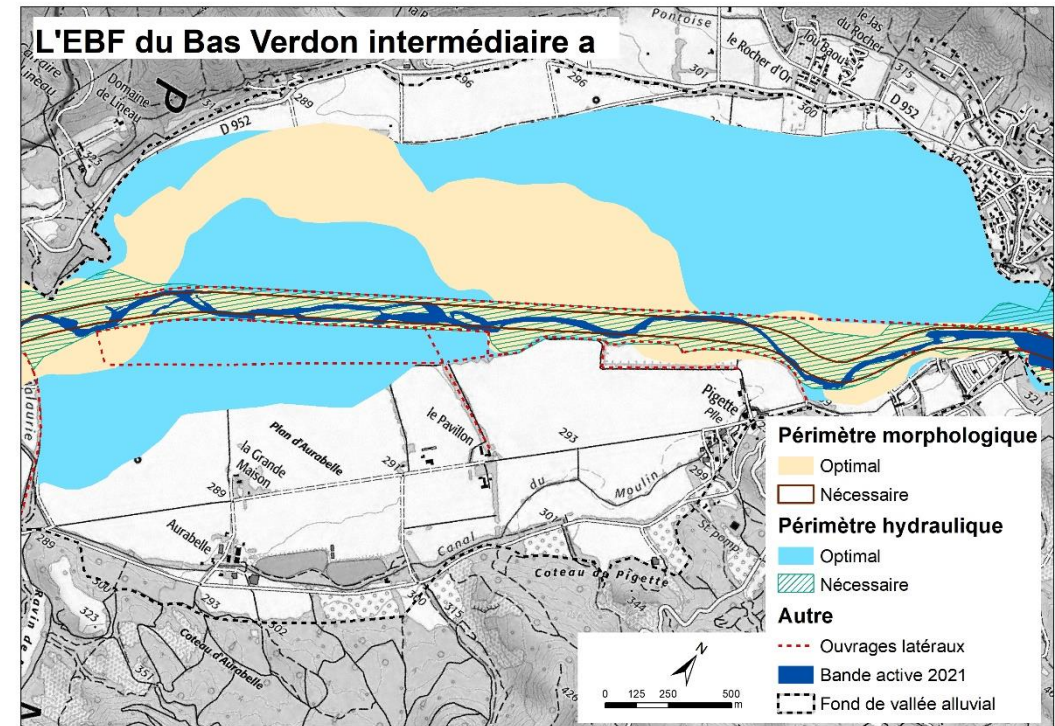
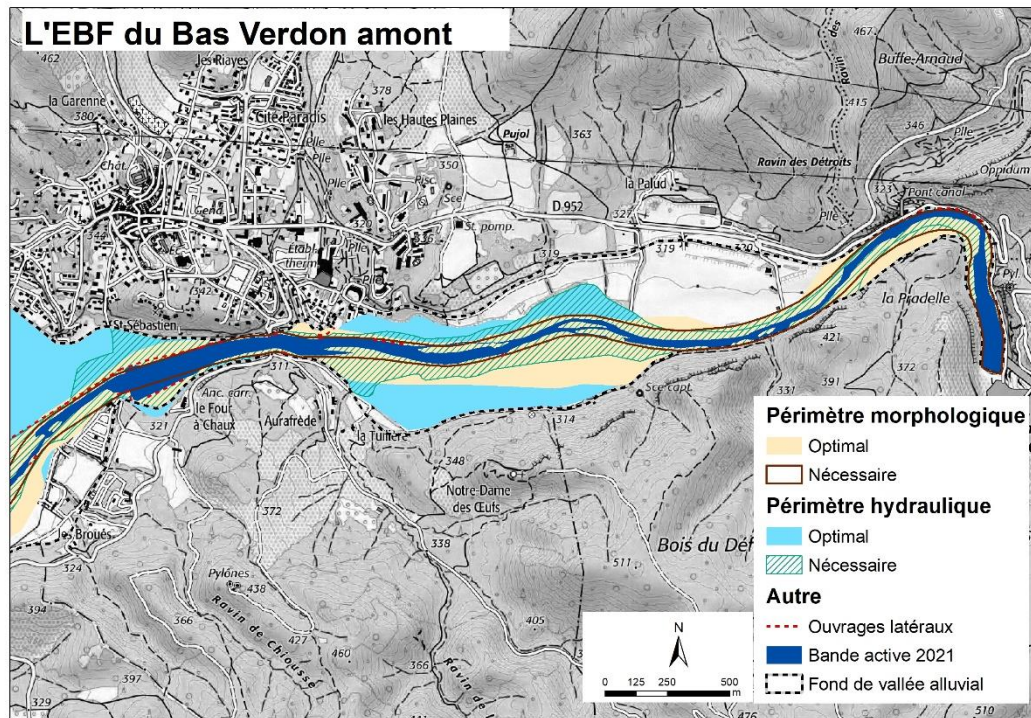


Figure 24 : L'EBF du Bas Verdon

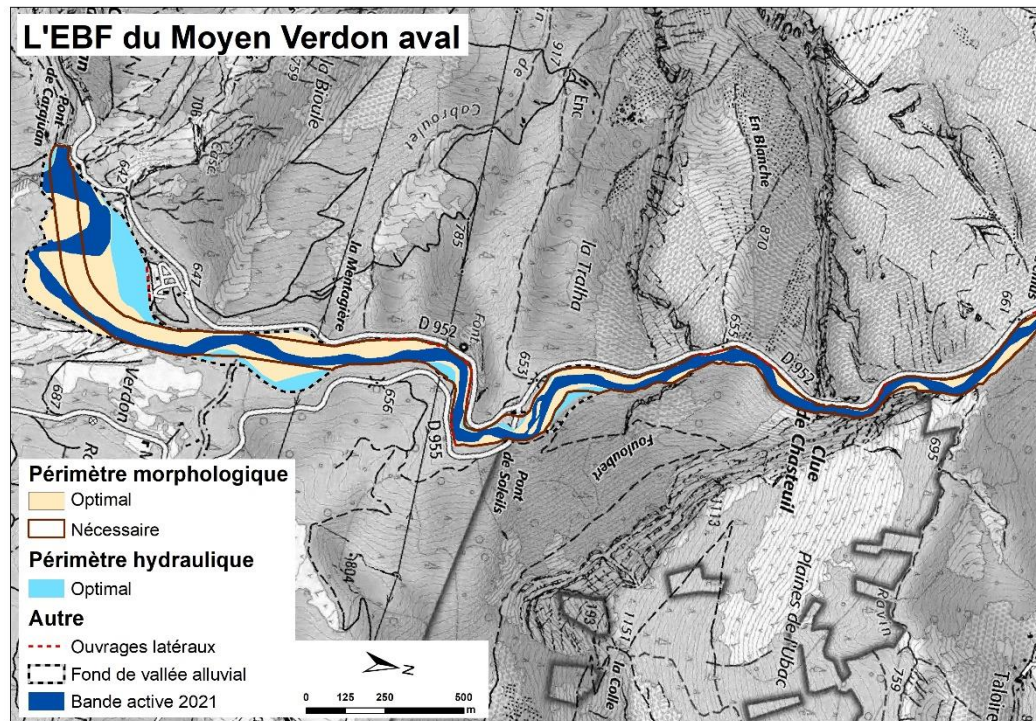
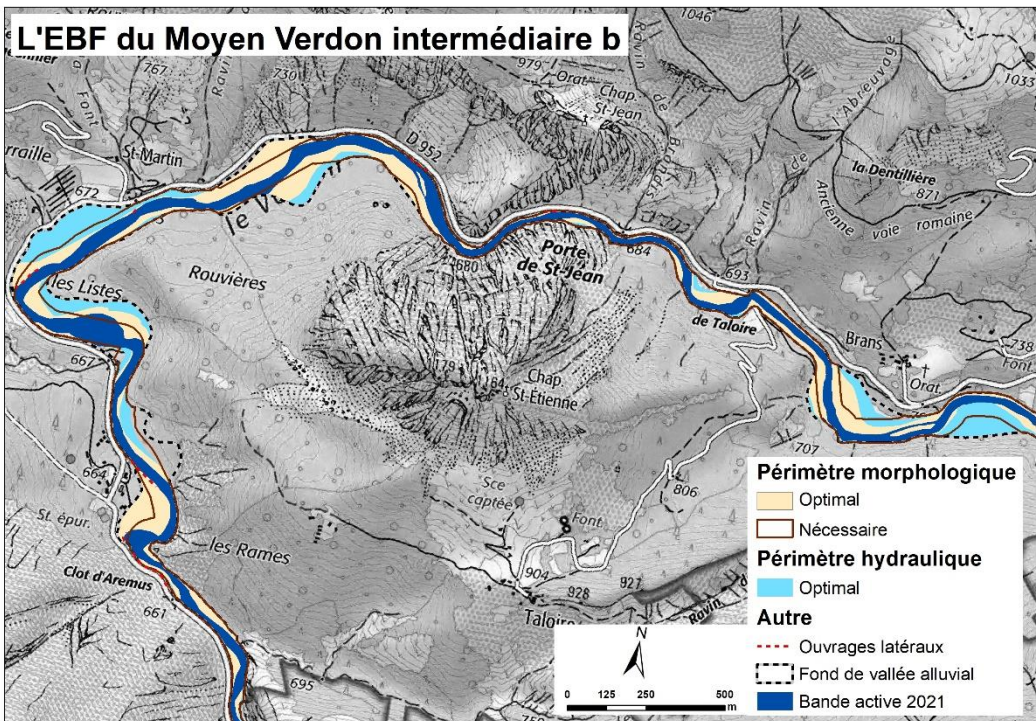
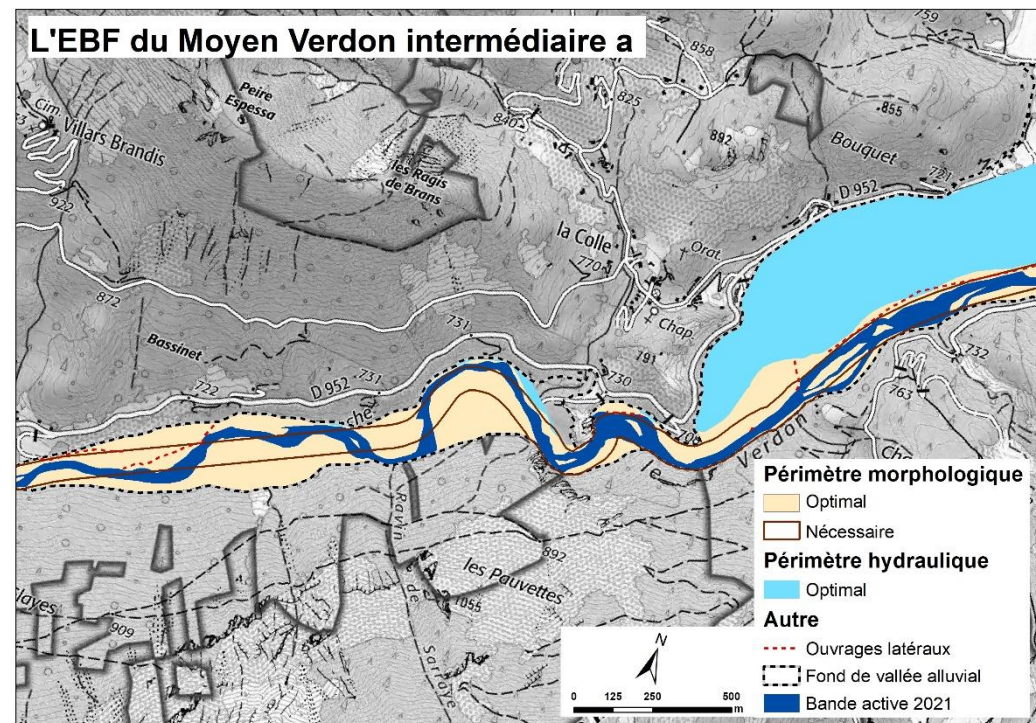
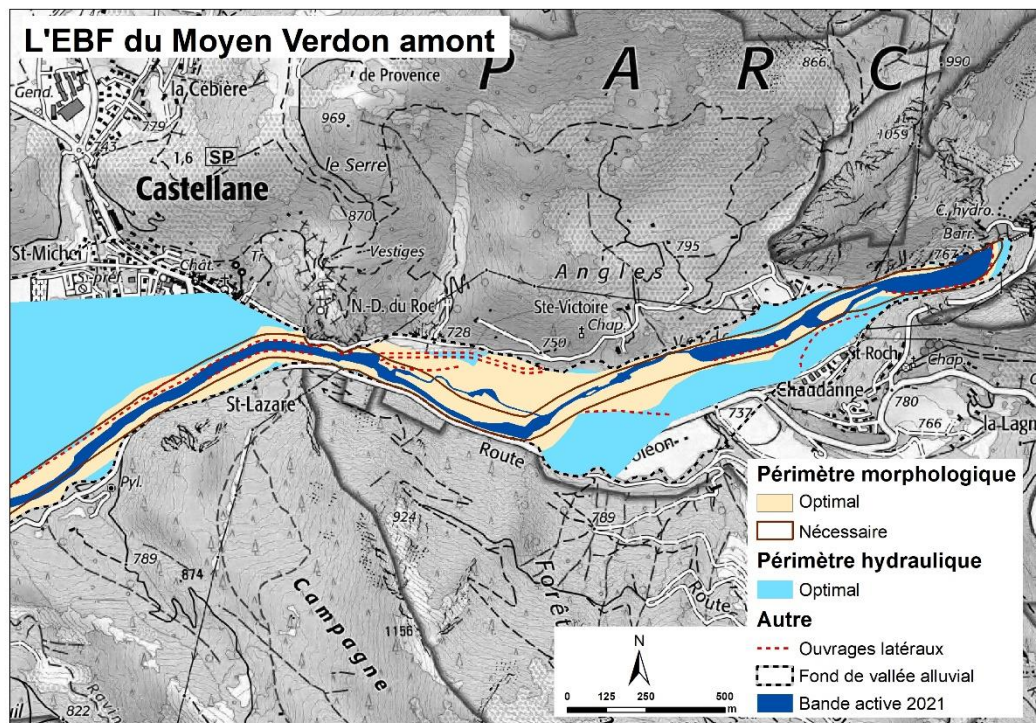


Figure 25 : L'EBF du Moyen Verdon

5- DISCUSSION

5.1- Portée et limites de l'EBF

La phase de concertation doit aboutir au périmètre définitif de l'EBF qui est le meilleur compromis entre les enjeux humains et les objectifs de restauration des milieux aquatiques fixés. Il semble complexe de choisir un EBF qui apportera un réel bénéfice au fonctionnement de l'hydrosystème. Deux raisons expliquent les limites de l'EBF sur le Verdon.

Premièrement, on a vu que le fonctionnement morphodynamique du Verdon a été drastiquement modifié par la présence des grands barrages hydroélectriques. Leur influence sur les débits liquides et solides empêche le rétablissement d'une dynamique fluviale naturelle. De ce fait, il est peu probable que la rivière s'étale à nouveau largement dans le fond de vallée alluvial en lui redonnant seulement de l'espace.

Deuxièmement, au regard des enjeux humains présents à proximité du Verdon il s'avère difficile de lui redonner un réel espace fonctionnel. Sur le Moyen Verdon, seule la partie amont pourrait être élargie puisque la partie aval est contrainte naturellement par les montagnes. Cependant, il n'est pas envisageable de déplacer ou de supprimer les anciennes digues de Castellane qui protègent le bourg, les habitations, les activités économiques et industrielles. Le seul espace susceptible d'être rendu à la rivière se situe en aval de la station d'épuration, où un camping est implanté et donc, les enjeux sont légèrement moins importants. En fait, la faisabilité d'un EBF augmente à mesure que l'on s'éloigne de la plaine alluviale de Castellane mais son intérêt diminue.

Le contexte plus alluvial et plus agricole du Bas Verdon est a priori plus favorable. Toutefois, les nombreux ouvrages longitudinaux présents de l'aval du boudin de Gréoux jusqu'à la confluence limitent fortement cette possibilité. En effet, une réflexion a été entamée sur la pertinence de les déplacer ou de les supprimer. Ces opérations entraîneraient des coûts très importants pour des gains très faibles. Cette solution est donc peu envisageable, d'autant que les communes alentour ont des budgets restreints.

L'établissement de l'EBF sur le Verdon ne permettra donc pas de résoudre les problèmes majeurs identifiés. Mais sa délimitation est un premier pas contribuant à sensibiliser les élus et les citoyens sur les fonctionnalités des cours d'eau.

5.1- Leviers pour la restauration du Verdon

Aussi bien sur le Moyen Verdon que le Bas Verdon la solution la plus bénéfique pour améliorer l'état de leur fonctionnement est d'effectuer des recharges sédimentaires régulières, et plus précisément des injections ou réinjections sédimentaires. Il s'agit de prélever des sédiments sur les tronçons excédentaires ou les portions de lit qui ne sont plus remobilisables par la rivière et de les réinjecter dans les tronçons en déficit sédimentaire. La rivière va agencer ensuite elle-même ces alluvions. Plus l'injection est effectuée en amont plus elle s'avère efficace puisqu'elle bénéficie à l'ensemble des tronçons aval. Cette restitution sédimentaire permettra de rétablir l'équilibre hydromorphologique de la rivière en lui redonnant la capacité de structurer sa morphologie. En plus de limiter l'incision des lits, elle favorisera la diversification des habitats au profit de la faune et la flore aquatique. Lors de telles opérations, il est important de prendre en compte l'exhaussement temporaire des fonds qui peut augmenter le risque inondation. Dans un premier temps, il est donc préférable d'injecter une quantité inférieure à la capacité de transport annuel du cours d'eau. Puis, d'augmenter cette quantité au fil des années sur la base d'un suivi du transport des matériaux injectés et du profil en long.

Sur le Moyen Verdon, le plus judicieux est d'exploiter une partie des alluvions qui s'accumulent régulièrement en queue de retenue du barrage de Castillon situé en amont. L'idée est d'effectuer un

tri granulométrique afin d'injecter seulement les fractions les plus utiles et les plus morphogènes. Ce sont ainsi, les fractions moyennes qui seront privilégiées : graviers et cailloux essentiellement. Bien que cette opération soit plus onéreuse, elle limiterait le nombre de camions sur les routes de montagne et dans le centre touristique de Castellane. L'idéal serait de les injecter directement en aval de la restitution, c'est-à-dire à l'extrémité amont des tronçons, où les écoulements morphogènes sont les moins rares. Un deuxième site d'injection est envisagé en aval du stade d'eau vive pour palier l'éventuelle réticence des élus et des habitants du centre-ville de Castellane vis-à-vis du premier site ou pour injecter des volumes complémentaires.

Sur le Bas Verdon, prélever des sédiments en amont dans les retenues d'Esparron ou de Sainte-Croix est difficile. En effet, les distances sont longues et les routes touristiques des gorges du Verdon sont peu praticables par les camions. Il est donc envisagé d'utiliser les matériaux accumulés sur des vastes atterrissements présents dans le tronçon court-circuité de Gréoux. Il s'agit de bancs longs, larges et hauts désormais perchés et donc plus mobilisables par la rivière. Le lieu d'injection se situera probablement directement en aval du barrage d'Esparron, où il n'y a pas d'enjeux particuliers. Il est également pertinent de les injecter directement en aval de la confluence du Colostre qui apporte un certain débit liquide, utile au transport solide. Par ailleurs, à l'aval du boudin de Gréoux, au niveau de la station d'épuration et de la déchèterie de Gréoux, un atterrissement contenant une charge alluviale très importante, a été identifié. Il sera proposé de les redonner à la rivière en le remodelant afin d'abaisser son niveau et de le rendre accessible aux écoulements. Néanmoins, il faudra être attentif à l'impact potentiel sur la déchèterie et la station d'épuration. Ces structures pourraient être déplacées dans les années futures, surtout la station d'épuration qui est trop petite et dysfonctionnante. De plus, selon la quantité réelle présente, il est possible qu'ils servent également pour la recharge sédimentaire.

6- CONCLUSION

Malgré des contextes morphologiques différents, le Bas et le Moyen Verdon présentent des dysfonctionnements similaires. Suite aux perturbations hydrauliques (raréfaction des débits morphogènes) et morphologiques (rupture du transport sédimentaire) induits par les grands barrages hydroélectriques, l'activité morphodynamique du Verdon a fortement régressé. De manière globale, le lit s'est rétracté et incisé. Sur le Bas Verdon, le style fluvial en tresses a laissé place à un style fluvial à bancs alternés. De plus, les nombreux aménagements latéraux construits ont contraint la mobilité naturelle de la rivière.

Les emprises EBF proposées dans le Moyen Verdon (traversée de Castellane) et dans le Bas Verdon (plaine alluviale) alimenteront la concertation qui déterminera l'EBF définitif. A priori, il est peu probable que cet EBF devienne un levier majeur pour restaurer les fonctionnalités du Verdon. En effet, la rivière est tellement perturbée par le fonctionnement des barrages qu'il est peu probable que l'EBF améliore l'équilibre du système. Les enjeux humains présents sur l'EBF sont également trop importants pour que ces espaces soient rendus à la rivière. L'établissement de l'EBF sur le Verdon constitue donc plus un outil de sensibilisation que de restauration. Par ailleurs, la compréhension de l'ensemble des éléments de diagnostic ont permis d'identifier d'autres leviers de restauration. Il s'agit d'effectuer des injections sédimentaires le plus proche possible des pieds de barrage. Cette restitution de matériaux alluviaux permettra à la rivière de limiter l'incision du lit et de restaurer les habitats aquatiques en rétablissant son équilibre morphodynamique des tronçons étudiés, actuellement en état de déficit sédimentaire.

Tout au long de ce stage j'ai été amenée à manipuler et à utiliser de nombreux outils, que ce soit sur le terrain ou au bureau. Les échanges et les réflexions avec mes collègues ont été très formateurs. Je sens que je me suis enrichie de nouvelles connaissances et de nouvelles compétences qui seront un atout dans ma future vie professionnelle. Je m'imagine plutôt travailler dans la maîtrise d'œuvre dédiée à la restauration des milieux aquatiques, dans une structure privée.

Bibliographie

Bernot V, Calland V, Bravard JP, et Foussadier R. 1996. « La sectorisation longitudinale du Vidourle (Gard-Hérault) : une méthode appliquée à la gestion environnementale de l'espace fluvial méditerranéen / The longitudinal classification of the river Vidourle (Gard, Hérault) : a method applied to the environmental management of a mediterranean river ». *Revue de géographie de Lyon* 71 (4): 323-39. <https://doi.org/10.3406/geoca.1996.4351>.

Bravard JP., Petit F., « Éléments d'hydromorphologie fluviale. Édité par l'Onema (Office national de l'eau et des milieux aquatiques), 2010, 224 p. En ligne sur : <http://www.onema.fr/hydromorphologie-fluviale>. », Physio-Géo [En ligne], Volume 5 | 2011, mis en ligne le 11 février 2011, consulté le 01 août 2021. URL : <http://journals.openedition.org/physio-geo/1532> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/physio-geo.1532>

Bravard JP., Petit F., 1997, « Les cours d'eau : dynamique du système fluvial ». Paris, A. Colin.

Chapuis M., 2012, « Mobilité des sédiments fluviaux grossiers dans les systèmes fortement anthropisés : éléments pour la gestion de la basse vallée de la Durance ».

Dany A., 2016. Accompagner la politique de restauration physique des cours d'eau : éléments de connaissance. Collection « eau & connaissance ». Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. 304 pages.

Grospretre L, 2019, « Etude de faisabilité pour la recharge sédimentaire du Bas et du Moyen Verdon, Rapport provisoire de phase 1 », Dynamque Hydro, 45p

Malavoi JR., et Souchon Y., 2002. « Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. » *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, n° 365-366: 357-72. <https://doi.org/10.1051/kmae:2002040>.

Malavoi, J.R., et Y. Souchon. 1989. « Méthodologie de description, quantification des variables morphodynamiques d'un cours d'eau à fond caillouteux : exemple d'une station sur la Fillière (Haute-Savoie) / A methodology for the description and the quantification of the morphodynamic variables along a gravel bed river : a reach of the Fillière river (Haute-Savoie) as an example ». *Revue de géographie de Lyon* 64 (4) : 252-59. <https://doi.org/10.3406/geoca.1989.5699>.

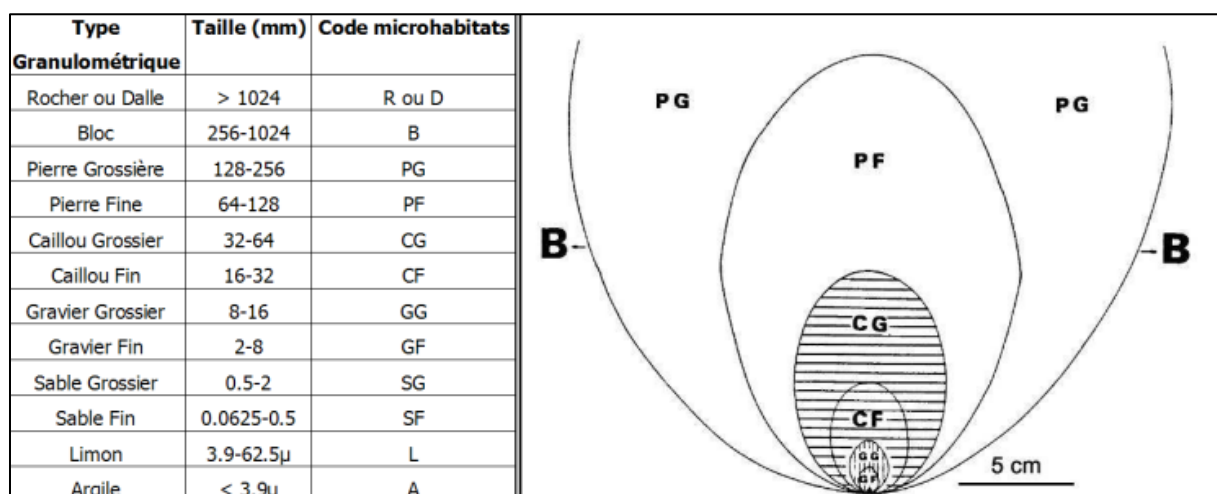
Piegay, H, O Barge, J P Bravard, N Landon, et J L Peiry. s. d. « Comment délimiter l'espace de liberté des rivières ? », 11.

Snijders, J., Eric Hallot, Geoffrey Houbrechts and F. Petit.2015. « Approche méthodologique pour la délimitation des espaces de liberté des rivières du massif ardennais».

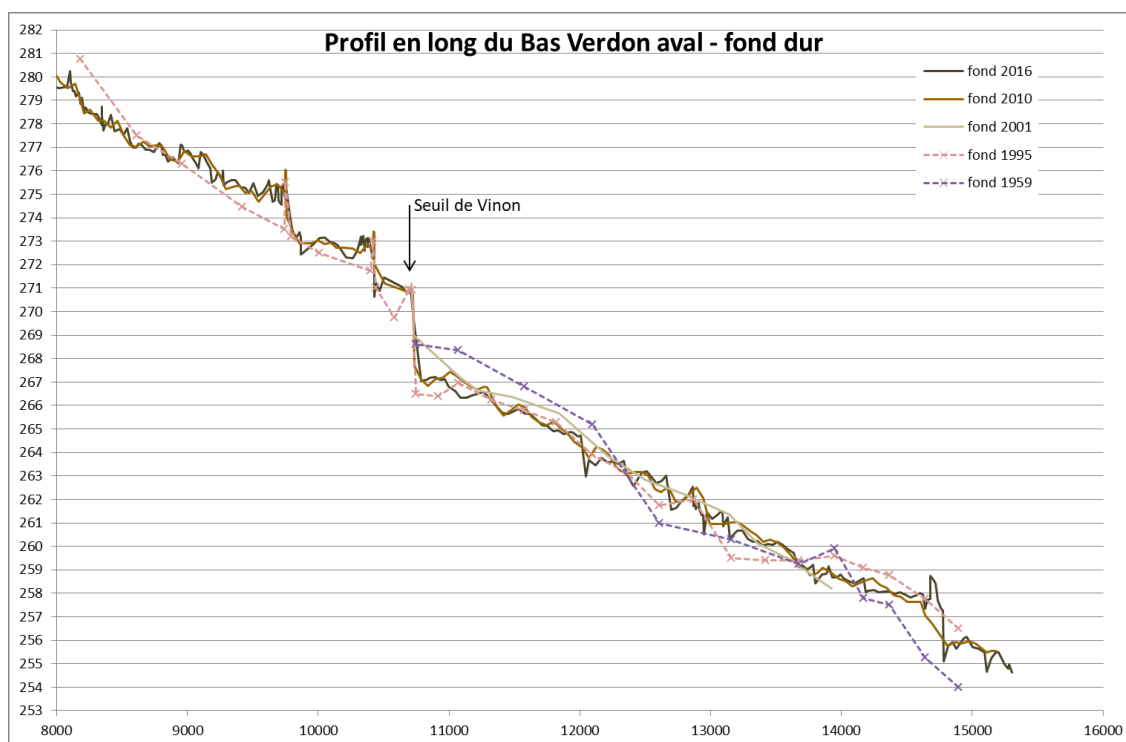
Valette L., A Chandresris, Mengin N., Malavoi J R., Souchon Y., et Wasson J G., 2008. « SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie Des Cours d'Eau SYRAH CE. Principes et Méthodes de La Sectorisation Hydromorphologique », 28.

Annexes

Annexe 1 : Taille de référence utilisée pour l'analyse granulométrique (Malavoi et Souchon, 1989)



Annexe 2 : Evolution verticale des fonds du Bas Verdon aval



Annexe 3 : Zonages écologiques à proximité du Verdon

L'étude des zonages écologiques vise à intégrer dans l'EBF d'éventuelles zones complémentaires aux périmètres morphologiques ou hydrauliques, liées au fonctionnement du Verdon dans les secteurs étudiés. Il s'agit typiquement des annexes fluviales. Cela permet également de décrire le contexte environnemental dans lequel s'inscrivent les secteurs étudiés.

Contexte biologique sur le moyen Verdon

Recherches effectuées / bases de données consultées

En vue de prendre en compte la composante biologique liée au fonctionnement du moyen Verdon, l'ensemble des éléments présentés dans le **tableau ci-après** ont été recherchés.

Espaces naturels recherchés sur le moyen Verdon

Type d'intérêts	Espaces naturels recherchés
Protection réglementaire	Réserves naturelles nationales et régionales
	Arrêtés préfectoraux de protection de biotope
	Réserves de biosphère
	Réserves biologiques
Enjeux naturels	Trames vertes et bleues (SRCE)
	Natura 2000 : Zone Spéciale de Conservation (Directive Habitat) et Zone de Protection Spéciale (Directive Oiseau)
	ZNIEFF de type 1 et 2
	Espaces Naturels Sensibles
	RAMSAR
	Inventaire de zone humide à l'échelle régionale

Zonages identifiés sur le secteur d'étude

Les espaces naturels identifiés aux alentours du moyen Verdon (**tableau ci-après**) permettent de comprendre le contexte environnemental dans lequel il s'inscrit. Pour la délimitation de l'EBF, la plupart d'entre eux ne sont pas pertinents. En effet, certains sont éloignés et sont donc déconnectés du fonctionnement du Verdon. D'autres ne présentent aucune caractéristique liée aux milieux aquatiques. Par exemple, la ZNIEFF de la Clue de Chasteuil s'étend strictement sur les versants adjacents au fond de vallée du Verdon, sans rapport avec ce dernier qui la coupe en 2 car il ne s'agit pas d'une zone alluviale. Enfin, des zonages, aux délimitations imprécises, s'étalent sur des superficies trop vastes pour être pris en compte. C'est notamment le cas des espaces Natura 2000 présents sur la zone où il est difficile de déterminer les interactions avec le Verdon.

Zonages écologiques du moyen Verdon

Type d'espaces naturels	Nom	Identifiant/code
Réserve Naturelle Nationale	Réserve naturelle géologique de Haute Provence	FR9500073

Natura 2000 (ZCS)	Grand Canyon du Verdon - Plateau de la Palud	FR9301616
Natura 2000 (ZPS)	Verdon	FR9312022
APPB	Grand Canyon du Verdon	FR3800841
ZNIEFF type 1	Clue de Chasteuil (partie ouest) - les réglés	930020026
	Clue de Chasteuil (partie est) - barre rousse	930020046
	Bois de la Faye et colle de Breïs	930020239
ZNIEFF type 2	Montagnes de Robion et de Destourbes – Taloire	930020045
	Massif du Mourre de Chanier - serre de Montdenier - gorges de Trévans - pré Chauvin - la font d'Isnard	930012695
	Retenues de Castillon et de Chaudanne - le moyen Verdon entre Vaucluse et le grand Canyon	930020044
	Massif de Crémon - la Bernarde - Vauplane - crête du Teillon - col des Portes - la Faye - Trébec - plan de Mousteiret	930020447
ENS	Salaous	NC

Parmi ces sites, on peut citer la ZNIEFF de type 2 « Retenues de Castillon et de Chaudanne - le moyen Verdon entre Vaucluse et le grand Canyon » (930020044). Son périmètre correspond au fond de vallée du Verdon sur environ 36 km, dont la moitié aval correspond à notre secteur d'étude. Elle possède de nombreux habitats de bords de cours d'eau comme les galeries montagnardes d'Aulnes Blancs (code CORINE biotope 44.21) qui forment des corridors à l'interface des milieux aquatiques et terrestres, des zones à truite (24.12), des Saussaies à *Myricaria* (44.111) et des broussailles de Saules et de *Myrica* germanique (24.223). Elle abrite également plusieurs espèces patrimoniales, inféodées aux milieux aquatiques (Martin pêcheur, Cincle plongeur, Vespère de Savi, Symptère déprimé...). La cartographie détaillée des habitats n'est pas disponible.

L'ENS des Salaous se situe en bordure du Verdon, en rive gauche juste après la confluence avec le Jabron. Nous ne disposons d'aucune information d'intérêt floristique ou faunistique sur ce site. Son intérêt semble résider dans sa situation de confluence et à la proximité au grand canyon (intérêt pédagogique).

Bien qu'en dehors du périmètre d'étude, l'APPB du Grand Canyon du Verdon est souligné. Il présente un enjeu considérable pour la survie de l'Aron du Rhône (*Zingel asper*), espèce en danger et protégée. Sa conservation dépend notamment de la qualité des fonds sédimentaires donc du transport solide. Ainsi, sa survie dépend directement du fonctionnement hydro-sédimentaire amont (le moyen Verdon).

Zonages intéressant l'EBF

L'ensemble des enjeux biologiques liés aux espèces aquatiques ou inféodées aux milieux aquatiques (se concentrent dans le lit du moyen Verdon et sont déjà inclus dans le périmètre

hydraulique/morphologique nécessaire/optimal. Il n'est donc pas pertinent d'élargir l'EBF vis-à-vis de la composante biologique.

Contexte biologique sur le bas Verdon

Recherches effectuées / bases de données consultées

En vue de prendre en compte la composante biologique liée au fonctionnement du bas Verdon, l'ensemble des éléments présentés dans le **ci après** ont été recherchés.

Espaces naturels recherchés sur le bas Verdon

Type d'intérêts	Espaces naturels recherchés
Protection réglementaire	Réserves naturelles nationales et régionales
	Arrêtés préfectoraux de protection de biotope
	Réserves de biosphère
	Réserves biologiques
Enjeux naturels	Trames vertes et bleues (SRCE)
	Natura 2000 : Zone Spéciale de Conservation (Directive Habitat) et Zone de Protection Spéciale (Directive Oiseau)
	ZNIEFF de type 1 et 2
	Espaces Naturels Sensibles
	RAMSAR
	Inventaire de zone humide à l'échelle régionale

Zonages identifiés sur le secteur d'étude

Les espaces naturels identifiés, aux alentours du bas Verdon (**ci-après**), permettent de comprendre le contexte environnemental dans lequel il s'inscrit. Pour la délimitation de l'EBF, la plupart d'entre eux ne sont pas pertinents. En effet, certains sont éloignés et sont donc déconnectés du fonctionnement du Verdon. D'autres ne présentent aucune caractéristique liée aux milieux aquatiques. Enfin, des zonages, aux délimitations imprécises, s'étalent sur des superficies trop vastes pour être pris en compte. C'est notamment le cas des espaces Natura 2000 et de certaines ZNIEFF présents sur la zone où il est difficile de déterminer les interactions avec le Verdon.

Zonage écologique du bas Verdon

Type d'espaces naturels	Nom	Identifiant/code
Réserve biologique	Réserve biologique de la castellane	FR2300246
Natura 2000 (ZSC et ZPS)	Plateau de Valensole	FR9302007 et FR9312012
Natura 2000 (ZSC)	La Durance	FR9301589

ZNIEFF type 1	Confluence Durance-Verdon et retenue de Cadarache	930020475
ZNIEFF type 2	Site de la Castellane	930020218
	Plateau de Valensole	930020292
	Moyenne Durance, de Sisteron à la confluence avec le Verdon	930012698
	Aérodrome de Vinon-sur-Verdon, le plan de la clape	930012471
	Bas Verdon entre Vinon-sur-Verdon et le lac d'Esparron le bois de Maurras et la plaine alluviale du Colostre à l'aval de Saint-Antoine	930020058 et 930020249
ENS	Mians	NC
	Défends neufs	NC
	Barrassoune	NC

Les ZNIEFF « Bas Verdon entre Vinon-sur-Verdon et le lac d'Esparron le bois de Maurras et la plaine alluviale du Colostre à l'aval de Saint-Antoine » (930020058 et 930020249) englobent le Verdon et ses ripisylves constituées entre autres de Saule Blanc (44.141). Elles présentent un intérêt mammalogique (genette, castor et chauve-souris) et ichtyologique (Apron du Rhône, Toxotome, Barbeau...). Toutefois, son tracé est approximatif et ne permet donc pas de l'intégrer dans la détermination de l'EBF du Verdon.

L'ENS des Mians, proche de la confluence avec la Durance, se compose de forêts humides et de terres cultivées. Elle est fortement liée au cours d'eau puisqu'elle permet l'étalement des écoulements lors de crue. Cette zone est néanmoins déjà incluse dans le périmètre hydraulique optimal/nécessaire.

La présence de la ZNIEFF « Confluence Durance-Verdon et retenue de Cadarache » est importante à noter. En effet, elle intègre une ripisylve dense, large et très peu anthropisée qui abrite un cortège floristique varié et peu commun ainsi qu'une faune patrimoniale inféodée aux milieux aquatiques non négligeable. Bien qu'elle soit liée avec le fonctionnement du Verdon, elle ne semble pas pertinente à prendre en compte pour ajuster le périmètre de l'EBF car sa délimitation est approximative et déjà prise en compte dans le périmètre hydraulique et morphologique.



POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Joséphine Artus
2020-2021

DETERMINATION DE L'ESPACE DE BON FONCTIONNEMENT DU VERDON

Résumé

Les secteurs du Bas Verdon et du Moyen Verdon situés respectivement autour de Gréoux-les-Bains et de Castellane font l'objet d'une étude pour délimiter son Espace de Bon Fonctionnement (EBF). Il s'agit de l'espace qui permet à un cours d'eau d'assurer durablement ses fonctions naturelles. Cette démarche vise ainsi à améliorer les services rendus par l'hydrosystème via une gestion passive c'est-à-dire moins interventionniste et moins coûteuse à moyen-long terme. En se basant sur la méthodologie proposée par l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée, les emprises des EBF optimaux et nécessaires sont cartographiées. Sur une rivière fortement modifiée par les activités humaines et classée Masse d'Eau Fortement Modifiée (MEFM) comme le Verdon, l'efficacité de la démarche EBF est questionnée. Enfin, des leviers de restauration plus adaptés au contexte du Verdon sont explorés.

Abstract :

The sections of the 'Bas Verdon' and the 'Moyen Verdon' located respectively in Gréoux-les-Bains and Castellane are being studied to delimit its Good Functioning Area (EBF). This space is the area a watercourse needs to ensure its natural functions in a sustainable way and without constraints. This approach aims at improving the functioning of the hydrosystem by allowing it to find back a more natural functioning/course. Based on the methodology proposed by the Rhone-Mediterranean Water Agency, the optimal and necessary EBF are mapped. On a river strongly modified by human activities and classified as a 'strongly modified water body' like the Verdon, the real impact and effectiveness of the EBF approach is questioned. Finally, better adapted restoration ways to the Verdon context are explored.

Mots Clés : Espace de bon fonctionnement, Verdon, Fonctions naturelles, périmètres optimal et nécessaire, périmètre morphologique et hydraulique

Dynamique Hydro

Adresse : 4 rue Chinard
69009 Lyon

Tuteur entreprise : Charles Monneret

Fonction : Hydromorphologue et cogérant

Maître de stage : Loïc Grospretre

Fonction : Hydromorphologue et chef de projet

Tuteur académique : Vincent Rotgé

DYNAMIQUE
HYDRO
ÉTUDES ET GESTION DE RIVIÈRES