



LA RIVIÈRE DORDOGNE DANS SA MOYENNE VALLEE

-

CONCLUSIONS SCIENTIFIQUES ET REFLEXIONS PERSPECTIVES CONCERNANT LA GESTION MORPHOSEDIMENTAIRE DE LA RIVIÈRE



La rivière Dordogne à Lanzac (crédit photo : ECOGEA - 2021)



VALIDATION	
Version	<i>Vdef - Juin 2022</i>
Maître d'œuvre	
Auteurs	Fabien BOUTAULT (ECOGEA), Jean-Marc LASCAUX (ECOGEA), Hervé Piégay (EVS-UMR5600), Olivier GUERRI (EPIDOR), Frédéric MOINOT (EPIDOR) et Anne CITTERIO (AEAG).

SOMMAIRE

1. « LA RESTAURATION ECOLOGIQUE DES RIVIERES » : UN ENJEU DE SOCIETE	1
2. LE CAS DE LA RIVIERE DORDOGNE : CADRE GEO-SOCIO-HISTORIQUE.....	4
3. EVOLUTION MORPHOLOGIQUE RECENTE D'UNE RIVIÈRE LOURDEMENT EXPLOITEE	11
3.1. Une évolution récente discontinue.....	12
3.1.1. Une simplification « naturelle » du système (de 1840 à 1957).....	12
3.1.2. Un système soudainement figé avec une simplification drastique et sans retour (l'impact des barrages).....	16
3.1.3. Impacts des extractions en lit mineur (entre 1955 et 1984).....	22
3.1.4. Protections de berges, secteurs des extractions et barrages : des freins aux ajustements post-extractions (depuis 1984).....	24
3.1.5. Trajectoire d'évolution de la rivière Dordogne.....	27
3.2.1. Estimation de la migration de la charge de fond.....	30
3.2.2. Mobilité latérale.....	33
3.2.3. Stockage en plaine alluviale.....	36
3.3. Enseignements importants à retenir : Quels enjeux pour demain ?.....	37
3.3.1. La progression du déficit sédimentaire amont	38
3.3.2. Des ajustements post-extractions très lents.....	39
3.3.3. Une réduction et simplification du système (chenalisation) amplifiée par la propagation des déficits sédimentaires amont et aval.....	42
4. ATTEINDRE UN FONCTIONNEMENT HYDROSEDIMENTAIRE OPTIMAL : POUR QUELS OBJECTIFS ? QUELLES ACTIONS ENTREPRENDRE POUR LES ATTEINDRE ?.....	47
4.1. La gestion du déficit sédimentaire et de la regulation des crues induit par les barrages sur le secteur amont.....	51
4.1.1. La suppression des barrages.....	52
4.1.2. La création d'une continuité sédimentaire artificielle.....	53
4.1.3. Accompagner par la revitalisation du système : « réactivation des débits morphogènes »	57
4.1.4. Les injections sédimentaires : unique levier dont nous disposons actuellement pour la gestion du déficit sédimentaire amont.....	59
4.1.4.1. Résorber intégralement le déficit sédimentaire amont présent, et prévenir celui à venir.....	60
4.1.4.2. Limiter la propagation du déficit sédimentaire amont	66

4.1.5.	Les points de blocages dans la gestion des impacts hydrosédimentaire liés aux barrages sur le secteur amont de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée	74
4.2.	La gestion du déficit sédimentaire lié aux extractions dans un contexte de régulation des crues induit par les barrages sur le secteur aval.....	76
4.2.1.	Accompagner la rivière dans les secteurs de fosses d'extractions (dans le chenal et à proximité) où elle n'est pas en capacité de s'ajuster elle-même	80
4.2.1.1.	Agir mécaniquement sur la géométrie du chenal	80
4.2.1.2.	Favoriser les apports en amont de ces secteurs par « injections passives »	84
4.2.2.	Accélérer le remplissage des anciennes fosses qui persistent dans le chenal avec des apports/dépôts de sédiments fins (sables)	89
4.2.2.1.	Les apports sableux de l'amont et des affluents.....	89
4.2.2.2.	Favoriser localement les dépôts sableux au droit des surlargeurs	90
4.2.3.	Vers une solution hybride pour limiter la propagation du déficit sédimentaire induit par les extractions tout en préservant l'existant	91
4.2.4.	Les points de blocages dans la gestion des impacts hydrosédimentaires liés aux extractions sur le secteur aval de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée	93
5.	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	95
6.	Références bibliographiques	101
	Liste des figures	109
	Liste des tableaux	114
	Annexes	115
	Protocole pour le suivi des annexes fluviales sur la rivière Dordogne.....	116

1. « LA RESTAURATION ECOLOGIQUE DES RIVIERES » : UN ENJEU DE SOCIETE

Depuis la seconde moitié du 19^{ème} siècle, en lien direct avec la révolution industrielle, la croissance démographique, et l'explosion des besoins en énergies et en matières premières associés (électricité, matériaux de construction, agriculture...), les pressions humaines n'ont eu de cesse d'impacter de plus en plus lourdement les rivières (Petts, 1979 ; Gregory, 1987 et 2006). En réponse à ces pressions (barrages, extractions, protections de berges, calibrages, rectifications...), de multiples dégradations écologiques et paysagères ont été constatées sur les cours d'eau en France et à travers le monde (Gregory et Park, 1974 ; Petts et Gurnell, 2005 ; Rollet, 2013 ; Arnaud, 2015 ; Marchese et coll., 2017). Face à l'ampleur des différentes pertes écologiques et économiques induites par ces dégradations (incision et rétrécissement du chenal mettant parfois en péril les ouvrages d'art et les pompages d'eau potable, diminution de la diversité écologique, ou encore baisse de fonctionnalité des hydrosystèmes comme par exemple l'autoépuration...), les programmes de restauration sont devenus de plus en plus populaires dans les pays où les rivières sont les plus dégradées, et où les conditions économiques et financières permettent d'intervenir (Costanza et al., 2002). La restauration des rivières fait même, désormais, partie intégrante de certains plans gouvernementaux, comme par exemple en République tchèque (Lu et al., 2019).

Malheureusement, malgré les efforts entrepris ces dernières décennies pour mettre en œuvre des projets de restaurations écologiques en rivières, nombre d'entre eux ont été, et sont encore aujourd'hui considérés comme des « échecs » (Sear, 1994 ; Wohl, 2015). Les causes de cet « échec », ou de la « perception de l'échec », semblent se situer en amont des projets, avec (1) un manque total ou partiel de connaissances scientifiques et d'informations spatialement et temporellement

quantifiées sur les dégradations et leurs origines ; mais aussi en aval, avec (2) des suivis post-restaurations qui ne permettent pas toujours d'évaluer précisément leur réussite. Enfin, une autre raison de cette perception pourrait être (3) un manque de communication vulgarisée vers le grand public, qui n'ayant pas participé à l'élaboration du projet, peut alors le percevoir avec une certaine déception (Pedroli et al., 2002). Une étude réalisée aux Etats-Unis entre 1990 et 2005 illustre parfaitement ces lacunes post-actions, puisque pour plusieurs milliers de projets de restauration écologique menés en rivière, seulement quelques centaines d'articles sont parus dans la presse grand public, ou dans des revues scientifiques spécialisées (Figure 1).

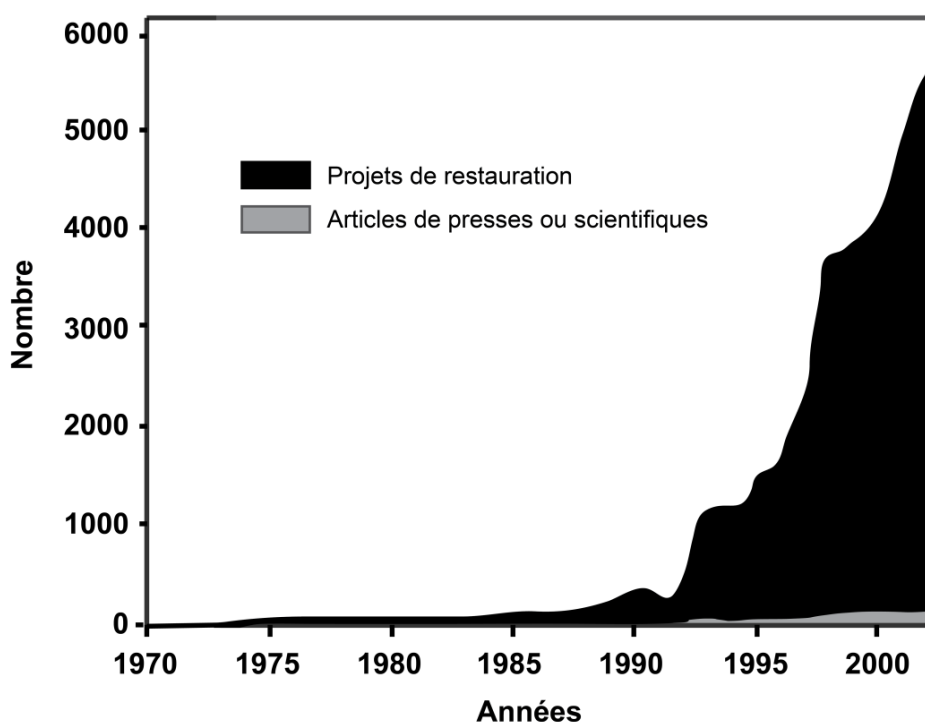


Figure 1. Synthèse des projets de restaurations écologiques sur les rivières aux Etats-Unis d'Amérique entre 1970 et 2003 et articles de presses et scientifiques associés (modifié d'après Bernhardt et al., 2005).

Il semblerait donc que les sociétés souhaitent remédier aux dommages écologiques constatés sur les rivières, mais qu'elles ne disposent pas toujours de toutes les

informations pour y parvenir, et/ou, qu'elles ne mettent pas les moyens humains, intellectuels et financiers nécessaires pour relever cet immense défi.

La rivière Dordogne, soumise à de nombreuses pressions anthropiques depuis la seconde moitié du 19^{ème} siècle, s'inscrit pleinement dans ce contexte d'amélioration de la fonctionnalité écologique et paysagère des cours d'eau, puisque nous devons aujourd'hui compenser des usages (hydroélectricité principalement), mais aussi, si possible, résorber les conséquences d'anciennes activités (extractions de granulats notamment), et ce, d'autant plus que la rivière conserve aujourd'hui encore des atouts biologiques, sociaux, architecturaux et paysagers majeurs.

Le présent document propose (i) de rappeler le cadre géo-socio-historique de la rivière, (ii) de faire l'état des lieux des avancées scientifiques particulièrement sur le thème de l'évolution hydromorphologique de la rivière, des mesures de gestions prises, et des actions déjà menées et à venir, afin de (iii) proposer des recommandations pour faire en sorte que les prochaines actions de restaurations soient, du point de vue écologique, bénéfiques, mais aussi, perçues par les usagers, exploitants et gestionnaires comme « une réussite ».

Pour cela, la suite du document s'organise en 3 chapitres traitant :

- Du contexte de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée,
- De son évolution bio-géomorphologique récente,
- Des actions à entreprendre pour l'atteinte d'une fonctionnalité hydrosédimentaire optimale (entendons par « optimale » : la plus haute fonctionnalité que l'on puisse obtenir dans le contexte actuel d'utilisation de la ressource).

2. LE CAS DE LA RIVIERE DORDOGNE : CADRE GEO-SOCIO-HISTORIQUE

Le bassin versant de la Dordogne se situe dans le sud-ouest de la France. Il s'étend sur près de 24 000 km² et représente 4,5 % de la superficie du territoire français métropolitain. La pression démographique sur le bassin est, en comparaison à la moyenne nationale de 105 habitants au km², relativement faible avec seulement 46 habitants au km² (INSEE, 2017). De part cette faible pression démographique, mais aussi, l'absence de pôles industriels majeurs, une agriculture de type polyculture-élevage sur le bassin amont et moyen et un lien fort qui la lie à ses riverains, la rivière et sa biodiversité sont encore aujourd'hui relativement préservées dans le panorama national et européen. Cette qualité conservée de l'hydrosystème et de son bassin, son riche passé historique et préhistorique, cette alliance homme-nature-culture est d'ailleurs plébiscitée chaque année par de nombreux visiteurs et s'est traduite en 2012 par l'inclusion du bassin dans le réseau des « Réserves Mondiales de Biosphère » de l'UNESCO (EPIDOR 2012).

Cependant, la rivière a, de tous temps, été un atout pour ses riverains, avant de devenir stratégique pour la communauté nationale, dans la seconde partie du 20^{ème} siècle. Elle porte ainsi les stigmates des activités humaines, anciennes (moulins, pêcheries, flottage du bois, navigation, ...) et plus récentes (hydroélectricité, exploitation des granulats, ...), et de plus en plus prégnantes au fil du temps.

Nous évoquerons ici la construction des premiers barrages à Bergerac (de 1839 à 1852) et Mauzac (de 1838 à 1843) pour faciliter la navigation des gabarres, et son corollaire immédiat, malgré déjà, à l'époque, l'équipement par des « échelles à poissons », la raréfaction des poissons migrateurs en amont, particulièrement du saumon. Cela entraîne aussitôt le mécontentement des riverains de la zone amont de la Dordogne (Pustelnik, 1982). Ce mécontentement va perdurer et plusieurs

tentatives pour améliorer le passage des saumons au niveau de ces ouvrages vont alors avoir lieu jusqu'à la construction du barrage de Tuilières (de 1905 à 1909). Cet aménagement, à vocation hydroélectrique cette fois, édifié dans le cadre d'une politique globale d'indépendance énergétique de la France, dans une période trouble de conflits mondiaux, marque la fin du saumon « originel » sur le bassin (Pustelnik, 1982 ; Figure 2).



Figure 2. Evolution du nombre de rivières françaises fréquentées par le Saumon Atlantique (modifié d'après Thibault, 1987), avec de gauche à droite, la situation en 1750, puis celle à la fin du 19^{ème}, et enfin celle à la fin du 20^{ème} siècle avant réintroduction.

Cette priorité politique absolue d'indépendance énergétique de la France va se poursuivre et s'amplifier au cours du 20^{ème} siècle, particulièrement pendant et après la seconde guerre mondiale, ce qui va se traduire sur le bassin par la construction des grands aménagements hydroélectriques amont, depuis Marèges (mise en service en 1936), jusqu'au Sablier (mise en service en 1958) (Bort, l'Aigle, le Chastang sur la Dordogne, mais aussi Saint-Etienne Cantalès sur la Cère, Enchanet sur la Maronne et de nombreux autres équipements sur les affluents majeurs de la Dordogne).

L'ensemble de ces aménagements ont une capacité utile de stockage de l'eau **d'un milliard de m³**. Pour se faire une idée de cette capacité de stockage, imaginons que pour remplir tous les ouvrages de leurs cotes minimales jusqu'à leurs cotes normales d'exploitation, il faudrait interrompre le débit moyen de la Dordogne à Argentat (100

m³/s quand même) pendant 4 mois ! Ces aménagements, qui ont majoritairement un fonctionnement par éclusées, ont donc un impact très important sur l'hydrologie de la Dordogne, y compris sur l'hydrologie en crue. Ils ont aussi complètement interrompu le transit sédimentaire du cours d'eau (nous reviendrons largement sur ces deux points dans la suite du document), et noyé les frayères **originelles** des saumons et des grandes truites sous une centaine de kilomètres de lacs de retenues. On mentionnera aussi leur rôle majeur dans le régime thermique de la rivière aujourd'hui.

Cependant, en aval de cette grande chaîne hydroélectrique, en aval d'Argentat et jusque dans le département du Lot (40 à 50 km), la Dordogne possède encore des zones de fraie fonctionnelles pour les salmonidés et des zones de grossissement pour les jeunes saumons. Le saumon, et les poissons migrateurs en général, étant un marqueur historique (préhistorique même avec le saumon représenté dans l'Abri du poisson aux Eyzies-de-Tayac et datant au moins de 30 000 ans) et fort de l'identité de la vallée (Pustelnik, 1982), les acteurs du territoire ont intégré, dès 1976 et le premier plan « Saumon », la stratégie nationale de préservation et de restauration des populations de poissons migrateurs. Il a fallu réestimer les potentialités d'accueil de la rivière (Tinel, 1983), aleviner, retravailler une souche adaptée à la rivière, améliorer la circulation des poissons au niveau des ouvrages, et veiller à préserver la qualité chimique et physique des habitats.

Aujourd'hui, environ 50 ans (un demi-siècle !) après le début de cet ambitieux projet, le saumon est à nouveau présent sur la Dordogne. Cependant, l'objectif fixé d'une population de Saumon atlantique « sauvage » et « autosuffisante » n'est toujours pas atteint sur le bassin.

Si la restauration du Saumon atlantique est, pour certains, considérée comme « un échec » sur le bassin Adour-Garonne (Thomas et Germaine, 2018), le constat paraît

toutefois réducteur. Il ne tient en effet qu'à la non-atteinte de l'objectif initialement fixé, et ne prend pas en compte les **effets induits** par les nombreuses mesures prises pour atteindre ce but (amélioration de la continuité écologique – voir par exemple la dernière mouture des dispositions de la « Convention Bergeracois », 2020 ; connaissances et protection des habitats – voir par exemple les différents DOCOB NATURA 2000 pour la Dordogne et ses affluents, mitigation des éclusées – nous y revenons plus en détails ci-après ; ...). Ces mesures, **reconnues pour certaines comme pionnières à l'échelle nationale et internationale**, ont largement contribué à la préservation de la biodiversité générale de la rivière Dordogne et à une reconnaissance internationale (classement en Réserve de Biosphère, 2012 et Programme européen de préservation et restauration des milieux naturels - LIFE rivière Dordogne, 2019).

Cette démarche précoce et exceptionnelle de préservation générale de la biodiversité et de l'hydrosystème, réalisée sur la Dordogne, permet aujourd'hui encore de recenser sur un bassin pourtant intimement lié aux « Hommes », les 8 espèces de poissons grands migrateurs présents en Europe de l'Ouest (Esturgeon, Saumon atlantique, Truite de mer, Lamproies, Anguille, Aloses...), ainsi qu'une riche faune piscicole holobiotique aux habitats diversifiés (une quarantaine d'espèces recensées). Parmi ces espèces holobiotiques, de nombreuses sont patrimoniales et protégées par des textes nationaux et internationaux (Truite, Chabot, Lamproie de Planer, Vandoise rostrée, Toxostome, Bouvière, Brochet, ... ; Keith et Marion, 2002 ; Keith et al., 2011 ; Verdeyroux, 2020).

Parmi les mesures phares mises en œuvre pour l'atteinte de l'objectif initial du « plan Saumon », qui ont également contribué à une amélioration significative du fonctionnement de la rivière en faveur de la biodiversité, il y a, outre le rétablissement et les améliorations successives de la circulation piscicole (montaison puis, plus

récemment, dévalaison), **les mesures de mitigation des éclusées** des grands ouvrages hydroélectriques implantés sur l'amont du bassin (dernière version de la « Convention éclusées », signée en 2019 entre l'Etat Français, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, EDF et EPIDOR).

Les éclusées correspondent à des variations artificielles, rapides et fréquentes du niveau des eaux. L'eau est stockée dans de grandes retenues lorsque la demande d'énergie électrique sur le réseau est plus faible et peut être couverte par les moyens de production de base (nucléaire, hydraulique fil de l'eau ...). Elle est turbinée en période de forte demande sur le réseau afin d'ajuster rapidement la production à la consommation.

Ces variations de débit, brutales et pouvant être de fortes amplitudes, ont des impacts reconnus sur les tronçons de cours d'eau situés en aval de ces aménagements (Lauters, 1995 ou OFEFP, 2003). Les impacts montrés sur le cycle biologique du saumon mais aussi d'autres espèces (exondations de frayères, échouages-piégeages d'alevins, d'invertébrés, dérive forcée, ...) ont, bien sûr, un lien avec la gestion des débits (les variations de niveau d'eau) d'où des corrections édictées au travers des « conventions éclusées ». Mais le constat a aussi été fait montrant que **les impacts des éclusées étaient en lien avec des dysfonctionnements morphologiques** de la rivière qui conduisent à **des habitats « aberrants »** (bras secondaires ou annexes fluviales perchés, petits chenaux dans la ripisylve, bancs et plages de galets figés, ...).

C'est dans ce contexte, qu'en 2016, l'Etablissement Public Territorial du Bassin de la Dordogne (EPIDOR), fort de plus de trente ans d'expérience dans le domaine de la gestion de la rivière, a entrepris de mener une étude scientifique approfondie sur le fonctionnement hydromorphologique passé et présent de la Dordogne dans toute sa moyenne vallée, avec notamment la détermination du rôle des différentes activités

humaines à l'origine des dégradations physiques enregistrées par la rivière, dégradations déjà pressenties comme à l'origine d'un dysfonctionnement écologique.

Conscients que la dégradation physique du milieu conditionne la qualité et la biodisponibilité des habitats (Bouleau, 2009), EPIDOR et ses partenaires historiques (l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, les Services de l'Etat Français, l'OFB, autres Collectivités Territoriales, EDF, MIGADO, les Fédérations de Pêche et Protection du Milieu Aquatique), ont alors collaboré avec l'université de Lyon et le laboratoire Environnement-Ville-Société (EVS-UMR5600), spécialisé dans les interactions Sociétés-Rivières et les trajectoires d'évolutions morphologiques des cours d'eau anthropisés à large échelle (Rollet, 2007 ; Arnaud, 2012 ; Parrot, 2015 ; Riquier, 2015 ; Cassel, 2017), pour analyser l'état de l' « hydrosystème Dordogne ».

Un premier travail issu de cette collaboration a montré que la rivière avait, sous l'effet cumulé des barrages, des extractions en lit mineur, puis de la mise en place d'un long linéaire de protections de berges, enregistré une diminution de sa largeur et une incision de son lit sur l'ensemble de sa moyenne vallée (Piégay, 2015 ; Boutault, 2016). Ces perturbations, de plus grandes ampleurs sur le secteur compris entre Girac et Groléjac, persistent encore aujourd'hui, et il semblait alors plus que nécessaire de mener un diagnostic géomorphologique global de la rivière pour savoir s'il était envisageable **d'accompagner la rivière vers un nouvel état fonctionnel**.

Le présent document vise à résumer les principaux résultats de ce diagnostic, réalisé dans le cadre d'une thèse CIFRE, hébergée par le bureau d'études ECOGEA, mais aussi, à exposer les apports concrets de ces nouvelles connaissances du point de vue opérationnel, en formulant notamment quelques recommandations, dans l'objectif à terme, de restaurer une fonctionnalité hydrosédimentaire « optimale » sur la rivière Dordogne, et plus largement la mise en œuvre d'une gestion hydrosédimentaire durable en aval d'une chaîne hydroélectrique (Figure 3).

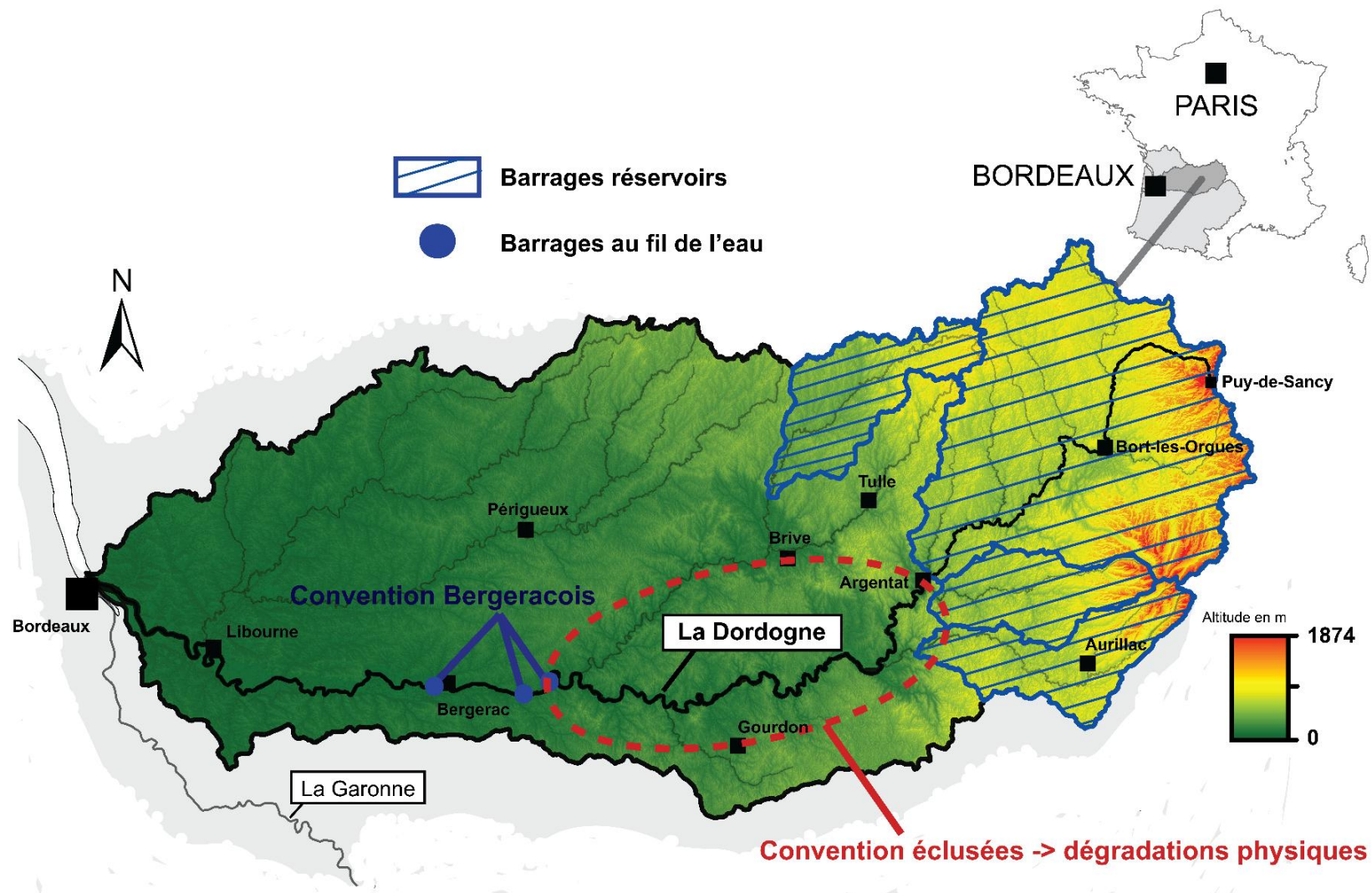


Figure 3. Bassin versant de la rivière Dordogne, et localisations des pressions impactant l'hydrosystème et sa biodiversité dans sa moyenne vallée.

3. EVOLUTION MORPHOLOGIQUE RECENTE D'UNE RIVIERE LOURDEMENT EXPLOITEE

Le travail de thèse réalisé sur la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée, a tout d'abord permis de : i) Définir la trajectoire morphologique récente d'un hydrosystème lourdement exploité et dégradé en hiérarchisant-quantifiant l'impact des pressions humaines et naturelles ; ii) Déterminer le fonctionnement hydrosédimentaire actuel et le potentiel écologique, sociologique et économique associés ; et ce , dans l'optique iii) D'élaborer un budget sédimentaire robuste et spatialisé permettant désormais d'entrevoir la mise en œuvre d'une stratégie de gestion « adaptée et adaptative » vis-à-vis des dégradations sédimentaires enregistrées et à venir (ex : changement climatique), tout en définissant les actions et l'accompagnement nécessaire à l'atteinte et/ou au maintien d'un fonctionnement hydrosédimentaire « optimal » (Boutault, 2020 ; Figure 4).

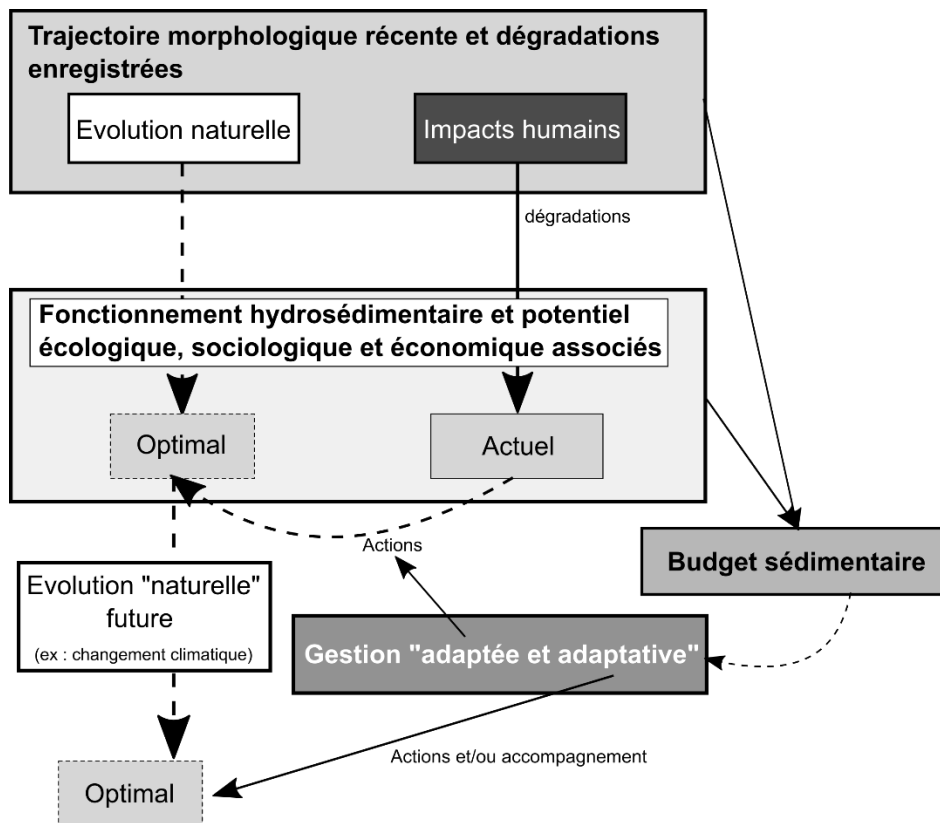


Figure 4. Démarche scientifique.

Afin de donner les premiers éléments de réponse à cette demande de gestion « adaptée et adaptative », mais aussi, d'ouvrir le débat sur les leviers d'actions dont nous disposons pour y parvenir, nous débuterons par (1) une rapide synthèse de l'évolution récente de la rivière, (2) un état des lieux de son fonctionnement actuel et enfin, (3) nous exposerons les ordres de grandeurs et l'emprise spatiale des déficits sédimentaires enregistrés par la rivière depuis qu'elle est lourdement exploitée (1950s).

3.1. Une évolution récente discontinue

Depuis 1840, la rivière Dordogne a enregistré dans sa moyenne vallée (entre Argentat et Limeuil) **une diminution moyenne de sa largeur d'environ 30 mètres**, équivalente à **une réduction de 465 hectares de bande active**, soit 22 % de sa superficie initiale. Conjointement à cette diminution de largeur de bande active, elle a également enregistré sur cette moyenne vallée, entre Argentat et Limeuil, **une incision moyenne de son lit d'environ 60 centimètres, allant localement jusqu'à 4 mètres** dans les secteurs des extractions, favorisant la déconnexion du chenal en eau de sa plaine alluviale. Cette trajectoire, qui a fait de la rivière un système de plus en plus réduit et simplifié, s'explique par des changements climatiques naturels, mais surtout, par l'accumulation de nombreuses perturbations humaines exercées sur le milieu depuis les années 1950 : barrages, extractions en lit mineur, et mise en place de protections des berges.

3.1.1. Une simplification « naturelle » du système (de 1840 à 1957)

A partir de 1840, avec la sortie de ce que l'on appelle « Le Petit Age Glaciaire », l'Europe occidentale a enregistré une augmentation des températures et une baisse des précipitations. Ces changements climatiques à large échelle ont engendré un développement de la végétation sur l'amont des bassins versants, ainsi qu'une

diminution conjointe des apports sédimentaires et des crues (David et al., 2015). Comme la plupart des rivières d'Europe occidentale, la rivière Dordogne a, elle aussi, enregistré une baisse de la fréquence et de l'intensité des crues, passant d'une moyenne de 3 jours de crues par an entre 1900 et 1950, avec des débits maximaux enregistrés à la station d'Argentat de 1650 m³/s (le 22 octobre 1907), 1420 m³/s (le 24 mars 1912) et 1380 m³/s (le 08 décembre 1944), à une moyenne de 1,5 jours par an depuis 1950, avec des débits maximaux nettement moins élevés, compris entre 1170 m³/s (le 06 janvier 1982) et 1350 m³/s (le 14 février 1990 ; Figure 5).

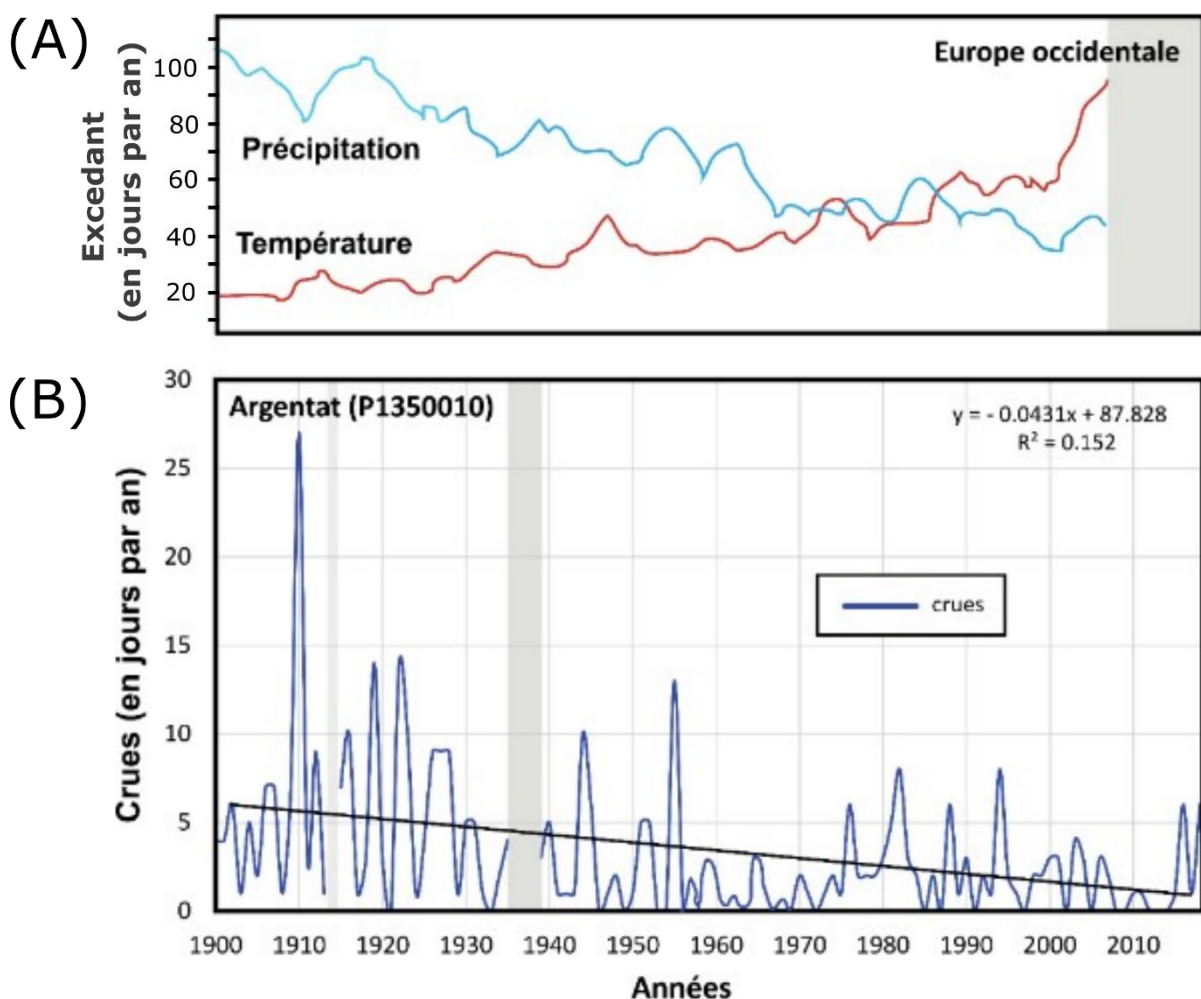


Figure 5. (A) Changements climatiques en Europe occidentale (excédant de température et précipitation en jours par an, (modifié d'après Beniston, 2009), et (B) fréquence des épisodes potentiellement morphogènes (supérieurs au débit de plein bord à Argentat (550 m³/s) en hydrologie naturelle (débits enregistrés entre 1900 et 1969 et reconstitués entre 1969 et 2018) (Boutault, 2020).

Les diminutions conjointes des crues et des apports sédimentaires enregistrées sur la Dordogne moyenne ont peu à peu provoqué une incision du fond du lit de la rivière, incision relativement modérée, puisque de l'ordre d'un centimètre par an sur la période 1840-1948. Cette incision, bien que modérée, a tout de même contribué, au même titre que la diminution des crues, à favoriser l'abandon progressif des chenaux secondaires de la rivière. En témoigne la diminution de la superficie des îles, qui était de 1100 hectares en 1840, contre 900 hectares en 1948 sur l'ensemble de la Dordogne moyenne. L'abandon par la rivière de ses chenaux secondaires explique évidemment le rétrécissement de la largeur moyenne de la rivière observé sur cette même période. La largeur moyenne de la rivière est ainsi passée de 132 mètres en 1840 à 116 mètres en 1948 (Figure 6).

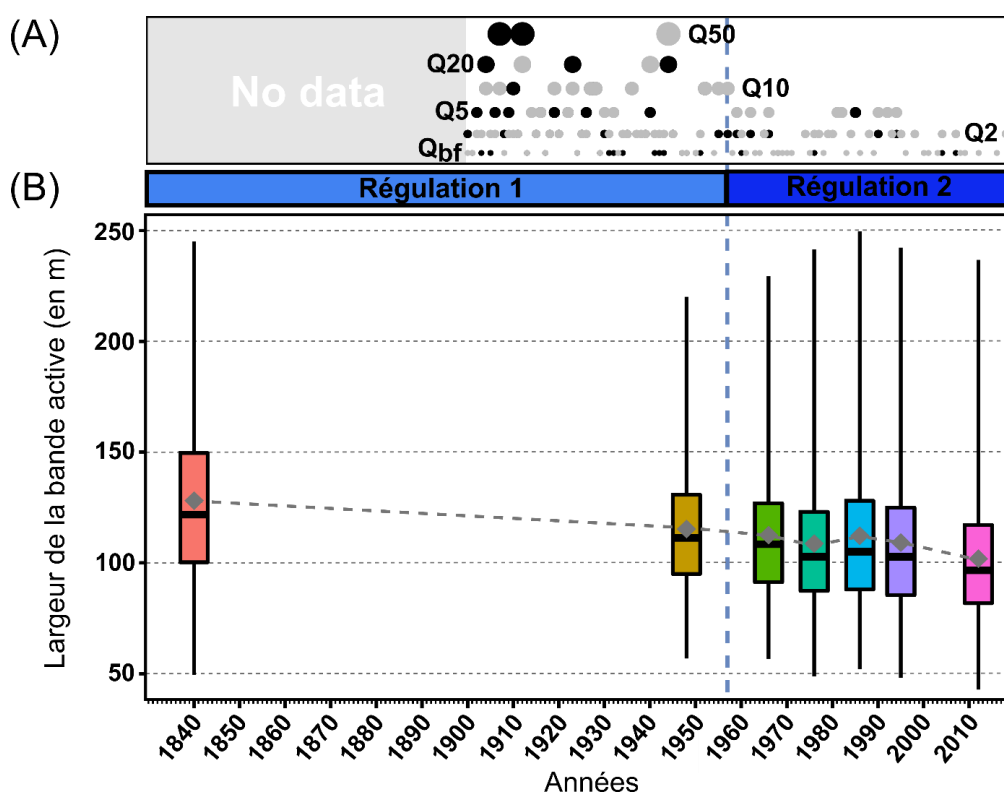


Figure 6. (A) Evénements de crues les plus intenses enregistrés annuellement à la station d'Argentat, et (B) Evolution de la largeur de la bande active de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée par segment de 250 mètres linéaires depuis 1840 (losange gris et ligne grise pointillée pour les valeurs moyennes ; Régulation 1 induite par les changements climatique et d'occupations des sols, Régulation 2 induite par les barrages).

En 1840, la rivière présentait donc un style à chenaux multiples dans sa moyenne vallée, et s'est peu à peu orientée vers un style à chenal unique méandriforme. En 1948, les méandres de la rivière Dordogne étaient latéralement mobiles, avec une érosion moyenne des berges d'environ 20 centimètres par an, ce qui suggère que la rivière était très probablement très riche biologiquement, avec un chenal principal connecté à une plaine alluviale régulièrement inondée. C'est en tout cas ce que suggèrent certaines études, qui mentionnent une diversité de conditions d'écoulement et donc d'habitats plus importante sur les rivières à méandres mobiles, style fluvial nettement plus stable que les styles à chenaux multiples ou en tresses, plus fréquemment soumis aux évènements de crues et dont les sédiments composant le lit et la plaine alluviale sont une à plusieurs fois par an mobilisés ou déstabilisés (Beechie et al., 2005 et 2006a-b). Concernant ce changement de style fluvial, il est toutefois important de noter qu'il fut plus marqué sur la Dordogne Lotoise et Périgourdine, située entre Girac et Limeuil, où le style à chenaux multiples était beaucoup plus développé en 1840 que sur la Dordogne Corrézienne. Sur le secteur Quercynois et Périgourdin, l'espace de liberté de la rivière (aussi appelé « lit majeur » ou « espace de bon fonctionnement ») est plus important, et on y recensait 95 % des bras secondaires présent sur l'ensemble de la moyenne vallée en 1840. Dans sa partie Corrézienne, la rivière présentait un style à chenal unique avec une mobilité latérale plus réduite et un nombre de bras secondaires beaucoup plus restreint en 1840, ce qui a fortement limité la simplification de son tracé en plan entre 1840 et 1948 (Figure 7).

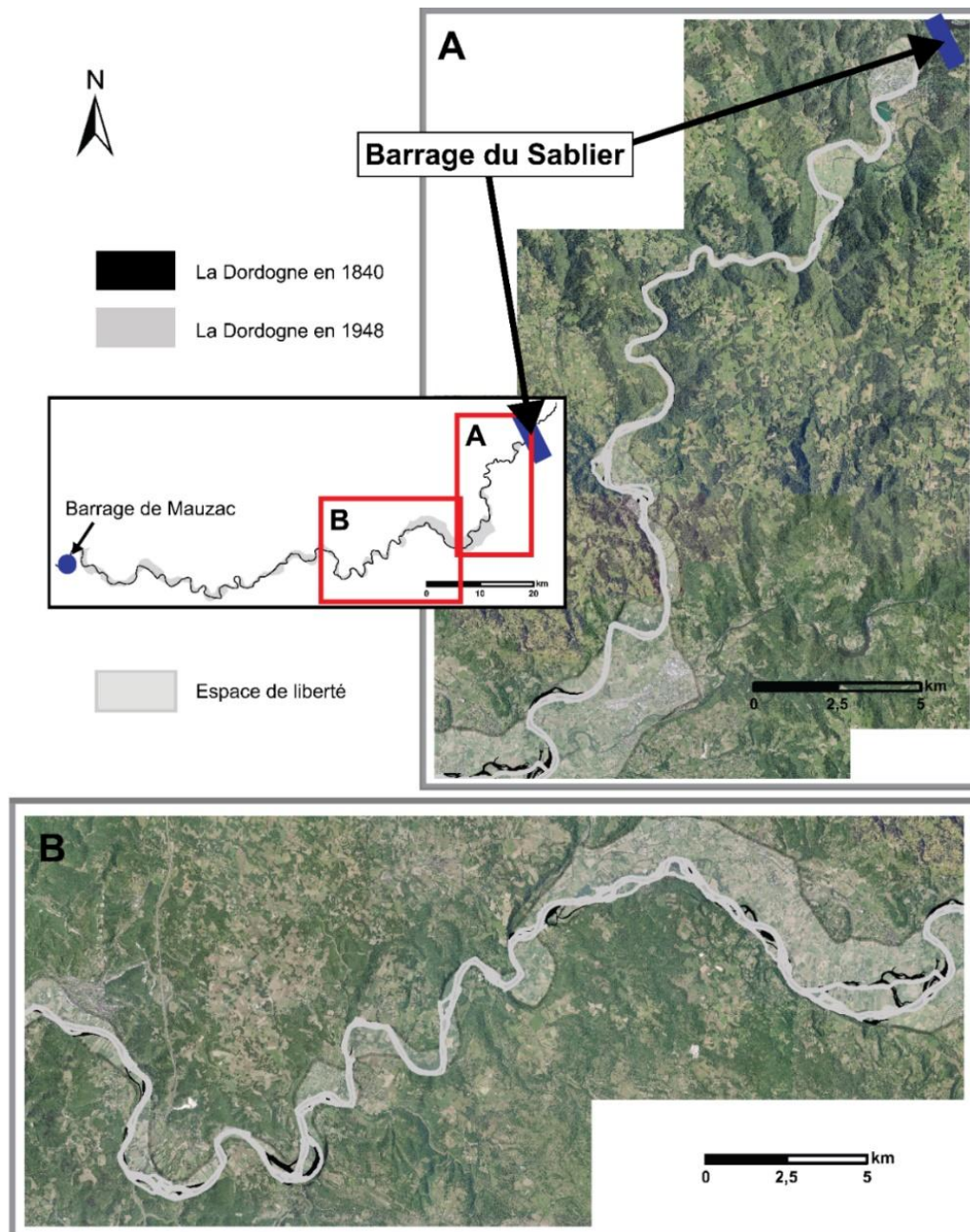


Figure 7. Modifications du tracé en plan de la rivière Dordogne entre 1840 et 1948 : A – Stabilité sur sa partie Corrèzienne ; et B – Transition d’un style à chenaux multiples vers un style à chenal unique méandrique sur sa partie Lotoise (Boutault, 2020).

3.1.2. Un système soudainement figé avec une simplification drastique et sans retour (l’impact des barrages)

Avant 1957, les sédiments du lit mineur entraînés vers l’aval par les crues sont remplacés par des sédiments provenant de l’amont. A partir de 1957 et la construction du barrage du Sablier, les sédiments de l’amont sont bloqués et ne

peuvent plus alimenter le secteur en aval du barrage. La migration des matériaux sur cette partie aval du barrage n'est alors plus compensée par les apports de l'amont et le secteur à l'aval du barrage devient déficitaire en matériaux.

Ce déficit est aujourd'hui présent sur les 12,5 premiers kilomètres en aval du barrage, autrement-dit sur le secteur entre Argentat et Saulières (confluence du Ruisseau du Combejean).

La conséquence majeure de ce déficit réside en la disparition des macroformes (bancs alluviaux) initialement présents dans le lit de la rivière Dordogne entre Argentat et Saulières. En 1948, avant la construction du barrage du Sablier, 6,8 hectares de bancs alluviaux étaient effectivement présents sur ce secteur de la Dordogne moyenne entre Argentat et Saulières, contre seulement 0,6 hectares en 1966.

Dès 1966 donc, seulement neuf ans après l'installation de l'ouvrage de la chaîne hydroélectrique de la Dordogne amont situé le plus en aval (barrage du Sablier), la rivière a enregistré une disparition quasi-totale des bancs alluviaux initialement présent dans son chenal principal sur le secteur Argentat-Saulières.

La perte de ces surfaces, habituellement associées à des habitats favorables à la reproduction des poissons lithophiles (Saumon atlantique et Truite commune en tête) est aujourd'hui un handicap pour la rivière, puisque 50 % des frayères des grands salmonidés ont été recensées depuis 1999 sur ce secteur (Lascaux et al., 2008 ; Figure 8).

Entre 1948 et 1966, c'est près de 15 hectares de bancs alluviaux qui ont été dégradés (ou ont disparu) entre Saulières et Beaulieu-sur-Dordogne (migration de la charge de fond + rupture sédimentaire barrage = incision + perte des macroformes), et plus de 125 hectares qui se sont végétalisés entre Beaulieu-sur-Dordogne et

Limeuil (régulation des crues barrages = installation pérenne de la végétation)
(Figure 8).

Cette perte de bancs alluviaux (migration + végétalisation) a directement impacté les habitats favorables à la reproduction des grands salmonidés, puisque le secteur Saulières-Beaulieu-sur-Dordogne abrite 40 % des frayères actives recensées depuis 1999. Plus en aval, la végétalisation des bancs alluviaux a cette fois affecté quantitativement, a minima, les habitats de reproduction de nombreuses autres espèces de poissons lithophiles (Lamproie marine, Vandoise rostrée, Barbeau fluviatile, Ombre commun, ...), sans mentionner ici d'autres taxons de la faune et de la flore, probablement au moins aussi touchés que les poissons par la réduction drastique de ce type d'habitats.

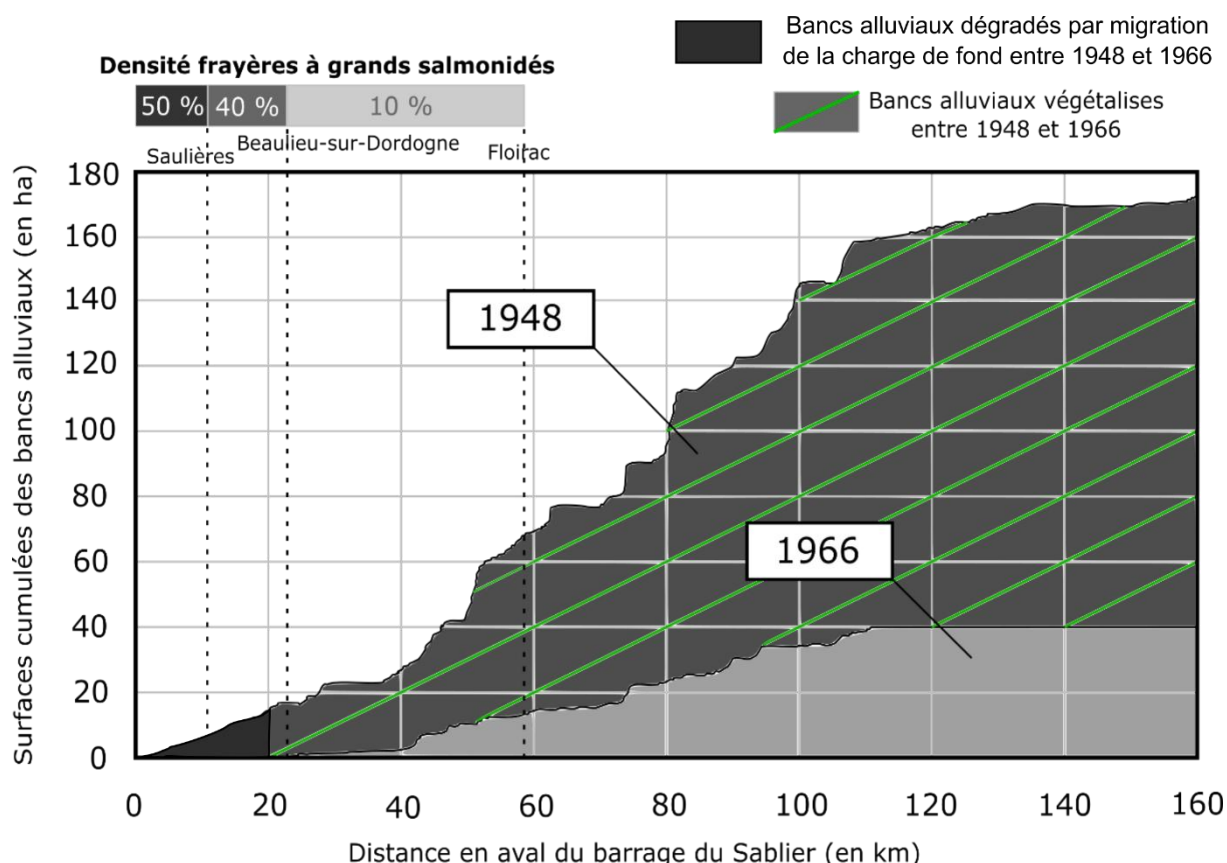


Figure 8. Localisation des bancs alluviaux dégradés-végétalisés entre 1948 et 1966 (Boutault, 2020), et pourcentage de frayères à grands salmonidés recensées depuis 1999 hébergées par les différents tronçons (Lascaux et al., 1999).

Si la dégradation des bancs alluviaux sur le secteur Argentat-Saulières a pour cause la rupture sédimentaire induite par les barrages, la végétalisation des bancs alluviaux localisés entre Saulières et Limeuil a pour origine la seconde régulation hydrologique qui s'exerce encore aujourd'hui sur la rivière Dordogne et qui est exclusivement causée par l'exploitation des barrages et de leurs retenues, dont celle du barrage de Bort-les-Orgues et ses 410 millions de m³ de réserve utile.

Sans cette seconde régulation, la rivière aurait enregistré une moyenne d'1,5 jours de crues par an sur la période 1957-2018, avec des débits maximaux pouvant atteindre 1350 m³/s à Argentat. Avec cette régulation due aux barrages et retenues, la rivière n'a enregistré qu'une moyenne d'un jour de crue tous les 5 ans sur cette même période, avec des débits maximaux ne dépassant jamais plus de 860 m³/s à Argentat (Figure 9).

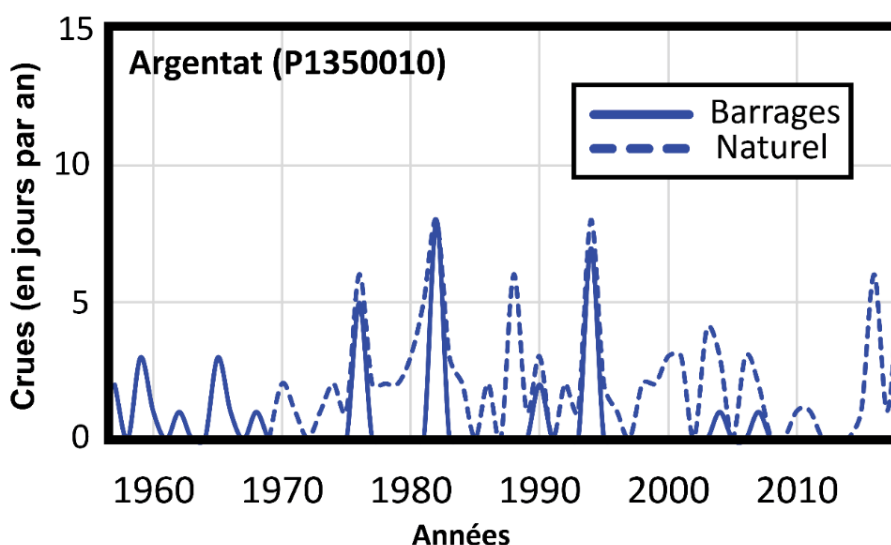


Figure 9. Régulation de la fréquence des crues par les barrages de la Dordogne amont depuis 1957.

La seconde régulation hydrosédimentaire causée par les barrages a donc été plus intense que celle causée par le changement climatique global (en 3.1.1.). La rétraction de la largeur de la bande active amorcée dès la première régulation s'est alors poursuivie et amplifiée avec cette seconde régulation, plus intense, qui a même

figé le système. Avant les barrages, et malgré la première régulation hydrologique causée par le changement climatique, la rivière possédait encore la capacité d'éroder ses berges. L'érosion des berges se traduisait alors par une mobilité latérale sur un linéaire important. Avant la mise en place des barrages, la rivière Dordogne enregistrait une mobilité latérale sur 19,7 % du linéaire de sa moyenne vallée. Après barrages, cette mobilité est devenue très limitée, avec des valeurs comprises entre seulement 1 et 5,8 % de son linéaire (Figure 10).

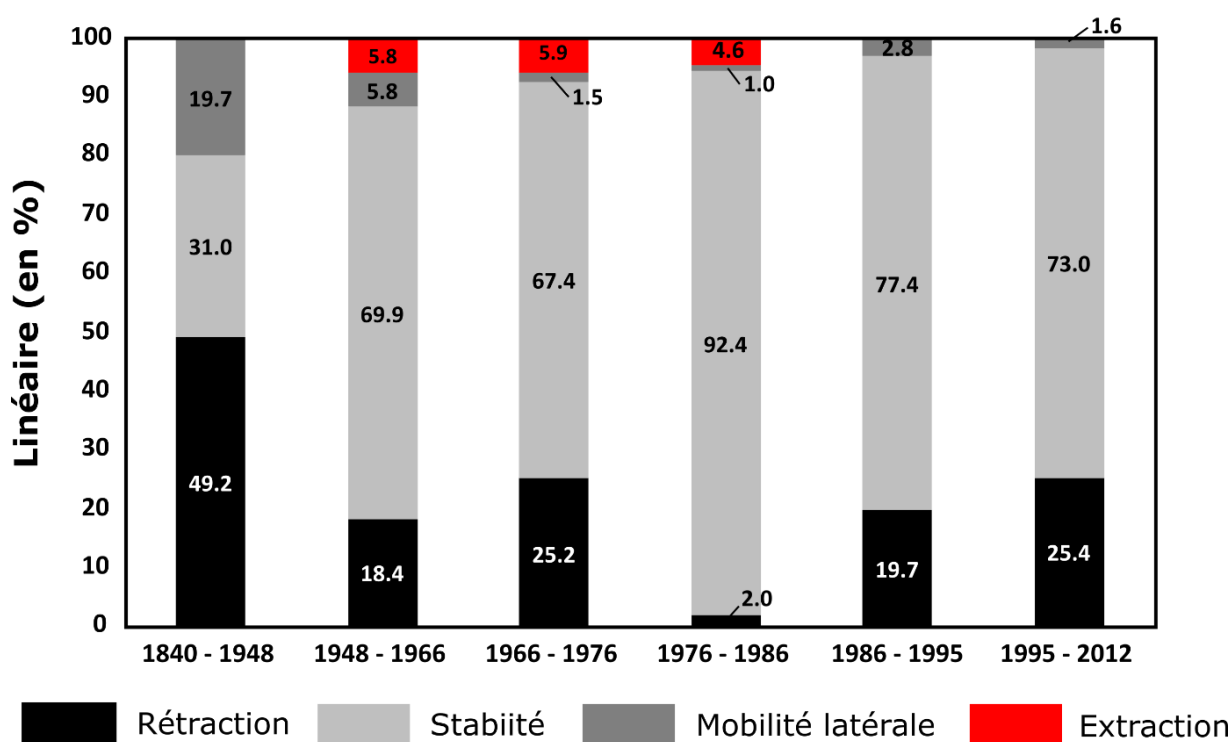


Figure 10. Evolution diachronique de la bande active de la Dordogne dans sa moyenne vallée (segmentation par tronçon de 250 mètres linéaires de cours d'eau).

Depuis 1957, la rivière Dordogne ne possède donc plus la capacité hydrosédimentaire nécessaire :

- (1) Au maintien des bancs alluviaux nus présents dans son chenal principal, qui sur la partie amont migrent sans être renouvelés (déficit sédimentaire induit par les barrages), et sur le reste de son linéaire se végétalisent (régulation des crues induite par les barrages) ;

(2) A la création par mobilité latérale (régulation des crues induite par les barrages), et donc par érosion de sa plaine alluviale, de nouvelles surfaces à fort potentiel biologique, comme les bancs alluviaux, bras secondaires, et bras morts également appelés « *couasnes* » sur le bassin de la Dordogne.

Avec la réduction drastique des crues induite par la mise en place des barrages (Régulation 2), la bande active a donc poursuivi sa rétraction amorcée depuis 1840. Après 1957, cette rétraction s'est même intensifiée sous l'effet de la régulation induite par les barrages, avec la fermeture des annexes fluviales encore présentes (bras secondaires et bras morts), la végétalisation des bancs alluviaux, et la perte de mobilité latérale. La largeur moyenne de la rivière est alors passée de 116 mètres en 1948 à 111 mètres en 1976 (Figure 6 en 3.1.1.).

Cependant, si durant la première phase de simplification du tracé en plan induit par les effets du changement climatique entre 1840 et 1948 (Figure 7B en 3.1.1.), la rivière a enregistré un changement de style fluvial avec une déconnexion progressive des bras secondaires à l'origine d'une diminution de la surface des îles de 206 hectares, la végétalisation de 150 hectares de bancs alluviaux enregistrés entre 1948 et 1966 a, par la suite, contribué à la création de nouvelles surfaces d'îlots végétalisés équivalents à une surface de 47 hectares (Figure 11).

En 1966, la rivière est donc moins large et ne possède plus que 40 hectares de surfaces de bancs alluviaux sur les 160 kilomètres de sa moyenne vallée entre Argentat et Limeuil (Figure 8 en 3.1.2.). Les surfaces potentiellement colonisables par la végétation deviennent alors très restreintes dans le chenal. C'est alors qu'entre 1966 et 1976 débute une diminution importante des surfaces des îles (Figure 11).

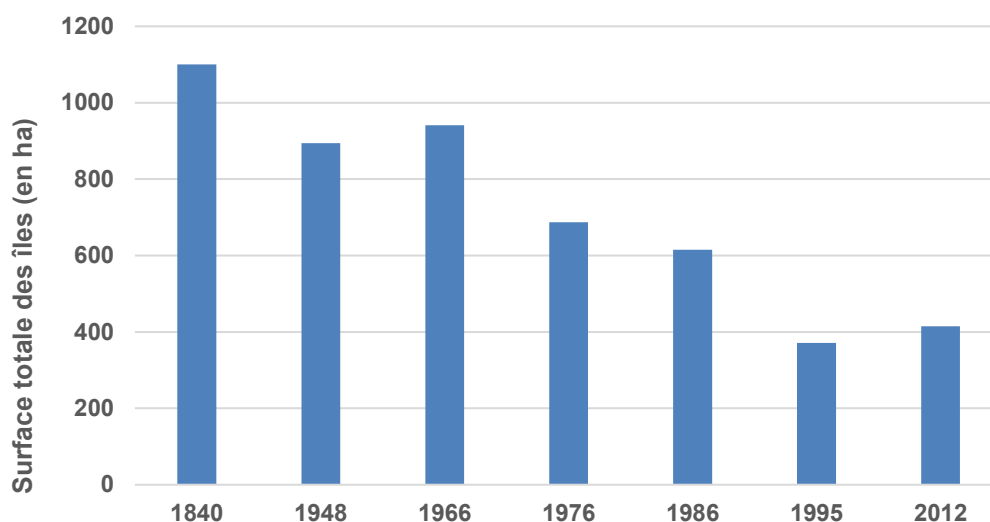


Figure 11. Evolution de la surface des îles sur la Dordogne moyenne depuis 1840.

3.1.3. Impacts des extractions en lit mineur (entre 1955 et 1984)

Cette diminution de la surface des îles observée entre 1966 et 1986, résulte de l'effet combiné du manque de nouvelles surfaces potentiellement colonisables par la végétation (150 hectares de bancs alluviaux végétalisés entre 1948 et 1966), et de l'effet direct et indirect des 7,5 millions de m³ de sédiments grossiers qui ont été extraits de la rivière, sur le secteur Girac-Groléjac, entre 1960 et 1984 (CEMAGREF, 1994 ; Malavoi, 2007). Les sédiments composant les bancs alluviaux sur lesquels la végétation ne s'était pas encore développée (40 hectares encore présents en 1966) ont principalement été extraits entre 1966 et 1976 (Figure 12). Puis, lors d'une seconde phase d'extractions plus intensives, les îlots (bancs alluviaux végétalisés précédemment) ont à leur tour été extraits (Figure 12). Ces extractions ont alors provoqué (1) une incision supplémentaire du lit de la rivière d'une valeur moyenne de 1,5 mètres sur le secteur situé entre Girac et Groléjac, secteur principalement concerné par les extractions en lit mineur, favorisant à nouveau la déconnexion des bras et diminuant donc la surface des îles, et (2) des élargissements locaux de la largeur du chenal pouvant atteindre 200 mètres, qui ont même contribué à augmenter considérablement la largeur moyenne de la rivière sur la période 1976 –

1986. La largeur moyenne est ainsi passé de 111 mètres en 1976 à 118 mètres en 1986 (Figure 6 en 3.1.1.).

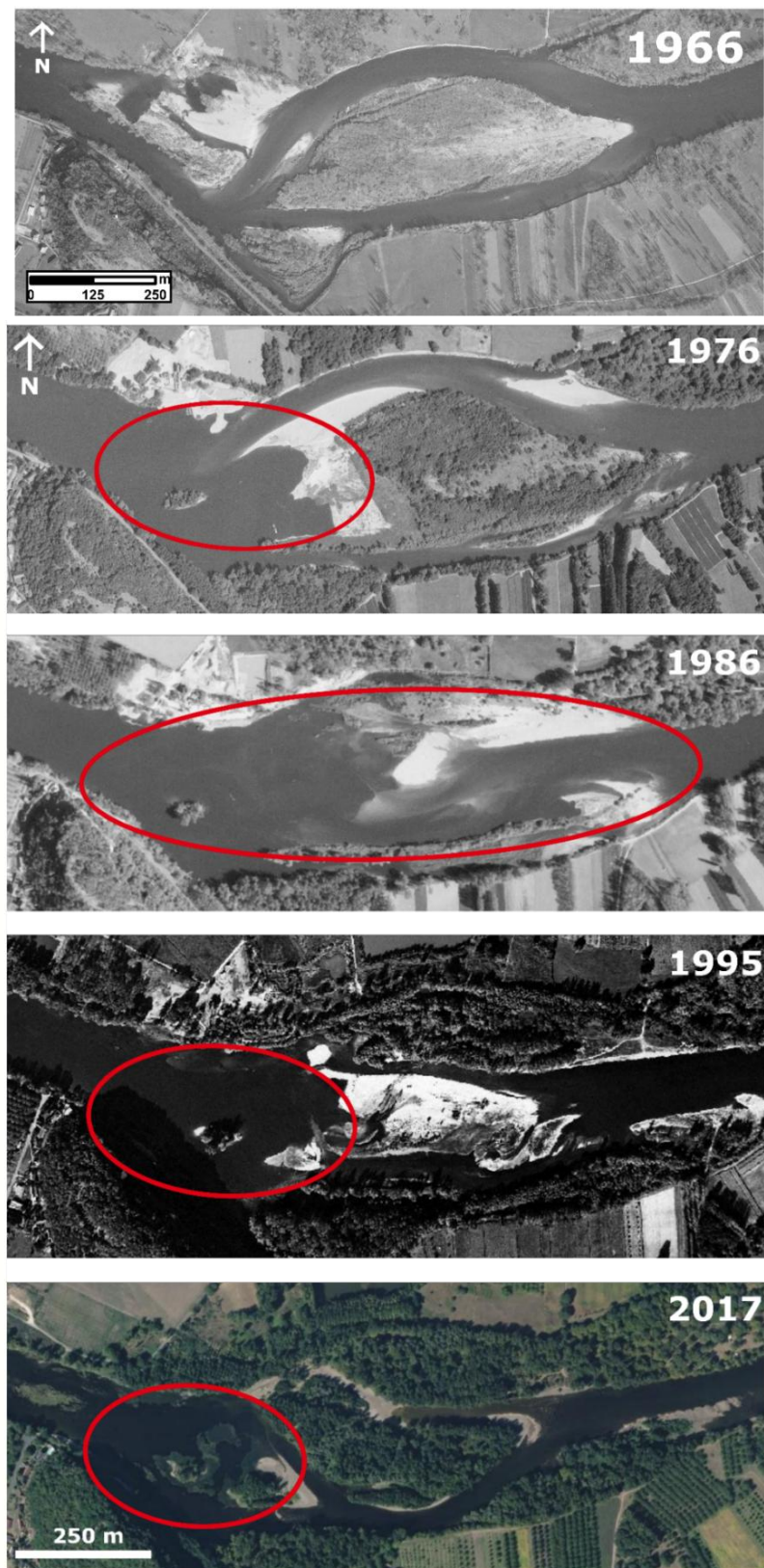


Figure 12. Ajustements morphologiques de la rivière Dordogne au droit de la fosse du Roc (dans le département du Lot – 46200 ; Source : IGN).

3.1.4. Protections de berges, secteurs des extractions et barrages : des freins aux ajustements post-extractions (depuis 1984)

Malgré l'interdiction précoce d'extraire dans le lit mineur de la Dordogne prise en 1981, pour un arrêt effectif des extractions en 1984 (Arrêté du 30 juillet 1981 et du 22 septembre 1994), leurs effets sont aujourd'hui encore bien présents. Dans le chenal principal, l'incision provoquée par les extractions entre 1966 et 1984 s'est, par le biais des érosions progressives et régressives, étendue en amont et en aval de certaines fosses, et des zones encore relativement profondes demeurent (Figure 12). Dans la plaine alluviale, de manière parfois connectée au chenal principal (Mézels, Astaillac...), ou déconnectées et localisées à proximité immédiate du lit actuel de la rivière (Pontou, Prudhomat, Saint-Julien de Lampon...), plusieurs gravières constituent des pièges à sédiments grossiers potentiels en cas de captures lors des crues (Figure 13).

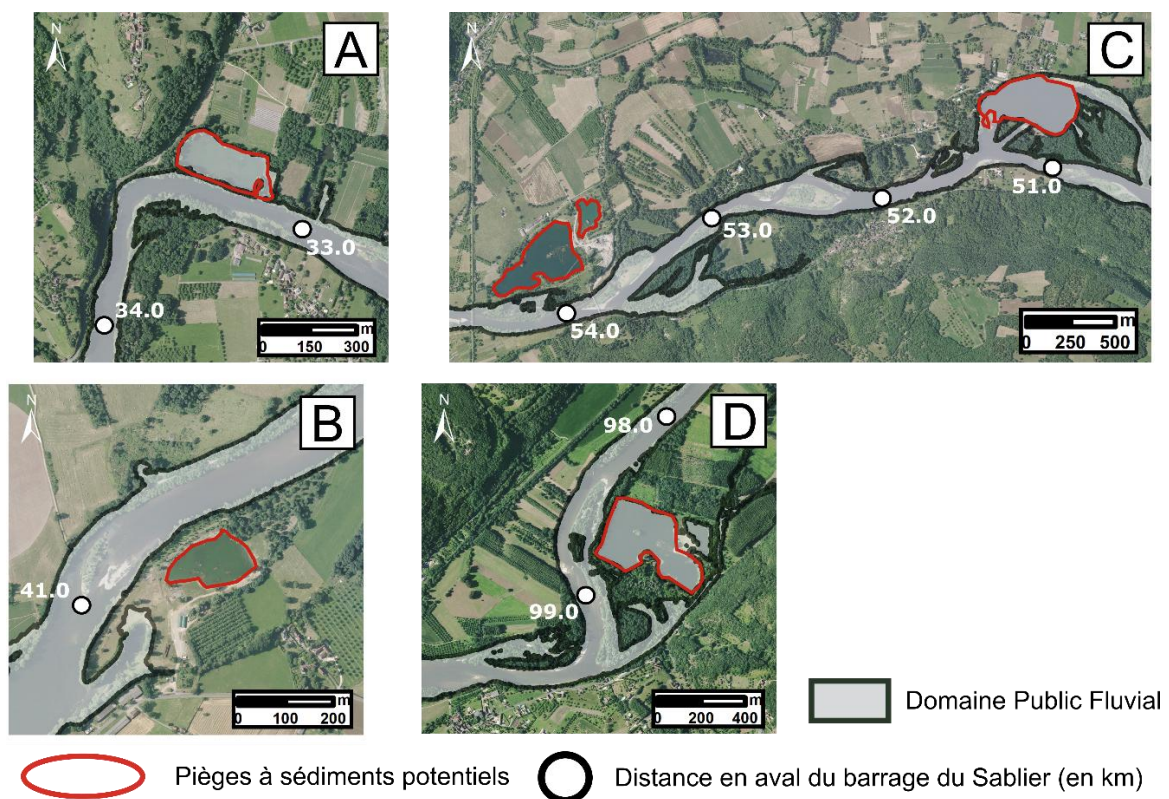


Figure 13. Gravières en lit majeur présentant un risque de capture lors des événements de crues : (A) Astaillac, (B) Prudhomat, (C) Mézels et Pontou et (D) Saint-Julien de Lampon (Source : IGN – BD Ortho 2012).

Pour ce qui est des ajustements par érosion progressive et régressive enregistrées après 1984 en amont et en aval des fosses de certaines fosses d'extractions toujours présentes dans le chenal principal, nous avons pu observer qu'ils avaient contribué à la déconnexion de nombreux bras secondaires et bras morts sur la Dordogne entre Girac et Groléjac. La diminution de la surface des îles observée entre 1984 et 1995 témoigne d'ailleurs de ces nombreuses déconnexions, avec une perte de surface des îles d'environ 245 hectares (Figure 11 en 3.1.2. : 615 hectares en 1984 et 370 hectares en 1995).

Aujourd'hui, des ajustements post-extractions semblent avoir eu lieu, avec notamment une ré-augmentation de la surface des îles observée entre 1995 et 2012. Cette augmentation a malheureusement principalement été induite par l'absence d'épisodes de crues morphogènes entre 1995 et 2012, et donc la végétalisation des nouvelles surfaces de bancs alluviaux (122 hectares) mis en place suite à la crue de 1994 dans les secteurs des extractions (Figure 12 en 3.1.3.).

Cette végétalisation a donc de nouveau réduit la taille du système, qui est passé d'une largeur moyenne de 109 mètres en 1995 à 102 mètres en 2012 (Figure 6 en 3.1.1.).

Entre 1995 et 2017, toujours par l'absence de crues (épisodes morphogènes) et d'apports sédimentaires, certaines fosses ne semblent pas s'être comblés d'avantage, et la bathymétrie datant de 1998 est très certainement toujours d'actualité sur ces secteurs où de nombreuses anomalies de profondeurs maximales persistent dans le chenal principal (Figure 14).

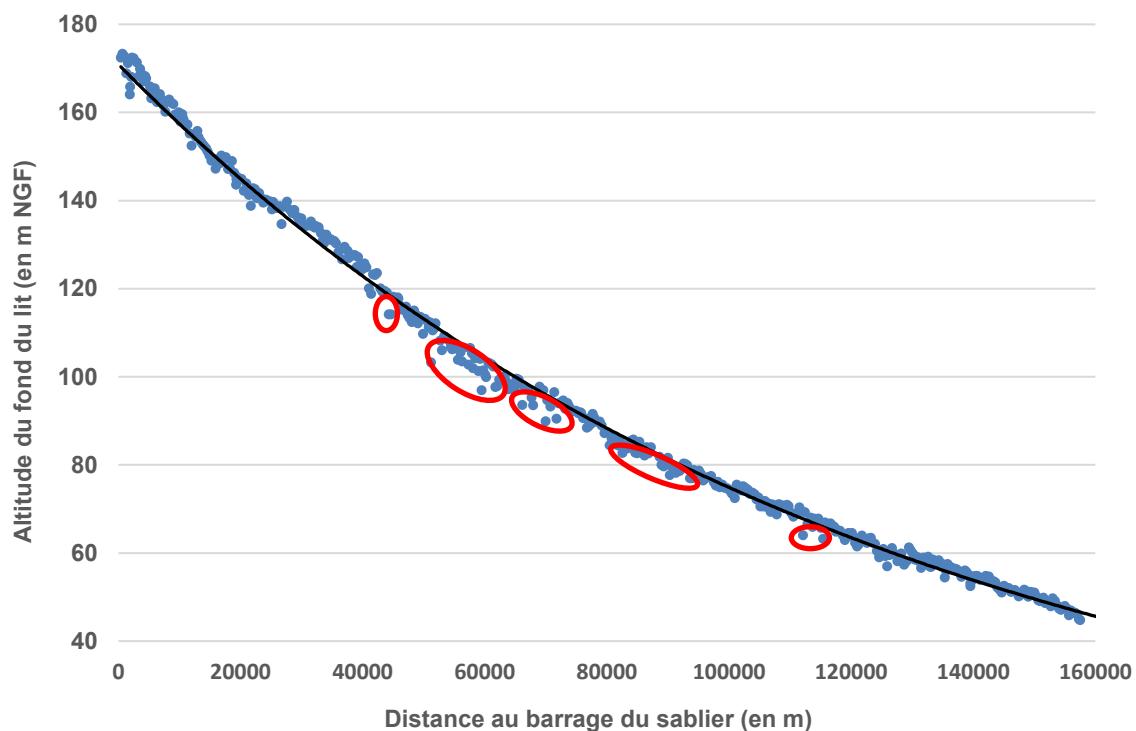


Figure 14. Profil en long de 1998, et fosses d'extractions non-ajustées (Source : EPIDOR).

La comparaison des images aériennes sur la fosse du Roc confirme que des ajustements rapides ont effectivement bien eu lieu entre 1986 et 1995 (Figure 12 en 3.1.3.). L'origine de ces ajustements se situe probablement dans la succession des épisodes de crues enregistrées en 1994 (équivalent à des crues de retour 5 ans). Cependant, en l'absence d'épisodes de crues « morphogènes » depuis 1994 (régulation par les barrages), nous constatons que la fosse située au Roc n'a pas ou peu évolué, et que les bancs alluviaux situés en amont se sont végétalisés (image aérienne de 2017 ; Figure 12 en 3.1.3.).

Le comblement partiel de ces anciennes fosses d'extractions volumineuses témoigne d'une absence d'apports de matériaux provenant de l'amont (blocage barrages et perte de mobilité latérale). En l'absence d'apports de matériaux de l'amont, les ajustements par érosion régressive et progressive se poursuivent sur certains

secteurs où le lit n'est pas encore pavé et provoque la nouvelle perte de connexion entre le chenal principal et les habitats riverains.

Ces fosses qui persistent dans le chenal principal constituent aujourd'hui des milieux plus profonds que ceux que nous devrions naturellement rencontrer dans le chenal principal. Ces milieux sont certes sources de biodiversité, puisque leur présence s'accompagne de communautés spécifiques avec, par exemple, le sandre chez les poissons (qui y trouve la profondeur importante qu'il affectionne, normalement absente de la rivière). Mais ils sont aussi la source de déséquilibres sédimentaires importants. En effet, la charge de fond en transit dans le chenal se retrouve piégée dans ces fosses ou en amont (blocage par perte de capacité de transport de la rivière), et un déficit sédimentaire se propage alors sur les tronçons de rivière situés en aval.

Dans ce contexte d'un linéaire fragmenté dans le transport sédimentaire de la charge de fond par des fosses d'extractions qui perdurent, les apports latéraux semblent être les seules sources potentielles d'entrées sédimentaires capable d'atténuer la propagation de ce déficit. Malheureusement, les protections de berges, constituées par près de 25 kilomètres d'enrochement sur ce secteur et mise en place entre 1980 et 2000 pour remédier aux effondrements des berges causées par l'incision, tendent à diminuer les volumes entrant, qui par la régulation hydrologique induite par les barrages sont déjà nettement plus faible que les volumes « naturellement » espérés. La combinaison de ces deux pressions constitue donc un frein majeur aux remplissages des fosses, et à l'atténuation de la propagation du déficit sédimentaire induit par les extractions.

3.1.5. Trajectoire d'évolution de la rivière Dordogne

L'ensemble des éléments obtenus lors de l'élaboration du diagnostic géomorphologique réalisé sur la Dordogne dans sa moyenne vallée, éléments qui sont ici très brièvement résumé et dont l'intégralité des résultats figurent dans le manuscrit de la thèse sur le sujet (Boutault, 2020), ont permis de retracer la trajectoire d'évolution de la rivière depuis 1840, mais aussi, de séparer et hiérarchiser les impacts unitaires et cumulés des différentes pressions exercées sur le cours d'eau. Cette trajectoire nous permet de savoir où se situe actuellement la rivière dans ces ajustements et de déterminer la nécessité, ou non, d'accompagner la rivière vers un nouvel état d'équilibre favorisant un fonctionnement écologique optimal.

A partir de l'équilibre dynamique fonctionnel de la période avant barrage (phase 1), il est donc désormais possible de retracer les périodes d'ajustement successif de la rivière jusqu'à ce jour. La régulation hydrosédimentaire induite par les barrages a latéralement figé la rivière (phase 2). Dans ce système latéralement figé et en constante simplification, d'importantes extractions ont ensuite bouleversé la dynamique fluviale pourtant déjà très ralentie (phase 3). Du fait de cette dynamique lente (régulation des crues), et cela associé à la contrainte latérale imposée par les protections de berges, les ajustements post-extractions sont lents et perdurent encore aujourd'hui et le système tend de nouveau à se réduire et simplifier (phase 4 – Figure 15).

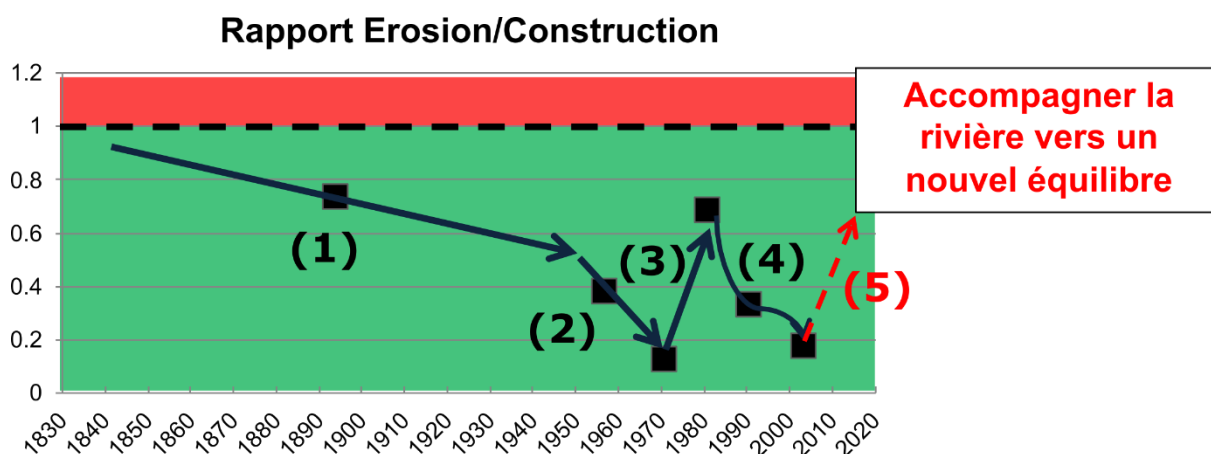


Figure 15. Trajectoire d'évolution temporelle de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée avec (1) L'état d'équilibre fonctionnel de la rivière lors de son changement de style fluvial entre 1840 et 1948, (2) La réduction de la dynamique fluviale et la simplification du système suite à la régulation hydrosédimentaire induites par les barrages, (3) Les perturbations induites par les extractions qui contribuent à un nouveau déséquilibre, (4) Les ajustements post-extractions et enfin (5) la projection hypothétique vers un nouvel état d'équilibre fonctionnel, état fonctionnel adapté à la capacité de la rivière avec la présence des barrages.

La rivière semble aujourd'hui encore en cours d'ajustements post-extractions et nous avons donc besoin de connaître la capacité actuelle de la rivière à s'ajuster afin de savoir si (1) un accompagnement est nécessaire, et (2) si son fonctionnement actuel, avec la présence des barrages, rend possible l'atteinte d'un nouvel état d'équilibre dynamique et fonctionnel (phase 5 – Figure 15).

3.2. Le fonctionnement hydrosédimentaire actuel de la rivière

Les épisodes de crues sont le moteur de la dynamique fluviale des rivières et sont à l'origine, lorsqu'ils existent, de l'abondance, de la diversité, et de l'évolution physique des habitats. Le fonctionnement morphologique actuel de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée s'est, depuis 1957, nettement dégradé. Cette dégradation concerne la mobilité des sédiments présents dans le lit, et la capacité de la rivière à mobiliser les sédiments présents en plaine alluviale. Cela suggère que la rivière n'est donc pas en capacité de remédier seule (1) au déficit sédimentaire qui se développe

en aval des barrages, mais aussi (2) d'ajuster sa morphologie sur le tronçon où le déficit sédimentaire imputable aux extractions perdure.

Dans le but de confirmer l'ensemble de ces informations, et enfin quantifier précisément la capacité actuelle de la rivière à s'ajuster et évoluer, plusieurs expériences ont été conduites sur le terrain.

3.2.1. Estimation de la migration de la charge de fond

Pour quantifier la vitesse à laquelle progresse actuellement le déficit sédimentaire amont, mais aussi estimer le temps de remplissage des fosses d'extractions qui sont encore présentes en aval, nous avons réalisé un suivi du déplacement des sédiments grossiers composant le lit de la rivière lors des crues. Pour ce suivi nous avons opté pour l'utilisation d'une technique novatrice en grande rivière, avec une combinaison de galets équipés de traceurs passifs et actifs (Melun et al., 2019 ; Boutault, 2020). Cette technique nous a permis de mesurer la distance parcourue par les galets, mais aussi l'épaisseur de sédiments mobilisés, et donc, de calculer le volume de sédiments grossiers réellement transporté par la rivière (Figure 16).

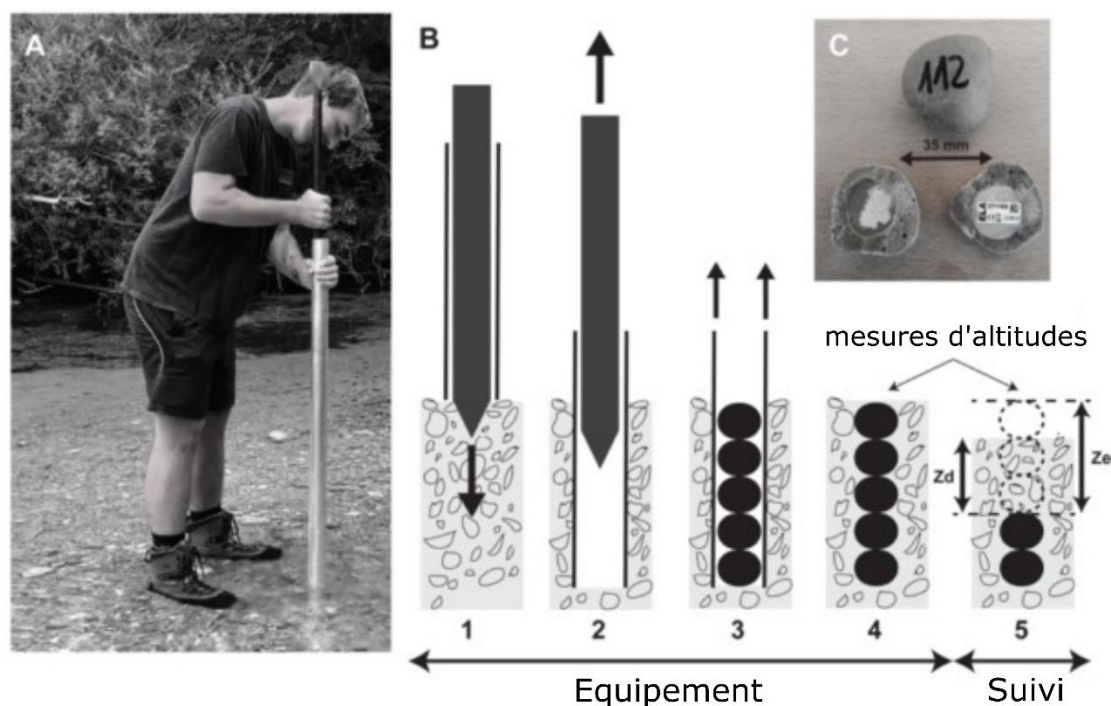


Figure 16. Installation du dispositif de suivi de l'épaisseur de sédiments grossiers mobilisés en crues sur la Dordogne (galets synthétiques équipés de traceurs actifs).

Le suivi des galets équipés de traceurs (actifs et passifs) a montré un déplacement moyen des sédiments grossiers composant le lit de la rivière de **200 mètres par an sur une épaisseur de 20 centimètres pour l'épisode de crue de janvier 2018** (crue estimée de retour 2 ans, pour un débit maximal de 1180 m³/s à Souillac). Depuis 1957, la rivière aurait ainsi transporté, un volume moyen annuel de **4300 m³ de sédiments grossiers sur une distance moyenne annuelle d'environ 200 mètres** (Figure 17 et Figure 18). Ce premier retour post-crue a également permis de déterminer que l'intégralité des particules composant le lit de la rivière Dordogne se mettaient en mouvement pour des débits supérieurs à 330 m³/s sur la Dordogne amont (secteur de Brivezac) et supérieur à 500 m³/s sur la Dordogne aval (secteur de Souillac à Vitrac) (Boutault, 2020).

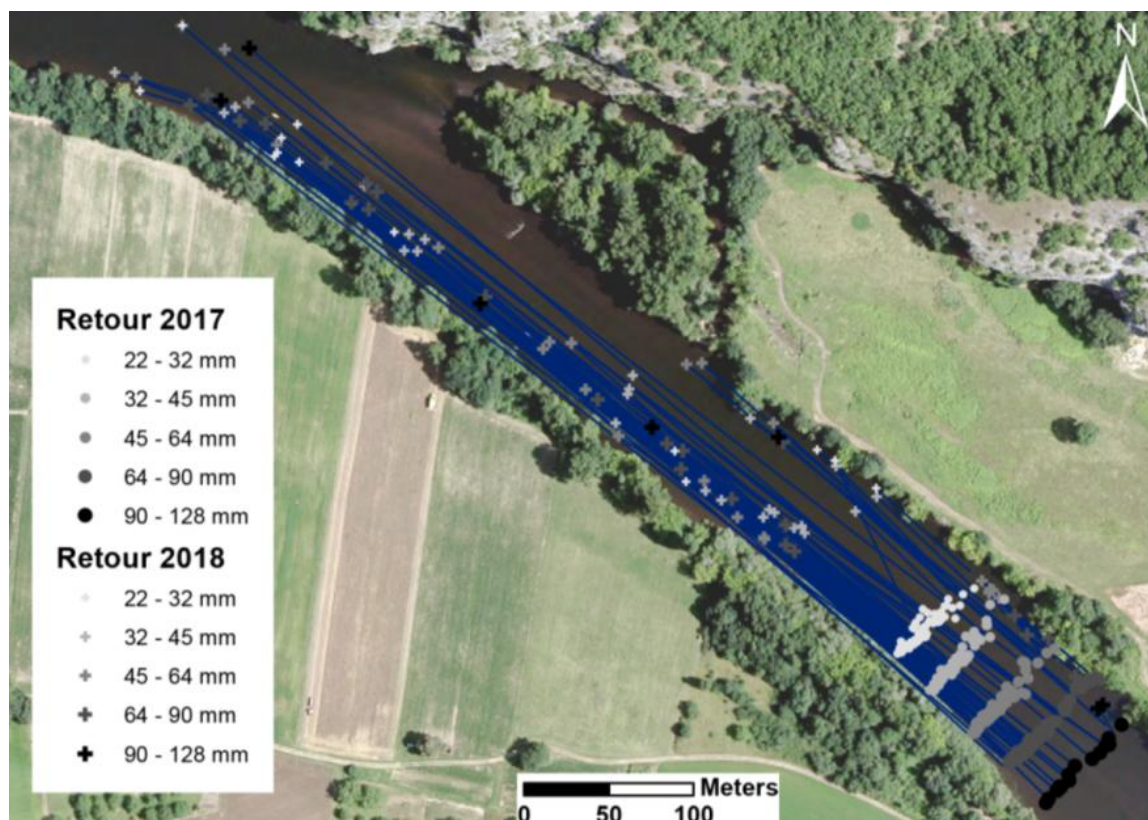
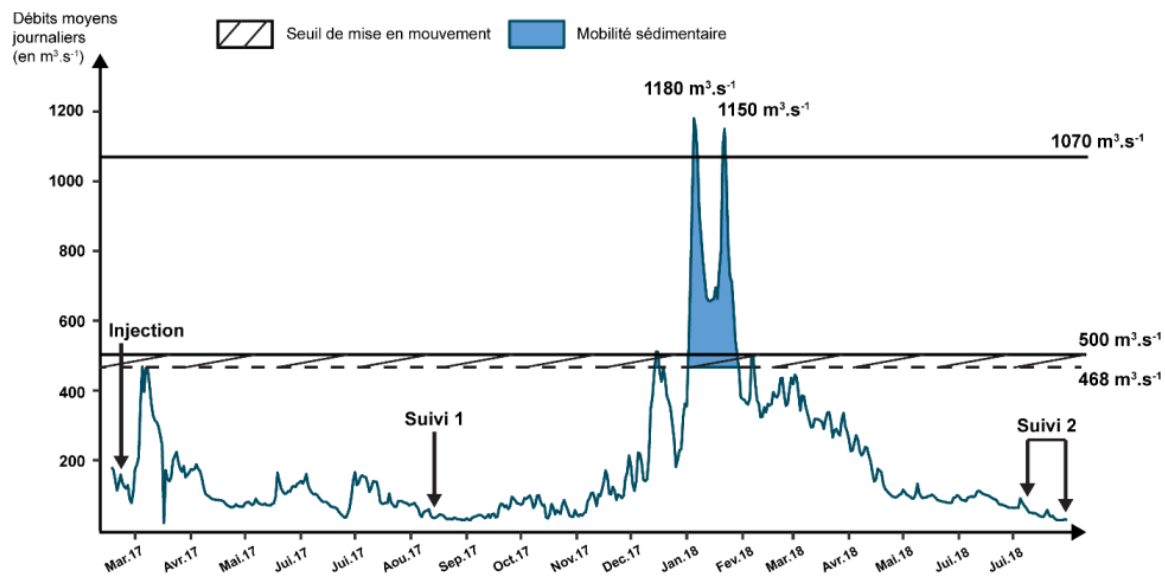


Figure 17. Suivi de la charge de fond suite à la crue de Janvier 2018 sur le site de Meyraguet (département du Lot – 46200).

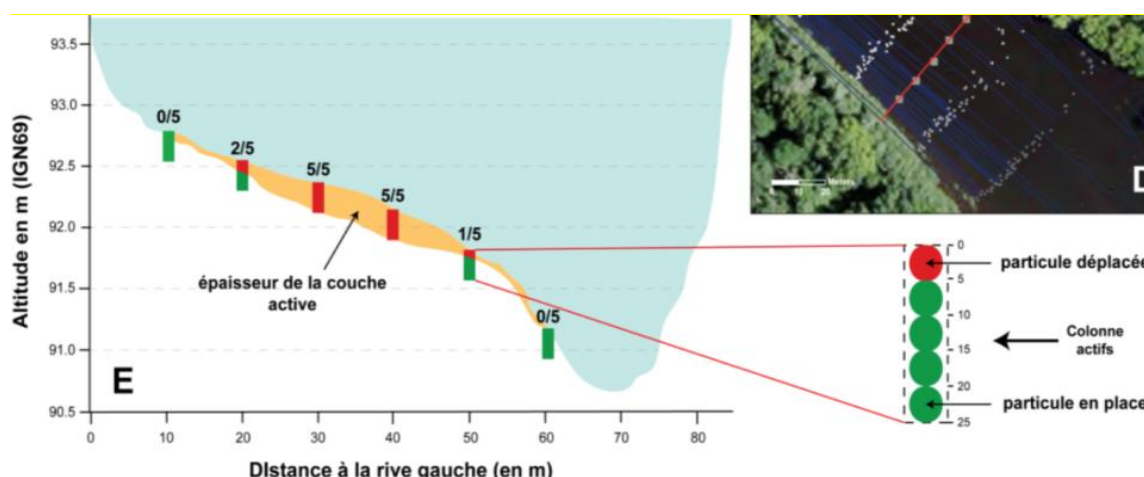


Figure 18. Suivi de l'épaisseur de sédiments mobilisés lors de la crue de janvier 2018 sur le site de Meyraguet (département du Lot – 46200).

3.2.2. Mobilité latérale

Sur sa partie corrézienne, la rivière n'a pas enregistré de profond changement morphologique depuis 1840. Les apports sédimentaires entrant dans le chenal par mobilité latérale sur le secteur Argentat-Beaulieu ont toujours été faibles. Sur la période après barrages, les entrées moyennes annuelles en sédiments grossiers par érosion latérale sont estimées à 2850 m³ sur ce secteur (Boutault, 2020 et Tableau 1). C'est un volume très en deçà des 4300 m³ nécessaires pour, a minima, équilibrer la migration moyenne annuelle mesurée, et donc **empêcher la progression du déficit sédimentaire causé par les barrages.**

Avec des entrées sédimentaires insuffisantes sur cette partie « amont », la rivière ne semble donc pas capable de résorber seule le déficit sédimentaire induit par les barrages. Pour que les érosions de berges contribuent à faire entrer un volume moyen annuel en sédiments grossiers de 4300 m³, il faut que la rivière parcoure 36 kilomètres en aval du barrage du Sablier, l'équilibre entre volume déficitaire en amont et entrées sédimentaires par érosion des berges n'est donc potentiellement atteint qu'à la confluence avec la Cère (Tableau 1).

Tableau 1. Volume de sédiments grossiers entrant dans le chenal de la Dordogne par érosion latérale entre 1966 et 2012.

	Volumes de sédiments grossiers entrés dans le chenal par érosion latérale (en m ³)		
	0 - 36 km	36 - 110 km	110 - 160 km
Entre 1966 et 2012	194 255	2 024 800	188 200
Moyenne annuelle	4 223	44 017	4 091

En aval de la confluence avec la Cère, la rivière est latéralement plus mobile. Elle enregistre des volumes entrants par érosion latérale équivalents à une moyenne annuelle de 44 000 m³ depuis l'installation des barrages (Tableau 1). Ces volumes pourraient néanmoins être nettement plus conséquents puisque près de 15 kilomètres de protections de berges sont actuellement présents sur ce secteur.

En 2014, c'est près de 350 mètres d'enrochement qui ont été supprimés sur le site de Gimel par EPIDOR. La suppression de cet enrochement a par la suite contribué à une augmentation des apports en sédiments grossiers dans le chenal d'environ 1 000 m³ entre 2014 et 2018 (Figure 19). Ces apports latéraux sur le site de Gimel correspondent à des entrées de près de 2,9 m³ de sédiments grossiers par mètre de berge et par an, et coïncident avec les éléments de mobilité latérale extraites du diagnostic géomorphologique, puisque celui-ci indique une moyenne annuelle de 3 m³ de sédiments grossiers par mètre de berge entrés par érosion latérale (ECOGEA, 2014-2018 et Boutault, 2020).

Cependant, les retours terrains de 2021 montrent que le front d'érosion ne semble pas s'être davantage ajusté, ou du moins suffisamment pour être constaté visuellement. Il y aurait donc eu des ajustements plus importants les premières années. Ajustements très probablement relatifs à des ajustements de pente de la

berge (relativement pentue en raison de l'incision du lit de la Dordogne au droit du site : 50 centimètres à 1 mètres). Nous avons alors observé ces premières années post-désenrochement, de l'érosion qui était en réalité de l'effondrement de berge. Ces effondrements étant visiblement moins intense aujourd'hui, il est probable que la pente de la berge se soit, en grande partie, ajustée, et qu'en l'absence de crue d'intensité suffisante (supérieure au Q5 : débit de 1320 m³/s à Cénac), aucun nouvel apport sédimentaire latéral n'entre dans le chenal par érosion de cette berge à Gimel.

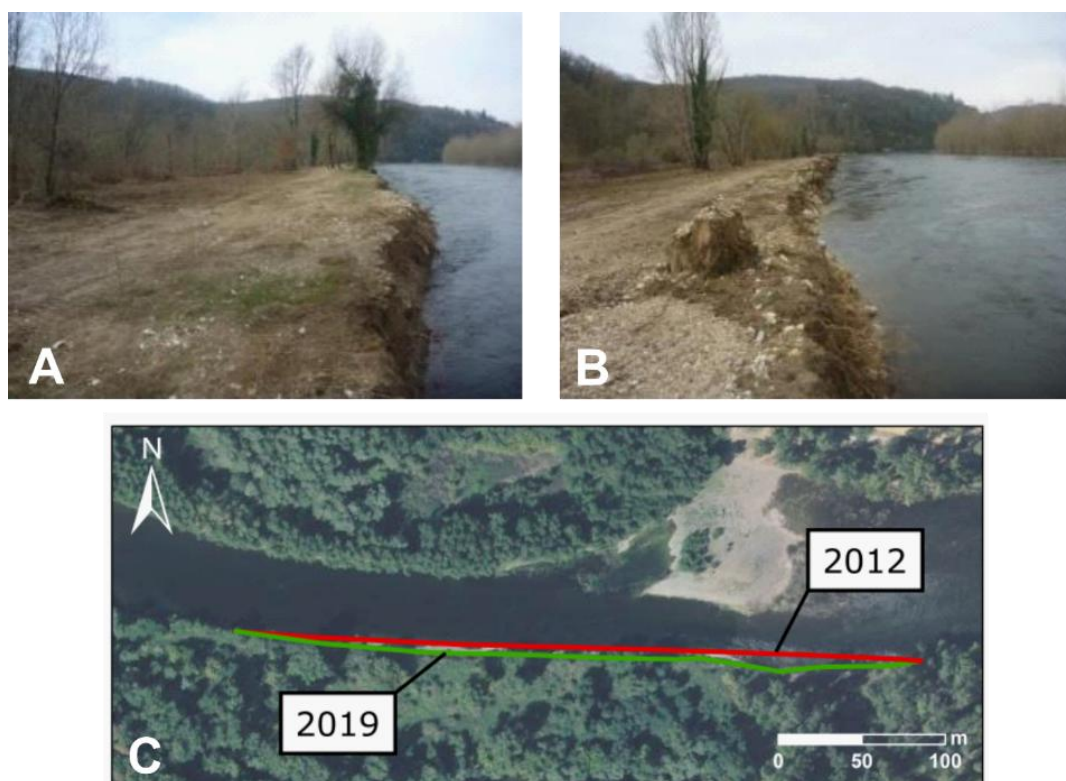


Figure 19. Photographies sur le site de Gimel (A) après suppression de l'enrochement en 2014, et (B) après l'événement de crue de janvier 2018, et (C) érosion observée sur le site de Gimel entre 2012 (avant suppression de l'enrochement) et 2019 (après suppression et épisode de crue de janvier 2018).

Ainsi, si l'ensemble des 15 kilomètres de protections de berges actuellement implantées sur les secteurs de la rivière Dordogne où s'exprime encore une mobilité latérale étaient supprimées, il est probable que près de 45 000 m³ de sédiments grossiers supplémentaires entrent en moyenne dans le chenal annuellement. Ce

volume moyen annuel permettrait de doubler les entrées sédimentaires dans ce secteur. Cependant, il semblerait que ces entrées diminuent avec le rééquilibrage de la pente des berges. Un retour d'expérience sur un nouveau site où l'enrochement sera supprimé devrait permettre de valider, ou invalider ces hypothèses.

3.2.3. Stockage en plaine alluviale

En plus de la migration de la charge de fond qui contribue au développement du déficit sédimentaire dans le chenal, la végétalisation-déconnexion des milieux à forts potentiels biologiques pour les espèces aquatiques et semi-aquatiques (bras secondaires, bras morts et bancs alluviaux nus) induit par la régulation hydrologique des barrages, a considérablement diminué le stock sédimentaire biodisponible dans le chenal en eau (Figure 20). Ces volumes de sédiments grossiers aujourd'hui présents en plaine alluviale ont pu être estimés (Bulteau, 2017). Ils représentent un volume total de près de 15 millions de m³ de sédiments grossiers (Boutault, 2020).

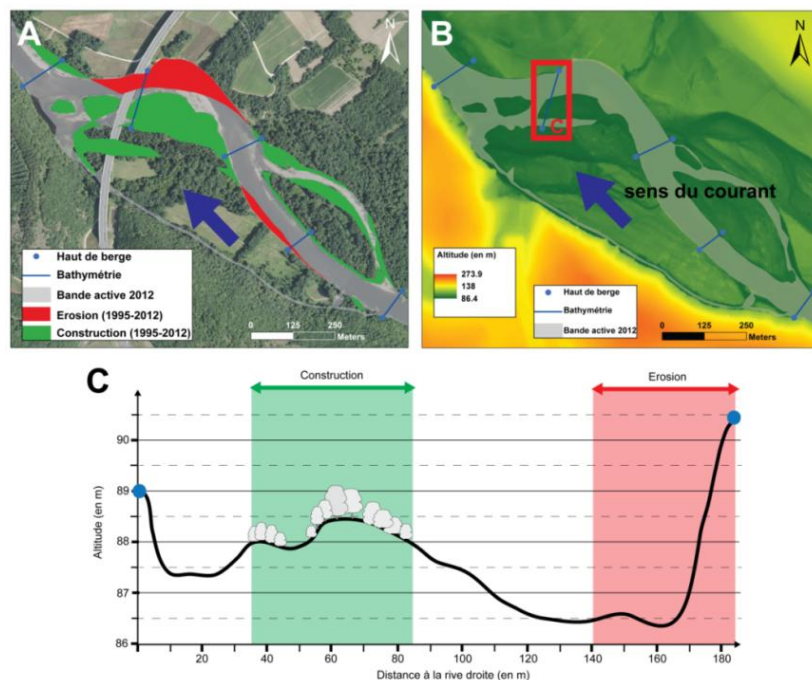


Figure 20. Erosion et construction de plaine alluviale sur le secteur de Pinsac entre 1995 et 2012.

Depuis 1966, c'est donc près de 22 000 m³ de sédiments grossiers qui ont été figés par an sur la Dordogne amont entre Argentat et la confluence avec la Cère, et près de 250 000 m³ sur la Dordogne aval entre la confluence avec la Cère et Groléjac (Tableau 2).

Tableau 2. Volume de sédiments grossiers stockés en plaine alluviale de la Dordogne par construction entre 1966 et 2012.

	Volumes de sédiments grossiers stockés en plaine alluviale (en m ³)		
	0 - 36 km	36 - 110 km	110 - 160 km
Entre 1966 et 2012	1 016 360	11 789 933	2 126 347
Moyenne annuelle	22 095	256 303	46 225

Ces sédiments figés en plaine alluviale sous l'effet combiné de l'incision du lit et de la régulation des crues est aujourd'hui un levier d'actions pour remédier en partie au déficit sédimentaire qui progresse encore dans certains secteurs (aval immédiat des barrages de l'amont et fosses d'extractions où le comblement n'est que partiel).

3.3. Enseignements importants à retenir : Quels enjeux pour demain ?

L'étude menée ces dernières années a mis en évidence une transformation hydromorphologique globale de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée (Boutault, 2020). Cette transformation, principalement dues aux activités humaines récentes (de 1957 à nos jours), se traduit aujourd'hui par :

- (1) **un déficit amont** en sédiments grossiers d'environ 300 000 m³, qui a pour origine unique et moteur de sa progression actuelle l'installation des barrages de la chaîne hydroélectrique de la Dordogne amont ;
- (2) **un déficit sédimentaire aval**, initialement estimé à 9 millions de m³ de sédiments grossiers (en 1984), ayant pour origine les extractions en lit mineur,

et dont les effets perdurent encore aujourd'hui (37 ans après leur interdiction), principalement à cause du frein aux ajustements que constituent la régulation des crues par les barrages, mais aussi, la mise en place de protections de berges sur un linéaire conséquent, qui limite les apports sédimentaires par érosion latérale ;

(3) **une réduction du système** en diversité et en taille (chenalisation), amplifié par la propagation des déficits sédimentaires et la présence sur un long linéaire de protections de berges.

La présence des déficits sédimentaires (amont et aval), et les ajustements liés à leur potentielle progression ou propagation en aval **impose une surveillance active et la mise en place d'une stratégie de gestion à long terme**. Pour cela, nous devons dans un premier temps estimer les emprises spatio-temporelles de ces possibles ajustements et leurs conséquences sur un système lourdement exploité (barrages) qui se réduit en taille et en diversité.

3.3.1. La progression du déficit sédimentaire amont

D'après les informations dont nous disposons désormais, les sédiments grossiers présents en aval du barrage du sablier auraient parcouru 12,5 kilomètres entre 1957 et 2018. Ce résultat concorde avec les dégradations physiques et biologiques observées sur ce secteur (absence de bancs alluviaux, pavage et réduction des surfaces propices à la reproduction des grands salmonidés). Sous conditions que le changement climatique en cours ne bouleverse pas complètement le régime hydrologique de la rivière dans les prochaines décennies, ce déficit sédimentaire pourrait atteindre la queue de retenue du Seuil des Aubarèdes (à Beaulieu-sur-Dordogne/Altiliac) aux alentours de 2070. Il impacterait alors les 23,5 premiers kilomètres de la Dordogne dans sa moyenne vallée et atteindrait un volume total d'environ 500 000 m³. A cette date de 2070, il se pourrait donc que l'ensemble du

secteur où les conditions sont les plus propices à la reproduction des grands salmonidés (90 % de frayères actives recensés depuis 1999), soit impacté par la perte des surfaces potentielles de reproduction. Il serait alors d'autant plus impossible d'atteindre l'objectif fixé par le « Plan Saumon » (population auto-suffisante), et de très nombreuses autres pertes écologiques seraient probablement à déplorer (Figure 21).

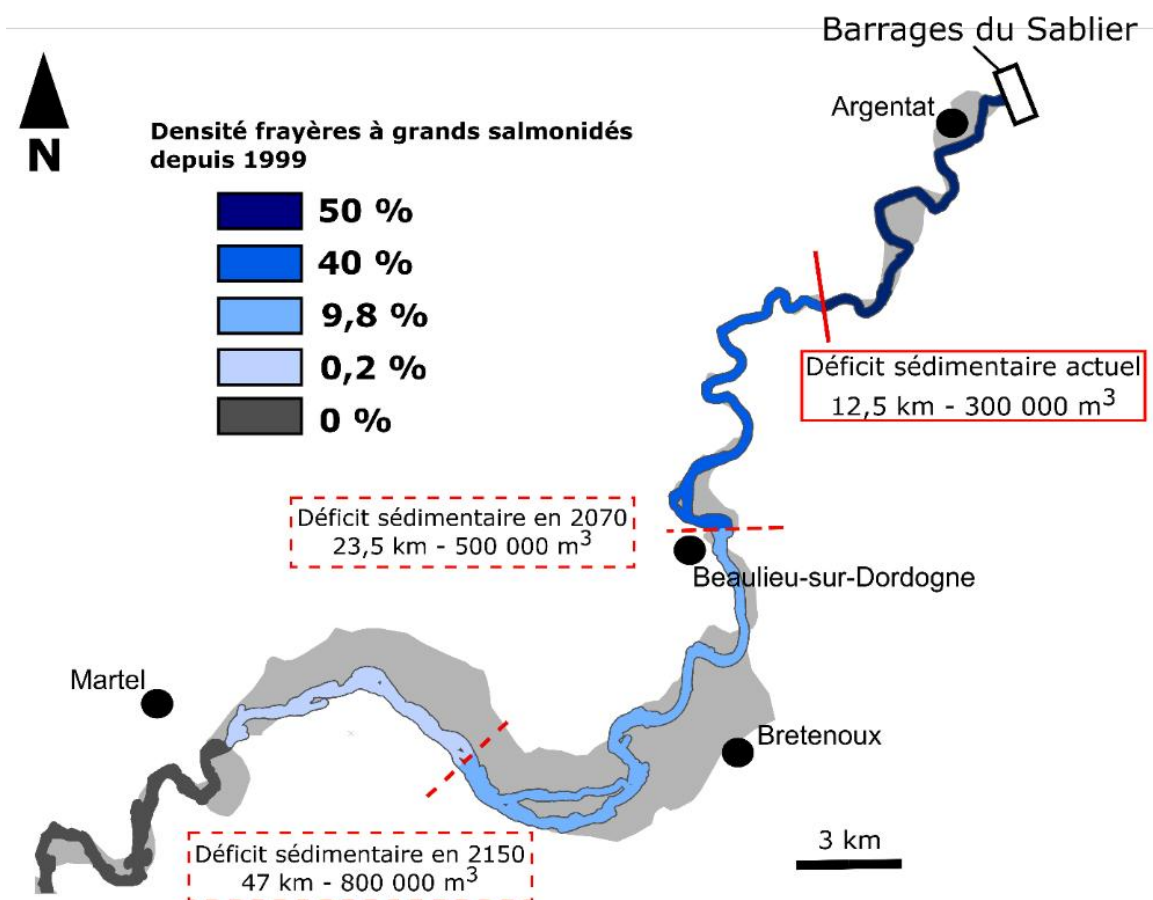


Figure 21. Progression potentielle du déficit sédimentaire amont sur la rivière Dordogne, et pourcentage des frayères de grands salmonidés recensées depuis 1999.

3.3.2. Des ajustements post-extractions très lents

En aval de la confluence avec la Cère, la rivière présente un déficit sédimentaire induit par les extractions en lit mineur (1960-1984). Initialement estimé à plus de 9 millions de m³ de sédiments grossiers, ce déficit est probablement plus faible aujourd'hui. Cependant, la présence actuelle de nombreuses perturbations dans le

profil longitudinal de la rivière (tailles des sédiments, profondeur maximale dans le chenal, absence de formes fluviales et d'alternance seuils-mouilles), témoigne que la rivière est encore très loin d'avoir intégralement résorbé certaines fosses d'extractions, notamment les plus volumineuses (Tauriac, Mézels, Le Roc...).

Ces fosses dont les volumes extraits entre 1960 et 1984 ont été les plus importants se situent principalement sur les secteurs entre Tauriac et Floirac (40 à 57 km en aval du barrage du Sablier), et entre La Treyne et Montfort (80 à 110 km en aval du barrage du Sablier). Elles représentent près de 75 % des extractions enregistrées sur la Dordogne moyenne, soit un volume d'environ 6,9 millions de m³ de sédiments grossiers.

La rivière ne disposant aujourd'hui plus de l'hydrologie nécessaire à la recharge par érosion latérale de son chenal, et les protections de berges étant nombreuses sur ces deux secteurs, près de 15 kilomètres de protections cumulées sur 100 kilomètres de berges, nous observons que ces fosses continuent de constituer des pièges à sédiments grossiers qui fragmentent le transit de la charge de fond, et engendrent un déficit sédimentaire à leur aval direct.

Par estimation de la migration de la charge de fond, nous pouvons désormais projeter que ces déficits sédimentaires se sont propagés à l'aval de ces fosses d'environ 100 000 m³, et qu'ils se sont développés sur près de 7,5 kilomètres depuis l'arrêt des extractions en 1984 (Figure 22).

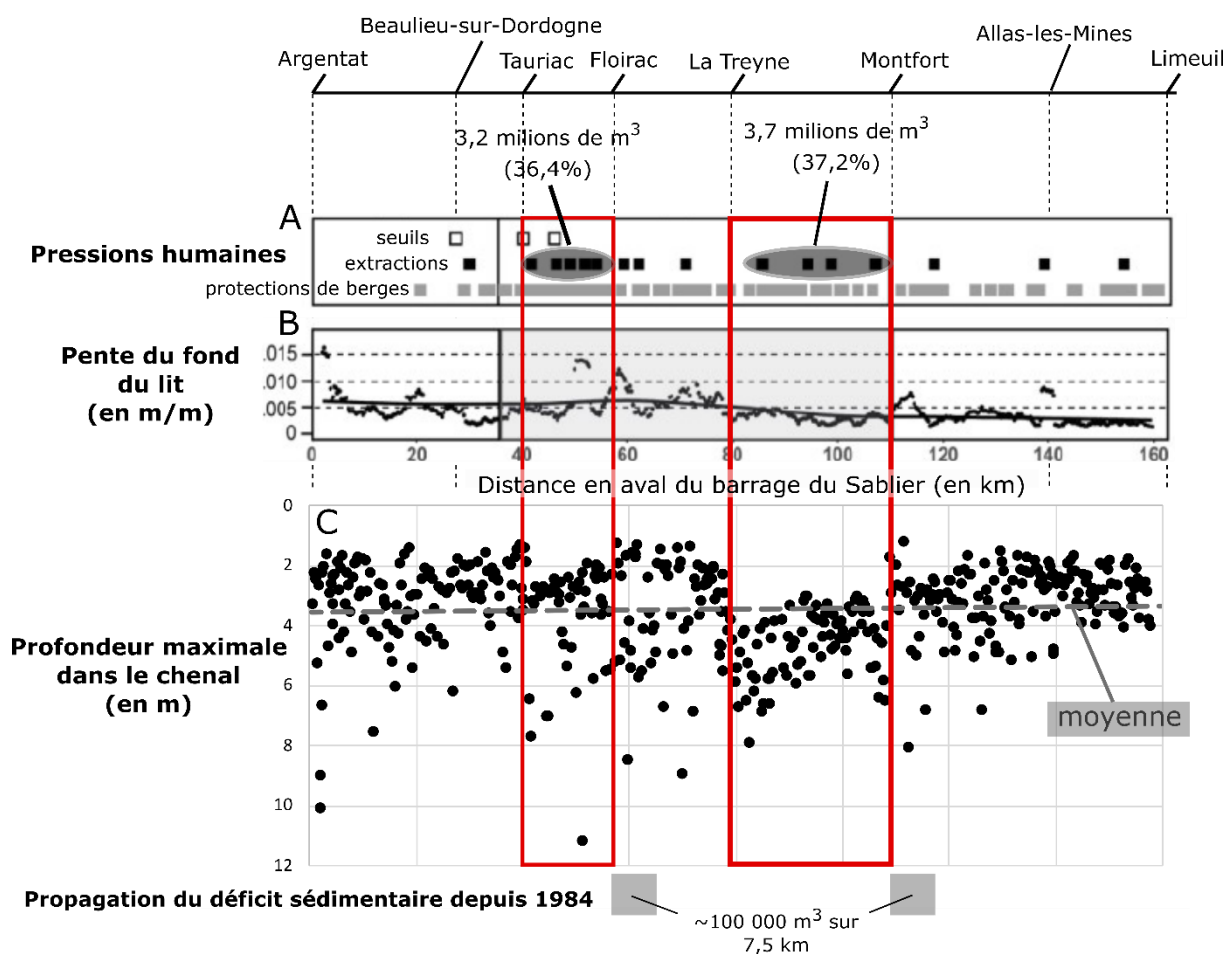


Figure 22. Localisation des secteurs où les fosses d'extractions perdurent, et évaluation de la propagation du déficit sédimentaire en aval des fosses, propagation liée aux piégeages de la charge de fond.

L'analyse avec des données bathymétriques plus récentes devrait permettre d'évaluer précisément les volumes de sédiments nécessaires au remplissage de ces fosses d'extractions qui perdurent. En l'absence de ces informations, il paraît pour le moment difficile d'estimer de manière robuste l'évolution potentielle de la situation en aval, et donc les conséquences morphologiques et écologiques liés à la propagation du déficit sédimentaire causé par ces fosses d'extractions. Cependant, nous savons que, dans ces secteurs, l'incision potentiellement causée par la propagation de ce déficit engendre une déconnexion des annexes fluviales (couasnes et bras secondaires) ainsi qu'une chenalisation et une perte des faciès d'écoulement à fort potentiel biologique (radiers, plats-courants) (Figure 23).

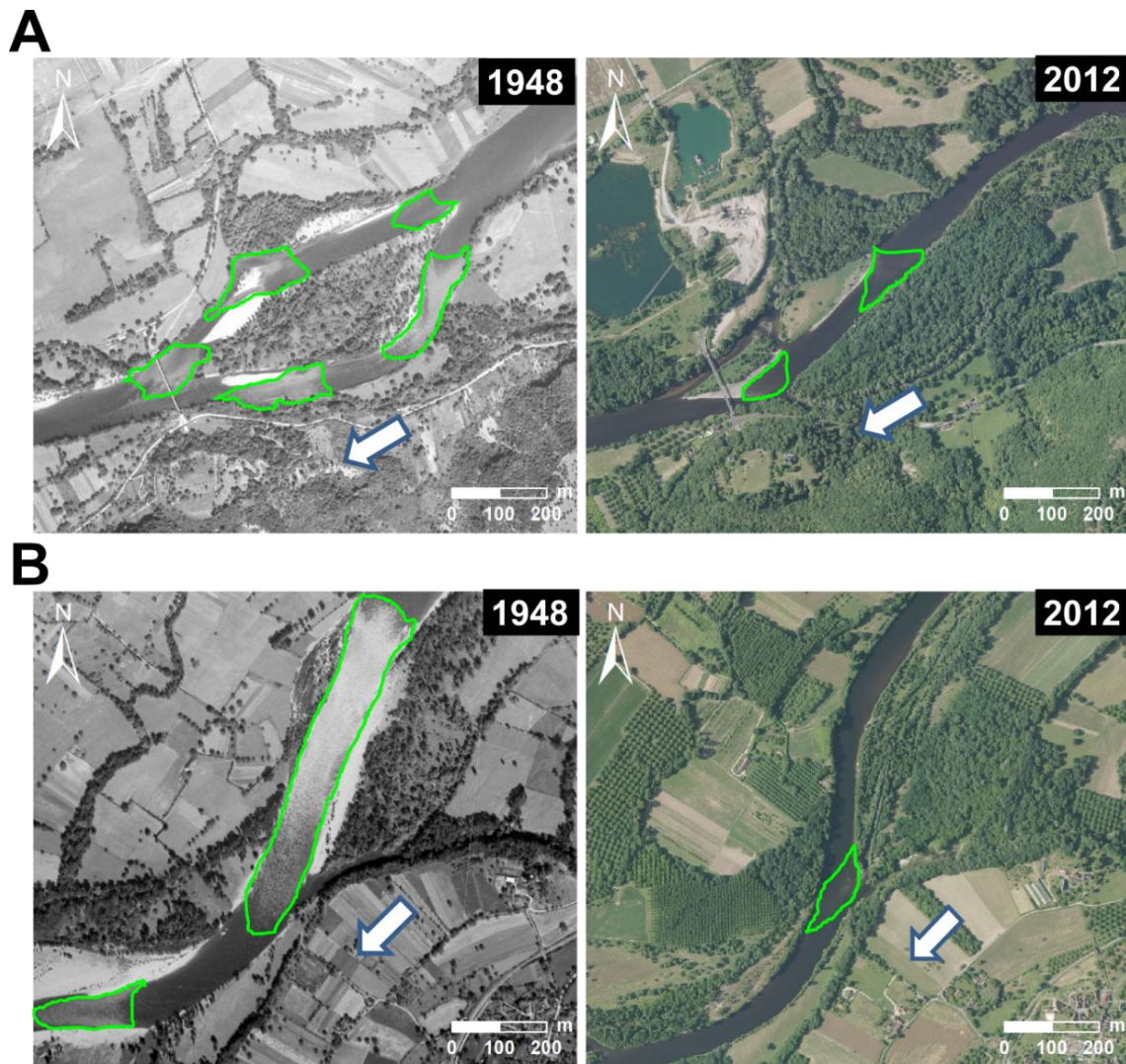


Figure 23. (A) Chenalisation et perte de nombreux radiers et annexes fluviales sur le secteur de Pontou en amont du pont Miret (46) et (B) Déconnexion de la couasne de Port-Vieux et diminution de la surface des radiers dans le chenal principal à Floirac (46) entre 1948 et 2012.

3.3.3. Une réduction et simplification du système (chenalisation) amplifiée par la propagation des déficits sédimentaires amont et aval

Depuis la mise en service des barrages et avec la régulation des crues qu'ils ont provoquées (à partir de 1957), les bancs alluviaux nus se sont, dans un premier temps, rapidement végétalisés (- 125 hectares de bancs alluviaux nus entre 1948 et 1966, Figure 8 en 3.1.2.). La largeur de la rivière (bande active = chenaux en eau + surfaces des bancs nus) a alors fortement diminué sur l'ensemble du linéaire de la

rivière Dordogne dans sa moyenne vallée (- 3 mètres en moyenne entre 1948 et 1966, soit une perte de 50 hectares).

Par la suite, l'incision induite à l'amont par les barrages et à l'aval par les extractions en lit mineur, ont favorisé la perte des bancs alluviaux résiduels (39 hectares en 1966) et la déconnexion rapide de l'ensemble des bancs végétalisés, représentant une surface totale de bancs végétalisés-déconnectés d'environ 225 hectares sur la période après régulation des crues par les barrages (1948-2012 ; Figure 24).

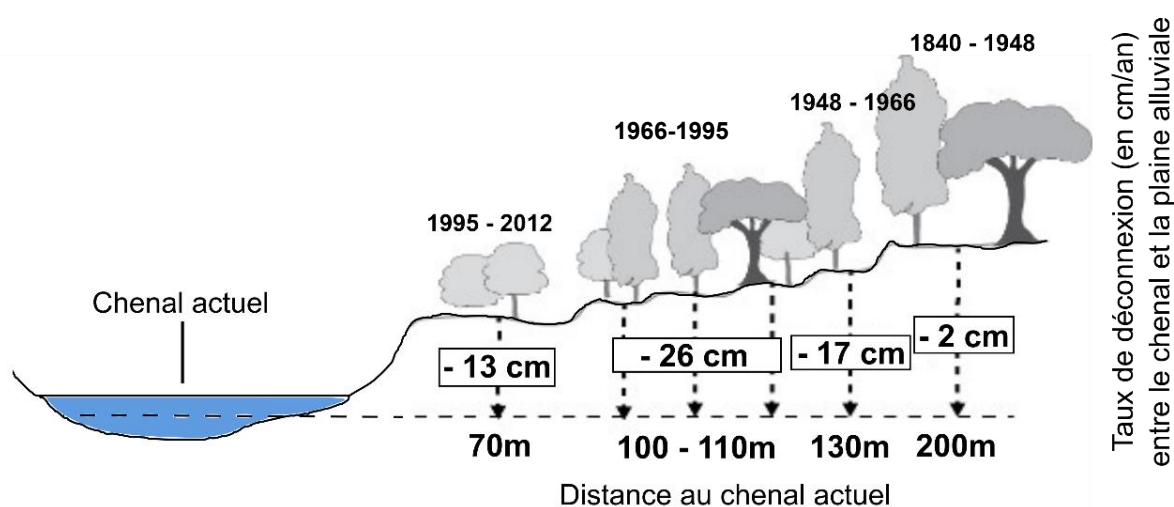


Figure 24 . Taux de déconnexion (en cm/an) entre la plaine alluviale et le chenal principal de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée depuis 1840 (modifié d'après Bulteau, 2017 et Boutault, 2020).

Dans ce contexte, les nombreuses déconnexions d'annexes fluviales (bras morts et bras secondaires), de bancs alluviaux, et donc, la chenalisation (ratio largeur/profondeur, perte des faciès de radiers et de plats-courants), induit par les effets cumulés de la propagation des déficits sédimentaires et de la régulation des crues, ont conduit à une perte importante de diversité et de quantité d'habitats, avec des effets directs sur la diversité et l'abondance intra- et inter-espèces (notamment pour les poissons ; Figure 25).

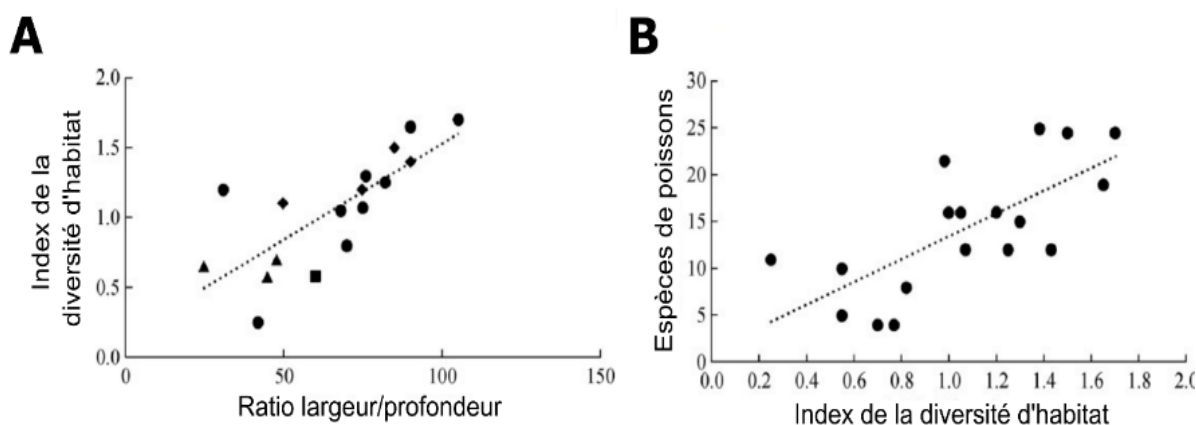


Figure 25. Corrélations entre A- le ratio largeur/profondeur dans le chenal et la diversité d'habitat, et B – la diversité d'habitat et le nombre d'espèces de poissons sur The Nanxi River dans le sud-est de la Chine (modifié d'après Li et al., 2020).

Cependant, malgré la régulation des crues par les barrages, la rivière a tout de même enregistré plusieurs épisodes morphogènes modérés avec des débits de crue de retour 2 et 5 ans à Argentat (supérieurs à 704 m³/s) et Cénac (supérieurs à 1070 m³/s) sur la période 1984-1995 (post-extractions). Ces crues ont notamment permis la création de nouveaux bancs alluviaux nus (+122 hectares), et ont donc contribué à rééquilibrer en partie le système, lourdement perturbé après extractions.

Ce rééquilibrage partiel, et donc le gain de surfaces de bancs alluviaux nus n'a toutefois eu lieu que sur les secteurs compris entre 40 et 160 kilomètres en aval du barrage du Sablier. Nous observons en effet que les bancs alluviaux nus perdus par végétalisation et migration de la charge de fond (Figure 8 en 3.1.2.) sur les 40 premiers kilomètres entre 1948 et 1966 n'ont pas été « regagnés » en 1995 (Figure 26). Cette absence de création de nouveaux bancs alluviaux nus sur les 40 premiers kilomètres témoigne donc du déficit sédimentaire amont (barrages) et de l'absence d'apports latéraux par mobilité latérale sur ce secteur.

Sur la partie aval, entre 40 et 160 kilomètres en aval du barrage du Sablier, la présence de nouveaux bancs témoigne de la capacité de la rivière à s'ajuster sur ce

secteur. Néanmoins, l'absence de crue suffisamment intense (Q_5) depuis 1995, a empêché la rivière de maintenir ces surfaces qui ce sont pour la plupart végétalisées et déconnectées depuis (surface de bancs alluviaux nus quasi-nulle en 2012).

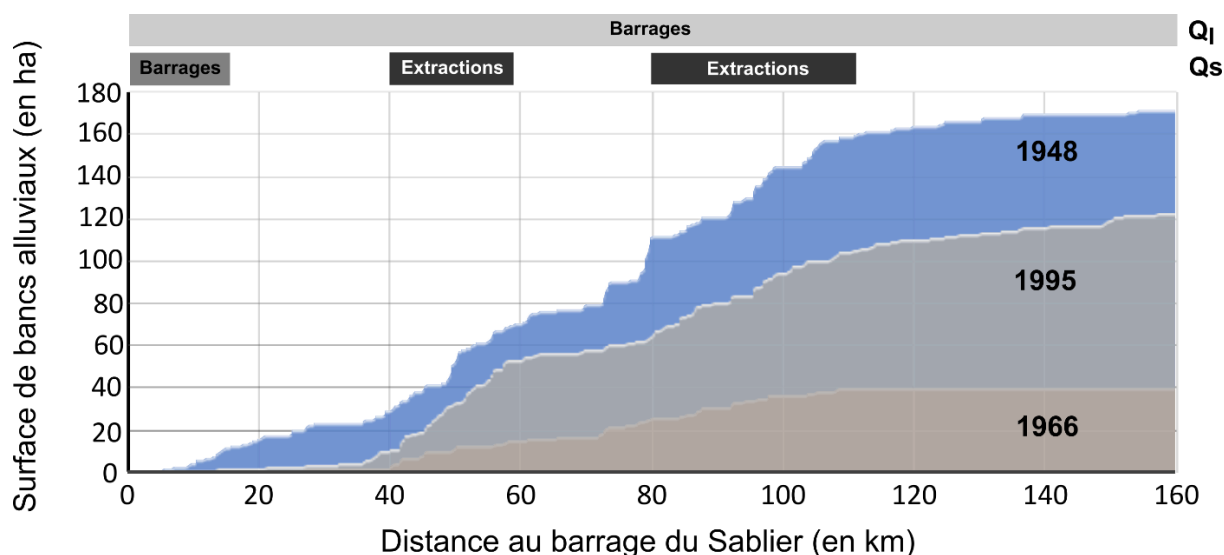


Figure 26. Patron amont-aval des surfaces de bancs alluviaux en 1948, 1966 et 1995 avec (1) pertes associées à la régulation des crues par les barrages (Q_l entre 1948-1966 et 1995-2012) et à la propagation des déficits sédimentaires (Q_s) amont (barrages) et aval (extractions) ; (2) gains (entre 1966 et 1995) induits par les ajustements de crues post-extractions (entre 1984 et 1994).

En effet, les 122 hectares de surface de bancs alluviaux nouvellement créée par les crues n'ont donc pas perduré. Dès 2012, ces surfaces étaient déjà quasi-intégralement végétalisées (comme en amont de l'extraction du Roc ; Figure 12 en 3.1.3.). Cette végétalisation des bancs alluviaux enregistrée entre 1995 et 2012 est intervenue, comme entre 1948 et 1966, suite à l'absence de crue sur une période supérieure à 3 ans (Figure 27).

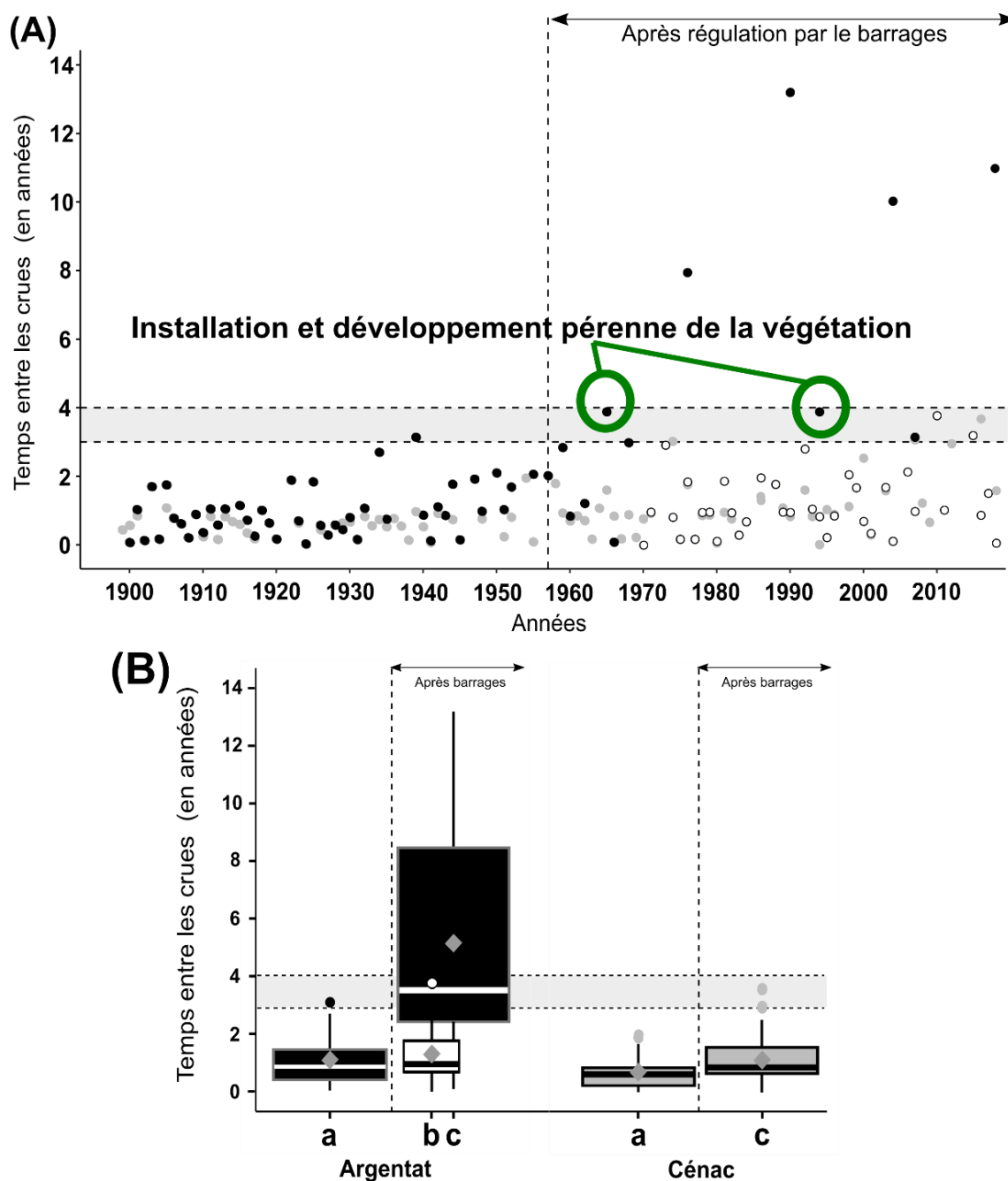


Figure 27. Temps entre deux crues (A) Points noirs : d'après les QMJ (débits moyens journaliers) enregistrés à la station d'Argentat ; Points gris : d'après les QMJ (débits moyens journaliers) enregistrés à la station de Cénac ; Points blancs avec un contour noir : débits naturels reconstitués à la station d'Argentat (B) par période : (a) 1900-1957 (d'après les QMJ avant barrages), (b) 1969-2018 (d'après les QMJ naturels reconstitués), et (c) 1957-2018 (d'après les QMJ après barrages) avec en zone grisée entre les lignes en pointillés le temps hypothétique au-delà duquel la végétation est installée de manière pérenne.

4. ATTEINDRE UN FONCTIONNEMENT HYDROSEDIMENTAIRE OPTIMAL : **POUR QUELS OBJECTIFS ? QUELLES ACTIONS ENTREPRENDRE** **POUR LES ATTEINDRE ?**

Depuis maintenant plus de 40 ans, de nombreuses études ont contribué à améliorer les connaissances sur le bassin versant de la rivière Dordogne. Elles ont tout d'abord permis (1) d'appréhender l'ampleur des dégradations hydrobiologiques et écologiques enregistrées (Pustelnik, 1982 et 1987 ; BIOTEC, 2011 et 2012, ECOGEA, 2000-2020), puis (2) de mettre en place des mesures pour améliorer la migration piscicole (passes à poissons sur les ouvrages du Bergeracois notamment) et d'atténuations des effets des usines hydroélectriques vis-à-vis des fluctuations hydrologiques (mitigations des éclusées), ceci avec des gains écologiques significatifs (Larinier et al., 2020 ; Ladoux, 2021).

Désormais, nous connaissons l'origine et l'ampleur des dégradations physiques enregistrées et persistantes, qui expliquent en partie certaines dégradations hydrobiologiques et écologiques constatées. Les seules actions menées jusqu'à aujourd'hui pour compenser et/ou atténuer cette dégradation physique (réhabilitations des frayères, reconnexion ou maintien des annexes fluviales ; EPIDOR, 2015) ne semblent pas suffire à améliorer de manière durable, pérenne et significative le fonctionnement hydrosédimentaire et le potentiel écologique, sociologique et économique associés à la rivière dans sa moyenne vallée (Boutault, 2020). Pour améliorer le fonctionnement hydrosédimentaire une stratégie de gestion « adaptée » et « adaptative » du milieu dégradé est donc indispensable.

Pour la gestion de la dégradation physique des rivières, les démarches de « restauration » ont dans un premier temps affiché une volonté de retour à un état avant altération. Depuis plusieurs années maintenant, cet affichage n'est plus

forcément de mise, parce qu'il dépend à la fois du degré de réversibilité des altérations, avec une prise en compte de l'évolution naturelle du milieu et, de la possibilité d'éviter ou réduire les impacts induits par les pressions humaines, pressions généralement liées à des besoins toujours d'actualité (Bravard, 2003 et Dufour, 2005).

Dans ce cadre, nous devons donc être en mesure de proposer une stratégie de gestion « adaptée » et « adaptative » vis-à-vis de l'état d'altération physique de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée en accord avec les besoins actuels.

Les altérations sont définies par deux composantes : (1) la **propagation des déficits sédimentaires** amont (barrages) et aval (extractions), dans un système qui depuis la régulation des crues par les barrages (2) tend sur l'ensemble de son linéaire à la **réduction et simplification** (chenalisation), tendance amplifiée par la mise en place de protections de berges sur un linéaire important, principalement pour protéger des terres agricoles et très localement certaines gravières à proximité du chenal.

La stratégie de gestion doit donc prendre en compte cette spatialisation des altérations et mettre en œuvre des actions adaptées à l'amont comme à l'aval.

Afin de déterminer les objectifs à atteindre et les actions à mener (à l'amont et à l'aval) pour améliorer le fonctionnement hydrosédimentaire de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée et son potentiel écologique, sociologique et économique associés, nous pouvons nous appuyer sur la séquence **Eviter-Réduire-Compenser** (ERC - Ministère de la transition écologique, 2021).

Cet outil d'action publique (ERC) vise à **concilier aménagement des territoires et préservation de l'environnement**. Son principe est que « *dans tout projet d'aménagement ou plan et programme, d'abord et surtout, (1) s'attacher à éviter*

toute atteinte à l'environnement, puis (2) réduire les impacts qui n'ont pas pu être évités et, en dernier recours, (3) compenser toute atteinte qui n'aurait pas pu être évitée ou réduite » (Figure 28).

La première étape de cette séquence, l'évitement, est aussi la plus importante. C'est en effet la seule qui permette de s'assurer de la non-dégradation de l'environnement. Elle est donc à privilégier. Malheureusement, dans le cas de la rivière Dordogne, comme pour de nombreux hydrosystèmes lourdement exploités par l'Homme avant l'introduction de la séquence ERC (loi relative à la protection de la nature de 1976, consolidée en 2016 par la loi de reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages et la réforme de l'évaluation environnementale), l'évitement n'a pas eu lieu et la loi n'offre pas de capacité de rétroaction en matière de compensations des pertes déjà enregistrées.

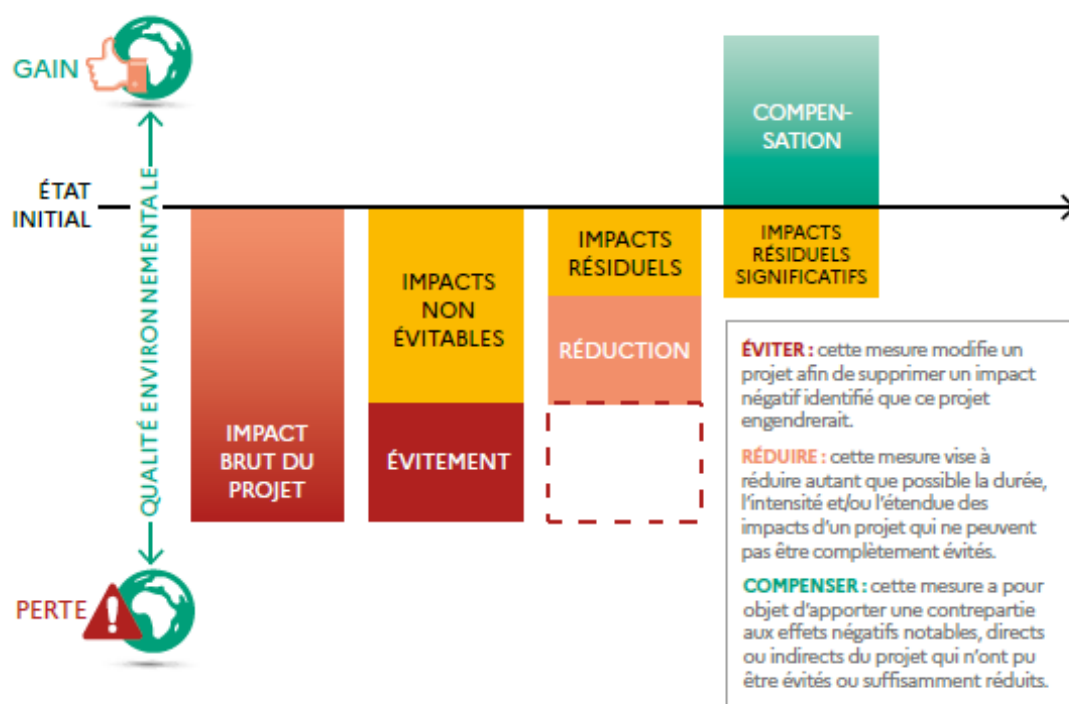


Figure 28. Bilan écologique de la séquence ERC (Ministère de la transition écologique, 2021).

En plus, nous ne disposons que depuis très récemment des connaissances scientifiques permettant d'appréhender les impacts potentiels des aménagements à l'origine de ces dégradations (géomorphologie fluviale – avancées majeures depuis les années 90 et Dordogne 1998-2020). Nous devons donc sur la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée, recenser les actions pour :

- **Eviter-Réduire-Compenser (ERC) les impacts actuels pour limiter voire réduire la propagation-accentuation des conséquences liées aux déficits sédimentaires amont, mais aussi, à la réduction et simplification du système** induite par la régulation hydrologique des barrages qui se trouve amplifiée par les déficits sédimentaires.
- Et si possible, **Eviter-Réduire (ER) les impacts passés (liés à ces mêmes dégradations)**, qui sont aujourd'hui à l'origine de la faible durabilité des actions de réduction-compensation jusqu'à présents menées.

Il s'agit alors, **dans le présent, de réduire suffisamment les impacts passés** de façon à **optimiser les actions de réductions-compensations actuellement faites en faveur de la biodiversité**, de façon à, **dans le futur (2) être en capacité d'éviter les impacts**, qui dans un contexte de **changement climatique global**, peuvent être de grandes ampleurs.

4.1. La gestion du déficit sédimentaire et de la regulation des crues, induits par les barrages sur le secteur amont

Depuis la mise en place de la chaine de barrages de la Dordogne amont, un déficit en sédiments grossiers, estimé à près de 300 000 m³ s'est développé sur les 12,5 premiers kilomètres en aval du barrage du Sablier. La progression de ce déficit sédimentaire a directement impacté la biologie, en diminuant peu à peu, par le biais de l'incision du lit, les surfaces de reproduction potentielles des espèces de poissons lithophiles, dont les grands salmonidés, mais aussi les surfaces d'habitat de nombreuses autres espèces aquatiques (certains macro-invertébrés notamment...) (en 3.3.1.).

Conjointement au développement de ce déficit sédimentaire, la régulation de l'hydrologie de crue, également causée par les barrages, a favorisé le développement de la végétation sur ce secteur (en 3.3.3.), accentuant la perte des surfaces de reproduction, de croissance et d'habitats des espèces lithophiles (bancs alluviaux et annexes fluviales : - 15 hectares Figure 8 en 3.1.2.).

La progression actuelle de ce déficit sédimentaire vers l'aval et le développement rapide de la végétation mettent donc aujourd'hui en péril la durabilité des actions de restaurations écologiques entreprises sur le secteur, dont la restauration des frayères et la reconnexion des annexes fluviales déconnectés (bras morts et bras secondaires ; EPIDOR, 2015).

Le but est donc ici de recenser les actions permettant au mieux (1) de résorber intégralement ou suffisamment le déficit sédimentaire amont causé par les barrages de manière à éviter les impacts passés-présents, et a minima, (2) de limiter sa propagation de manière à pérenniser les actions de compensation des pertes

écologiques déjà réalisées et en cours, de façon à être en mesure de réagir aux impacts futurs (changement climatique).

4.1.1. La suppression des barrages

Il paraît évident que pour « restaurer » réellement la continuité sédimentaire et hydrologique de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée, et donc, interrompre de manière définitive la progression du déficit sédimentaire amont et permettre à la rivière de se rééquilibrer elle-même et stopper sa réduction et sa simplification (en taille et diversité) sur l'ensemble de son linéaire, il faudrait rétablir les processus qui contrôlent sa dynamique, autrement dit, rétablir les apports sédimentaires de l'amont et l'hydrologie naturelle des crues (fréquences, durées).

Or, cela impliquerait la suppression des barrages. Cette solution a déjà été mise en œuvre sur d'autres rivières dans le monde pour des barrages de cette envergure, comme aux Etats-Unis par exemple, où des questions de sécurité liées au vieillissement des ouvrages se posaient (Lorang et Aggett, 2005 ; Randle et al., 2015).

Dans le cas de la Dordogne, les ouvrages ne présentent pour l'instant aucun problème de sécurité lié à leurs vieillissements, et nous avons affaire à une chaîne **d'aménagements hydroélectriques d'intérêt national** (de plusieurs centaines d'ouvrages au total ; Dordogne et affluents) qui constituent à l'heure actuelle 6 à 8% de la production hydraulique française d'électricité. Ils fonctionnent pour l'essentiel en éclusées (axe Dordogne, Maronne et Cère) et sont capables, en quelques minutes seulement d'injecter 1500 MW sur le réseau électrique national, participant ainsi activement à l'équilibre « offre-demande » du réseau. Ce sont donc **des aménagements stratégiques** à l'échelle nationale qui feront probablement partie

intégrante des futurs plans gouvernementaux de « Transition écologique » (Figure 29).



Figure 29. Plaquette ministérielle de la « Transition écologique ».

Dans ce contexte de maintien des aménagements hydroélectriques, et peut-être même de leurs optimisations futures, une stratégie visant, a minima à réduire leurs impacts présents (déficit sédimentaire amont et réduction-simplification sur l'ensemble du linéaire) et à venir (propagation-accentuation), s'impose. Cela conduit aussi à réduire, le plus possible, les impacts passés à l'origine de l'amplifications de certaines dégradations actuelles.

4.1.2. La création d'une continuité sédimentaire artificielle

Pour certaines rivières où, comme sur la Dordogne, la restauration « réelle » de la continuité sédimentaire n'est pas envisageable, il est parfois possible, pour éviter ou réduire la rupture du transit sédimentaire, de recréer artificiellement la connexion amont-aval. Ces actions peuvent être, du « draguage-transport », de la « transparence sédimentaire » ou encore du « by-passing sédimentaire » et constituent des leviers indispensables pour certains réservoirs qui ne sont pas

durablement viables (alluvionnement continu dans le cas du Plan d'Arem sur la Garonne amont par exemple), et pour les écosystèmes à l'aval (altération de la continuité sédimentaire). Malheureusement, et contrairement à d'autres contextes (« transparence sédimentaire » : Plan d'Arem sur la Garonne ; Bulteau et al, 2022), le contexte du bassin de la Dordogne amont ne semble pas favorable à ces solutions (Figure 30).

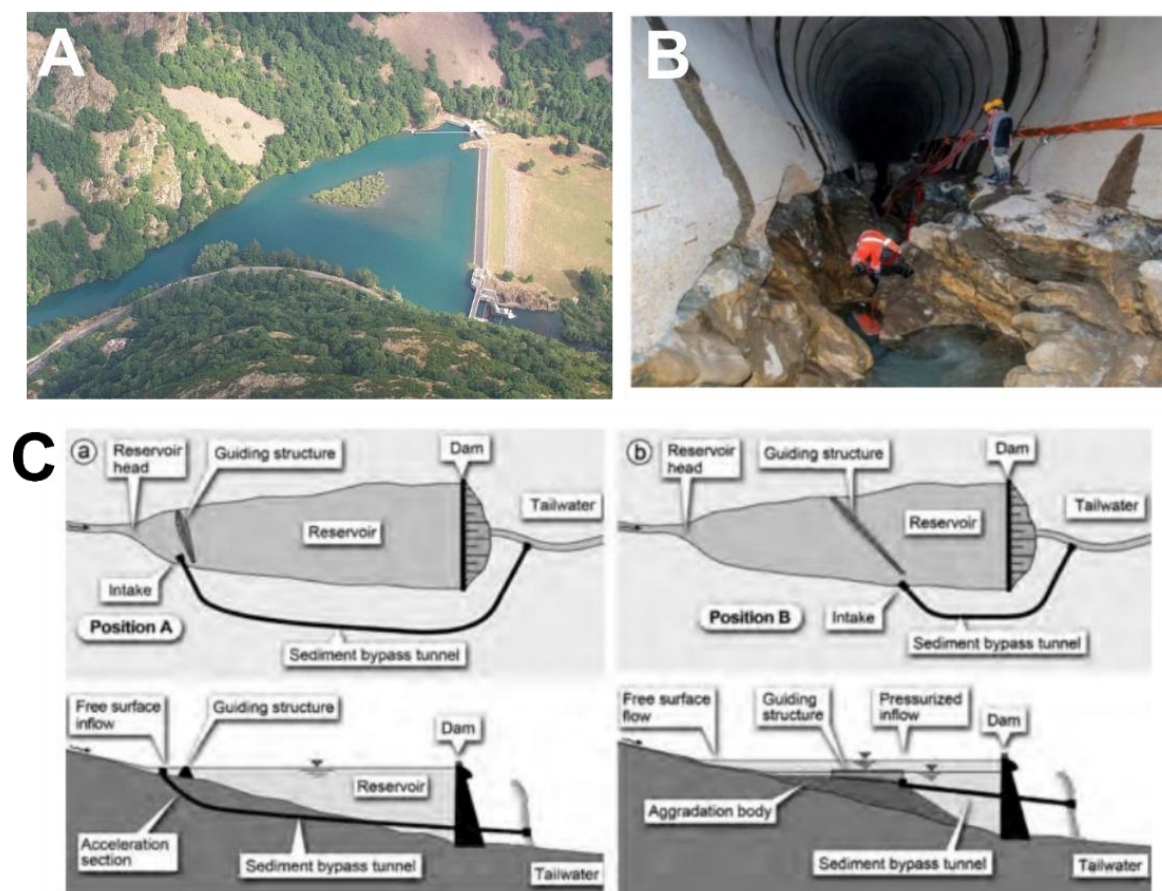


Figure 30. A – Le barrage du Plan d'Arem (Garonne amont) soumis à une gestion en « transparence sédimentaire », B – Galerie de dérivation en « by-passing » en Suisse et C – Schéma conceptuel de systèmes de « by-passing » (d'après Auel, 2018).

En effet, sur la Dordogne amont, le blocage du transit sédimentaire s'effectue à travers plusieurs longues retenues d'une longueur totale de 75 kilomètres. Les sédiments produits par le bassin versant (sables, graviers, galets) sont alors piégés dans plusieurs sites distants les uns des autres et relativement éloignés du tronçon en aval du dernier barrage (sur la Dordogne barrage du Sablier à Argentat).

La capacité à être transparent aux sédiments grossiers (supérieurs à 2 mm) en crue n'est pas atteignable sur de nombreux ouvrages de la Dordogne amont. Comme sur de nombreux aménagements, assez anciens maintenant, les vannes de chasse, n'ont pas été dimensionnées pour atteindre cet objectif.

Des « transparences sédimentaires » par vannes de chasse ne sont donc pas envisageables aujourd'hui sur la rivière Dordogne.

Les by-pass sédimentaires pourraient constituer une stratégie efficace pour dériver l'apport sédimentaire vers l'aval des réservoirs durant les épisodes de crue. Cependant, comme nous n'avons à l'heure actuelle que quelques recommandations sur leur conception, et aucun retour d'expérience sur des implantations en reprise d'œuvre sur de grands barrages et encore moins sur une succession d'ouvrages, il est difficile de statuer sur la possibilité concrète d'utiliser cette technique sur la rivière Dordogne.

Il semblerait en effet plus logique d'équiper tous les barrages de très grosses vannes de chasse permettant de rétablir partiellement le transit sédimentaire en écoulement torrentiel de crue, et donc, de moins réguler les épisodes morphogènes.

Ces mesures de gestion impliqueraient cependant des coûts importants (travaux, perte énergétique...) et provoqueraient le retour de certains événements de crue. Un travail approfondi des coûts-bénéfices et de l'acceptabilité sociale serait donc au préalable nécessaire à la mise en œuvre de ce type de solution.

Enfin, l'extraction des matériaux en queue de retenue (dragage) et leur transport jusqu'au secteur en aval du dernier ouvrage de la chaîne hydroélectrique, où s'exprime aujourd'hui le déficit sédimentaire, impliquerait la mise en œuvre d'une logistique colossale, qui au-delà des moyens techniques à mettre en œuvre

(dragage et transport) pourrait s'avérer contre-productive du point de vue environnemental, avec notamment un bilan carbone lourd. De plus, au-delà du coût financier (Tableau 3), et du bilan carbone induit par ce type d'opérations, des points de blocage persistent :

- 1) Les volumes utiles très importants des barrages de la Dordogne amont n'ont pour l'instant pas incité les exploitants à réaliser un suivi de leur remplissage sédimentaire, et selon Bunte (2004), la charge grossière ne devrait pas excéder 10 % du volume total de sédiments entrant. Il est même possible que les volumes de sédiments grossiers piégés dans les grandes retenues de l'axe Dordogne soient encore beaucoup plus faibles que ces 10 % attendus puisque les nombreux affluents alimentant ces grandes retenues sont eux aussi équipés de barrages (exemple : Tarentaine, Rhue, Triouzoune, Luzège...), qui bloquent sur les têtes de bassin le transit sédimentaire.
- 2) Si les volumes étaient toutefois présents et suffisants dans les retenues de l'axe Dordogne, il faudrait alors transporter sur plus d'une centaine de kilomètres de routes peu adaptées aux véhicules lourds, un volume moyen annuel d'au moins 4300 m³ de sédiments grossiers. Ce qui engendrerait la circulation de 280 camions d'un volume de 15 m³, soit près d'un camion par jour, pour un coût (direct : véhicule, personnel, carburant... + indirect : pollutions, insécurités...) estimé entre 13 400 et 56 700 euros par an simplement pour le transport (Tableau 3).

Tableau 3. Coût (prix en euros et HT) de l'extraction des sédiments piégés dans une retenue de barrage selon le matériel de draguage utilisé (modifié d'après Rollet 2007 ; Source : CNR, données fournies par l'entreprise Tournaud) et du transport des matériaux (UNPG, 2006 et donc, hors cout actuel des carburants).

	Drague de 60 000 m ³	Drague de 2000 m ³	Drague de 1200 m ³	Transport des sédiments entre 50 et 120 km
Prix au m ³	6,6	16,3	26,39	3.1 – 13,2
Coût pour 4 300 m ³	28 380	70 090	113 477	13 400 – 56 700

Le plus souvent, lorsque le rétablissement « réel » (par suppression des barrages) ou « artificiel » (par « draguage-transport », « transparence » ou « by-passing ») de la continuité sédimentaire n'est pas possible, comme c'est visiblement le cas sur la rivière Dordogne, des mesures de « réduction des impacts résiduels » sont alors envisagées. Ces mesures peuvent aller d'un accompagnement plus ou moins permanent à des interventions humaines directes ou indirectes beaucoup plus ponctuelles.

4.1.3. Accompagner par la revitalisation du système : « réactivation des débits morphogènes »

L'atténuation des déficits sédimentaires en aval des barrages peut dans certains cas passer par la reprise des matériaux stockés en plaine alluviale lors des crues. Cette méthode mise sur un accompagnement à faible coût, puisqu'elle ne nécessite que peu d'interventions humaines directes.

Pour ce type d'accompagnement, les actions à mettre en œuvre peuvent cependant varier et dépendent du contexte, avec (1) la suppression de la végétation ayant

colonisé la bande active suite à la régulation des crues par les barrages, pour permettre un accès aux stocks de sédiments grossiers sous-jacents lors des crues, hors habitat d'intérêt (sans quoi un arbitrage environnementale devra être fait), (2) la préservation ou la reconquête de l'espace de mobilité, avec la suppression des protections de berges pour que la rivière soit libre d'éroder sa plaine alluviale, et/ou encore, (3) la définition de la gamme de débit nécessaire pour redynamiser l'érosion des berges (Malavoi, 2006 ; Loire et al, 2021).

Or nous savons désormais que sur la Dordogne Corrézienne, où le déficit sédimentaire amont s'exprime :

- (1) La rivière n'a pas enregistré de changements majeurs depuis 1840 si ce n'est la déconnexion de certains bras vifs.
- (2) Les volumes de sédiments disponibles en plaine alluviale sont faibles (en 3.1.1.) en l'absence de surfaces importantes colonisées par la végétation et d'une vallée étroite.
- (3) Pour ce qui est de la préservation ou la reconquête de l'espace de mobilité, le fond de vallée est étroit sur le secteur de la Dordogne Corrézienne et la mobilité latérale de la rivière très limitée (en 3.2.2.).
- (4) De plus, en débits « naturels » (avant barrages : 1840-1948), la rivière n'enregistrait déjà pas une mobilité latérale très importante sur le secteur Argentat - Confluence avec la Cère (en 3.1.1.).
- (5) Enfin, un dernier levier, sur lequel il serait possible d'agir, serait de favoriser les apports sédimentaires des affluents présents sur le secteur. Malheureusement, aucun affluent ne semble actuellement apporter de charge sédimentaire suffisante. Les apports de la Souvigne en rive droite sont relativement faibles, et la Maronne, affluent en rive gauche, est, elle aussi

équipée de grands barrages et retenues, et semble également présenter un déficit sédimentaire important (Boutault, 2020 et EPIDOR, 2022).

Nous pouvons donc à présent affirmer, avec quasi-certitude que **l'activation « des débits morphogènes », n'est pas, à l'heure actuelle, adaptée** à la gestion du déficit sédimentaire présent sur **la Dordogne amont**. Il serait même « contre-productif » d'augmenter la fréquence et/ou l'intensité des épisodes morphogènes sans avoir préalablement solutionné intégralement la continuité sédimentaire amont-aval (à l'étude avec le programme LIFE Rivière Dordogne), puisque l'augmentation des crues, et donc de la capacité de transport de la rivière, accélérerait considérablement la propagation de ce déficit vers l'aval. Déficit qui progresse en moyenne, d'environ 25 à 30 mètres par jour quand le débit est supérieur à 330 m³/s à Brivezac (Boutault, 2020).

La rivière Dordogne n'est donc actuellement pas en mesure d'assurer seule (après suppression des barrages), ou simplement accompagnée (« draguage-transport », « transparence », « by-passing » ou « revitalisation »), la réduction de la propagation du déficit sédimentaire amont (induit par les barrages) et de la chenalisation de son lit sur l'ensemble de son linéaire. **L'intervention humaine directe ou indirecte par injections sédimentaires et reconnexion et/ou maintien des annexes fluviales** semble, à l'heure actuelle, le seul moyen dont nous disposons pour **réduire ou compenser** la dégradation physique du milieu.

4.1.4. Les injections sédimentaires : unique levier dont nous disposons actuellement pour la gestion du déficit sédimentaire amont

Pour introduire des sédiments grossiers en rivières (supérieurs à 2 mm), plusieurs techniques existent, et le choix dépend à la fois des moyens mis à disposition, mais aussi des objectifs initialement fixés (Bunte, 2004).

Sur la Dordogne amont, quels objectifs pouvons-nous concrètement nous fixer vis-à-vis de la gestion de ce déficit sédimentaire ? Quel est donc le potentiel de restauration ? Et à l'heure actuelle, de quels moyens disposons-nous, pour, à court et moyen terme réduire-compenser le déficit par injections, et à long terme éviter sa progression ?

4.1.4.1. Résorber intégralement le « déficit sédimentaire amont » présent, et prévenir celui à venir

L'injection de 300 000 m³ de sédiments grossiers, et la récréation de formes fluviales par rehaussement du matelas alluvial est techniquement possible. Sur le Rhin, depuis 1978, une moyenne de 170 000 m³ de sédiments par an est injectée (Kuhl, 1992), et sur le Drac, plus 450 000 m³ ont été utilisés pour recréer un matelas alluvial sur un linéaire de 3,6 kilomètres (Brousse et al., 2020 ; Figure 31).

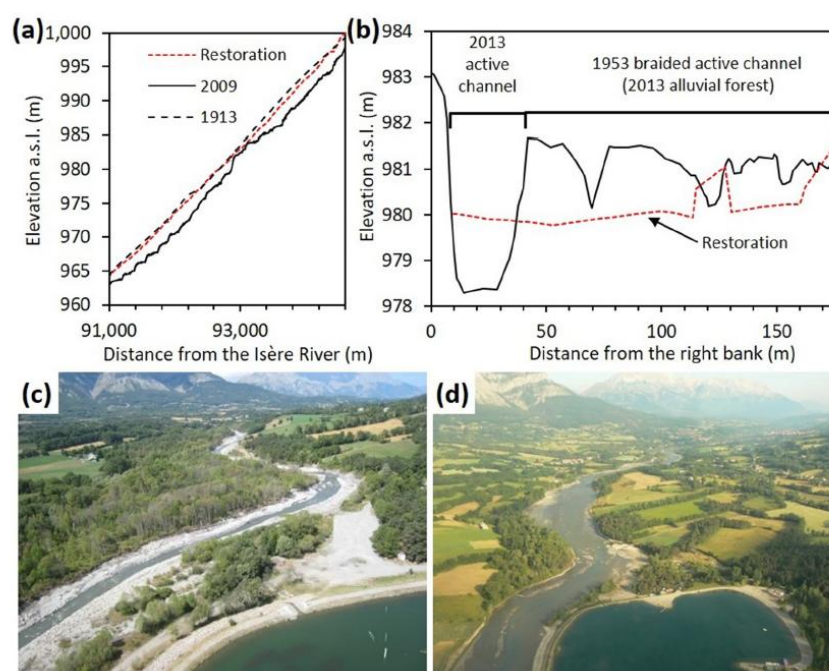


Figure 31. Réhabilitation morphologique de la rivière Drac par injections sédimentaires et création d'un matelas alluvial présentant un style en tresses : (a) profil en long de l'élévation du fond du lit avant (1913 et 2009) et après restauration, (b) profil en travers de l'élévation du fond du lit avant et après restauration, et photographies (c) avant et (d) après restauration (d'après Brousse et al., 2020).

Cette solution serait évidemment « idéale » sur la Dordogne, puisqu'elle permettrait de résorber intégralement la dégradation enregistrée depuis la mise en service des barrages. De plus, elle n'impliquerait par la suite, qu'un simple suivi hydrologique, sédimentaire et topographique de façon à adapter les volumes entrants à la capacité de transport de la rivière en aval direct du barrage du Sablier en réalisant des « injections passives ».

Ces injections « passives » serviront de fond de roulement durant les épisodes de crues pour alimenter la rivière en aval et lui permettront de créer elle-même des surfaces favorables à la faune aquatique. Les sédiments seraient placés dans ou à proximité du chenal (injections « passives » - Figure 32), et les crues remobiliseraient en partie, ou intégralement ces volumes déposés pour les redistribuer. Cette redistribution des sédiments contribuera à rétablir les processus fluviaux à l'origine du maintien des formes fluviales (bancs alluviaux et bras vifs) disparues depuis la régulation hydrosédimentaire induite par les barrages sur la Dordogne Corrézienne (Viparelli et al., 2011 ; Gaeuman, 2013 et 2014).

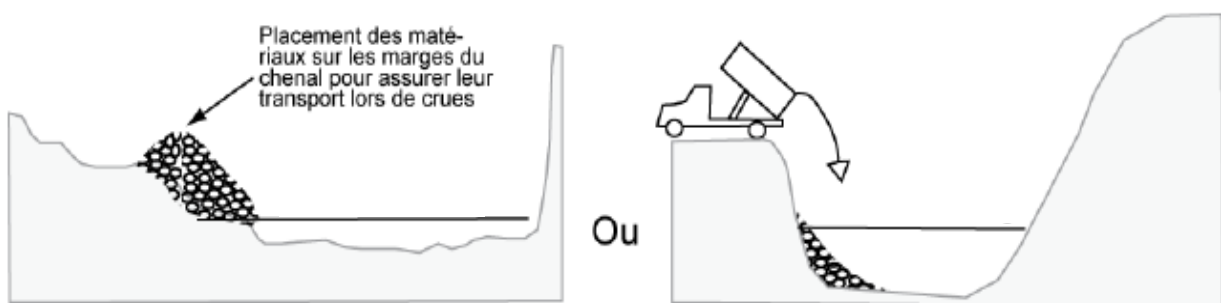


Figure 32. Techniques d'injections sédimentaires « passives » alimentant un fond de roulement nécessaire au maintien des sites réhabilités par injections ciblées (modifié d'après McBain et Trush, 2003).

Cependant, ce type d'approche (« injections passives ») est encore très exploratoire et nécessite un examen préalable et postérieur au projet.

De plus, la capacité de transport des rivières variant dans le temps et l'espace selon les caractéristiques physiques du milieu et l'hydrologie enregistrée, les volumes à introduire doivent suivre ces fluctuations naturelles (Bunte, 2004). Un retour d'expérience d'injections « passives », récemment réalisé sur la Trinity River aux Etats-Unis, mentionne d'ailleurs cette problématique d'adaptation (Gaeuman et al., 2017 ; Gaeuman et Boyce, 2018).

Suite à des injections « passives », un bilan sédimentaire a été établi **à partir des changements topographiques de la rivière**. Ce bilan indique le passage d'une augmentation du relief du lit entre 2009 et 2011 à une diminution de moindre proportion entre 2011 et 2017. Si l'exhaussement du lit observé entre 2009 et 2011 est associé à une augmentation des surfaces favorables à la vie des salmonidés juvéniles, l'incision observée entre 2011 et 2017 est, quant à elle, associée à une diminution de ces surfaces (Figure 33). Le croisement de ces informations avec les volumes injectés en amont du tronçon suivi, semble conforme à l'hypothèse selon laquelle, le relief maximal du lit, et donc, les niveaux élevés de diversité de l'habitat physique, seraient associés à des taux d'approvisionnement en sédiments adaptés à la croissance des bancs alluviaux, sans toutefois que ces apports ne surchargent la capacité de transport locale de la rivière (Gaeuman et Boyce, 2018). Malgré la possibilité d'optimisation des volumes de sédiments injectés, puisqu'une légère diminution des surfaces favorables à l'habitat du saumon est constatée, notons la réussite globale de ce type d'intervention, car même avec cette diminution modérée d'habitats, les surfaces ont très nettement augmenté depuis 2009 (Figure 33A).

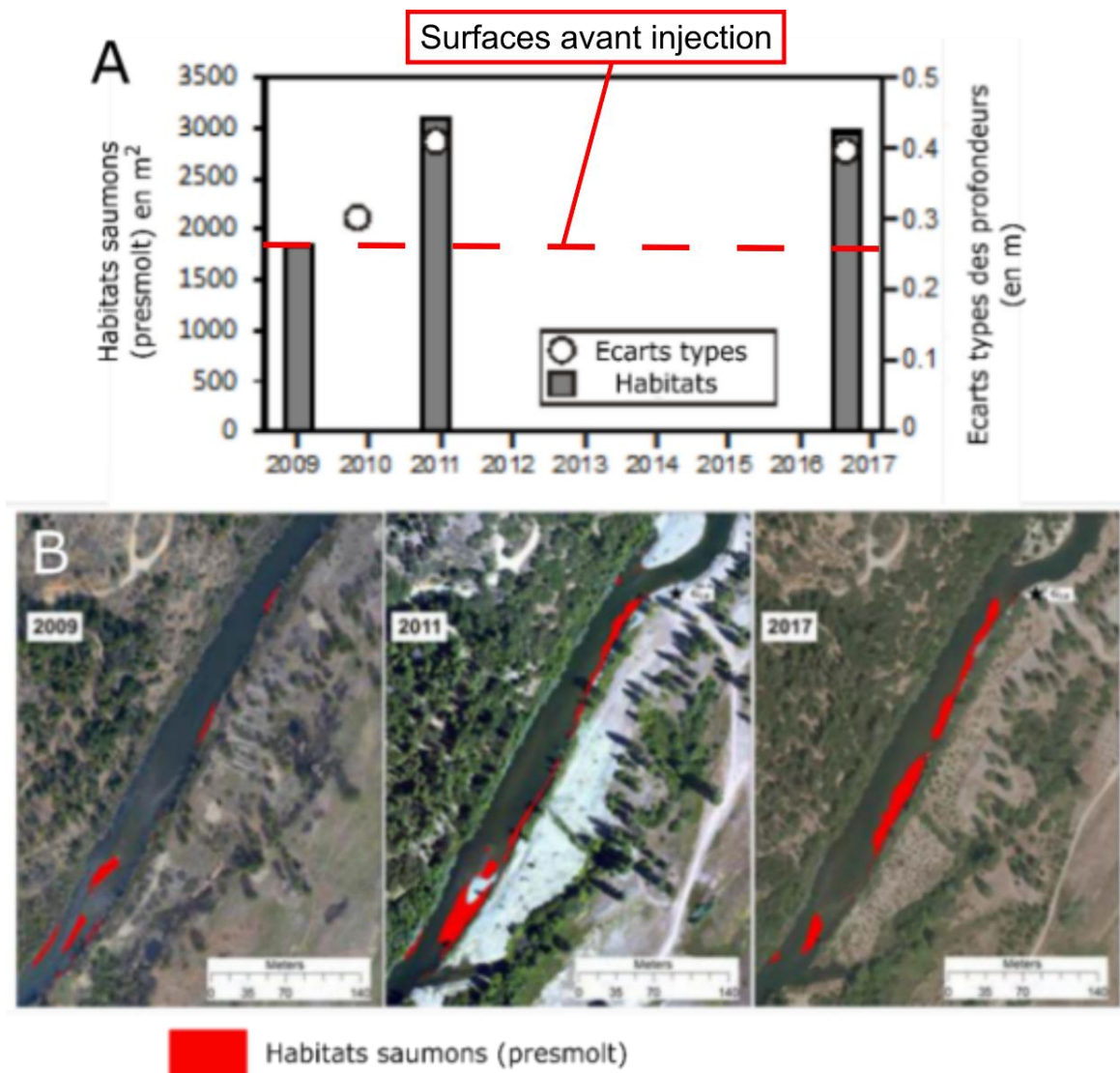


Figure 33. A – Surfaces d’habitats des saumons (Pré-smolts : Tacons) cartographiées à 12,7 m³/s et écarts-types des profondeurs avant (2009) et après (2011 et 2017) injections de graviers sur la Trinity River ; B – Répartition spatiale de ces surfaces (en 2009, 2011 et 2017) (d’après Gaeuman et Boyce, 2018).

Il s’agit donc tout d’abord d’estimer le plus finement possible les volumes de sédiments que la rivière est en capacité de transporter, et les distances sur lesquelles elle redistribuera ces volumes. Pour cela, nous pourrions nous appuyer sur le suivi de la charge de fond débuté sur la Dordogne en 2018. Mais nous ne disposons actuellement que d’un seul retour post-crue (Boutault, 2020). Il est alors aujourd’hui difficile de prévoir les distances et volumes transportés en fonction du débit, comme par exemple sur le Rhin (Piégay et al, 2016 ; Figure 34).

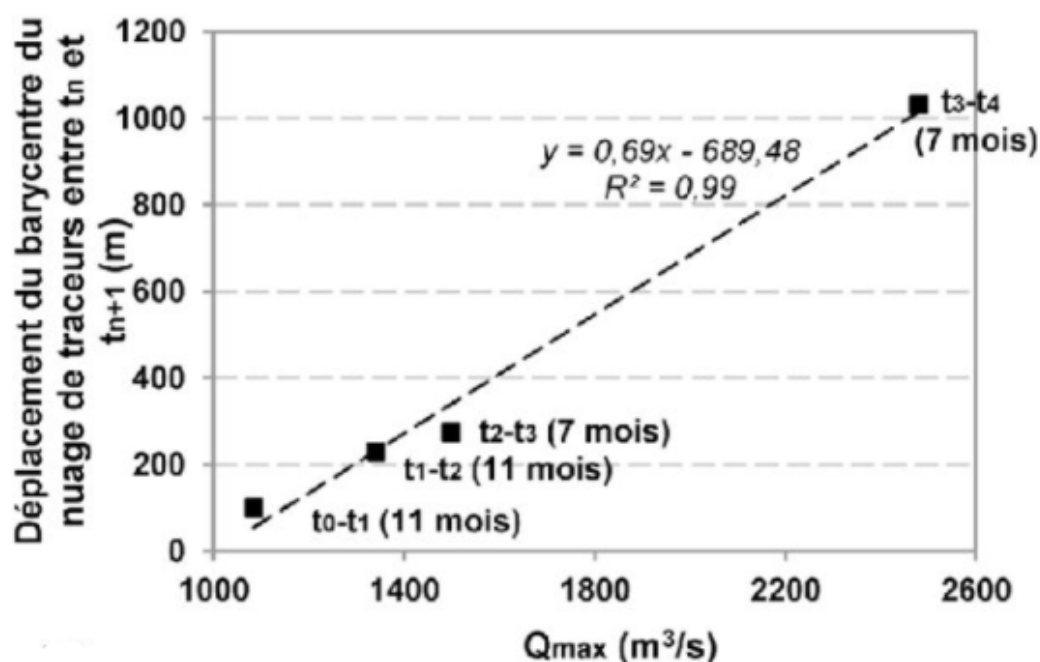


Figure 34. Déplacement du barycentre du nuage de traceurs en fonction du débit maximal enregistré lors des crues suivis sur le Rhin (d'après Piégay et al., 2016).

Ces données permettront de déterminer les distances et volumes charriés par la rivière et donc les besoins adaptés aux « injections passives ».

En résorbant intégralement le déficit puis en réalisant des injections passives adaptées à la capacité de transport de la rivière, nous serions ainsi en mesure d'éviter les dégradations à venir dans un contexte de « changement climatique » global relativement inquiétant.

A partir des premiers éléments des suivis du transport sédimentaire à compléter, et d'une projection des événements hydrologiques à venir, basé sur les prévisions du GIEC, nous devrions être en mesure d'établir des scénarii robustes de la propagation potentielle du déficit à venir.

Ce n'est qu'à partir du moment où le « déficit sédimentaire amont », présent et à venir, sera solutionné que nous pourrions envisager une « réactivation des débits morphogènes » permettant de remédier aux impacts de la régulation des crues par

les barrages sur l'ensemble de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée (pertes de bancs alluviaux, déconnexions des annexes fluviales et chenalisation).

Néanmoins, il faut avoir à l'esprit que, sur la rivière Drac, d'importants risques de destructions d'infrastructures (pont, routes...) et d'approvisionnements en eau potable étaient recensés, - ce qui n'est pour le moment pas le cas sur la Dordogne -. Ces risques ont justifié une dépense de près de 4,8 millions d'euros pour recréer un matelas alluvial et lutter contre l'incision du lit. De plus, cette intervention sur le Drac a concerné un linéaire de seulement 3,6 kilomètres sur une largeur d'environ 200 mètres et les matériaux ont été prélevés dans la plaine alluviale sur site (*Réhabilitation morphologique de la rivière Drac par injections sédimentaires et recréation d'un matelas alluvial présentant un style en tresses : (a) profil en long de l'élévation du fond du lit avant (1913 et 2009) et après restauration, (b) profil en travers de l'élévation du fond du lit avant et après restauration, et photographies (c) avant et (d) après restauration (d'après Brousse et al., 2020).*Figure 31). Sur la rivière Dordogne en Corrèze, les enjeux menacés par l'incision du lit ne sont pas des infrastructures humaines, le linéaire concerné par le « déficit sédimentaire amont » est plus important (environ 12 kilomètres en 3.3.3.) et les matériaux ne sont guère disponibles sur site.

Outre le fait que l'aspect financier d'une telle action (recréer un matelas alluvial sur 12 km) ne semble pas possible du fait de l'absence d'enjeux pour la protection des biens et des personnes sur la Dordogne amont, nous sommes donc dans l'attente des résultats de l'étude A6 du programme LIFE Rivière Dordogne portant sur les sources d'approvisionnement en granulats pour déterminer les possibilités concrètes des projets de restauration.

La poursuite des suivis sur le transport solide de la Dordogne et la mise en œuvre d'un diagnostic sur la Maronne contribueraient également à une amélioration des

connaissances, permettant ensuite de mieux calibrer les solutions dans le cadre défini ici, à savoir réduire ou compenser intégralement le « déficit sédimentaire amont », les pertes écologiques associées et éviter sa propagation vers l'aval.

4.1.4.2. Limiter la propagation du « déficit sédimentaire amont »

Dans le cas où il ne serait pas possible de résorber intégralement le déficit sédimentaire induit par les barrages et donc de réactiver « les débits morphogènes » (diminution de l'hydrologie naturelle de crue à l'origine de l'amplification de la chenalisation), **il faut a minima limiter sa propagation.**

Pour cela nous pourrions simplement réaliser des « injections passives » à l'aval du Sablier (Figure 32 en 4.1.4.1.).

A titre d'exemple, le prix moyen du m³ de sédiments grossiers, calculé à partir de plusieurs interventions réalisées à travers le monde, est de l'ordre d'une vingtaine d'euros (Tableau 4). En se référant à ce prix moyen, il serait alors possible de stopper intégralement **la propagation** du déficit sédimentaire amont par injections passives (4 300 m³ à injecter en moyenne par an calculé sur les 30 dernières années) avec une dépense annuelle d'environ 100 000 euros.

Tableau 4. Prix au m³ des sédiments injectés sur différentes rivières et bassins à travers le monde.

Années	Rivières	Nombre d'actions	Volumes (en m ³)	Cout total TTC	Cout au m ³ (en euros)
1972-2000	Trinity River	12	27 851	347 765 \$ US	10.6
1998	Middle Creek	1	141	3 835 \$ US	23.1
-	Sacramento	13	205 323	3 905 000 \$ US	16.2
1994-1999	Stanislanus	6	25 327	1 420 240 \$ US	47.7
1978-2005	Rhin	27	4 590 000	135 000 000 €	29.4
1997	Rhône	1	22 000	60 000 €	2.7

Cependant, les mêmes points de blocages (approvisionnement en granulats et besoins en connaissances) nous limitent. De plus, si nous ne résorbons pas au préalable intégralement le déficit sédimentaire enregistré depuis l'installation des barrages (environ 300 000 m³), cette action n'aura pas d'effet positif immédiat.

En effet, pour à la fois maintenir durablement les surfaces de frayères déjà recrées par « injections ciblées », et augmenter la durabilité de celles prévues, il faut que la rivière soit en capacité d'apporter continuellement des sédiments sur les surfaces réhabilitées et/ou recréer elle-même des surfaces favorables à la reproduction des grands salmonidés sur l'ensemble du tronçon concerné (Argentat-Cère : 40 kilomètres et près de 95 % des frayères observés depuis 1999 ; Figure 21 en 3.3.1.).

Par simple « injection passive » en aval du barrage du Sablier (soit à l'amont du tronçon où s'exprime le déficit sédimentaire et où les frayères sont un enjeu majeur), il faudrait, avec l'hydrologie actuelle (calculée à partir des 30 dernières années), probablement 10 à 15 ans avant que le bénéfice produit (que la rivière soit en capacité de recréer elle-même des surfaces favorables à la fraie) n'atteigne

l'ensemble du linéaire (possibilité d'affiner cet ordre de grandeur par amélioration des connaissances sur le transport solide et retour modélisations).

Afin d'atteindre l'objectif d'une population de saumon « auto-suffisante » sur le bassin de la Dordogne, mais aussi favoriser la reproduction, la croissance et l'habitat des autres poissons migrateurs et espèces lithophiles sédentaires, et donc s'en tenir à la première directive de la DCE, qui consiste a minima à la préservation de la biodiversité existante (DCE, 2000), le maintien d'une capacité d'accueil suffisante pour la fraie, la croissance et l'habitat de ces poissons lithophile est primordiale.

Il n'est donc pas envisageable de laisser la rivière faire le travail, seule, durant ces 15 ans, car cela pourrait accentuer les pertes écologiques liées à la dégradation des surfaces et déconnexions des annexes résiduelles sur un linaire important.

4.1.4.3. Vers une solution hybride pour limiter la propagation du déficit sédimentaire amont tout en préservant l'existant

Pour compenser les pertes écologiques liées au déficit sédimentaire amont induit par les barrages, des actions de réhabilitations des frayères par « injections ciblées » ont déjà eu lieu, et de nouvelles interventions de ce type sont envisagées (ECOGEA, 2015 et EPIDOR, 2015). Ces « injections ciblées » consistent généralement en la recreation de formes fluviales, et elles permettent un fonctionnement écologique immédiat (Figure 35).

A) Re-création des formes fluviales

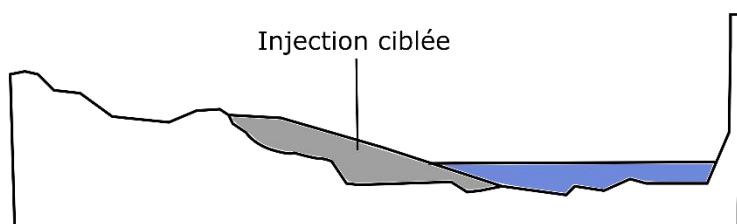


Figure 35. A - Technique d'injections ciblées pour améliorer la qualité du substrat et/ou agrandir les surfaces résiduelles, ou encore, recrer totalement des formes fluviales adaptées à la fraie des poissons lithophiles (modifié d'après McBain et Trush, 2003), et exemples de ce type d'intervention sur la rivière Dordogne avec en B – le site du Chambon (2020), C – Le site du Malpas (2017) et D – le site DTG (2017).

Cette solution a certes l'avantage d'offrir de nouvelles surfaces directement biodisponibles, mais l'équilibre à trouver est précaire. En effet, la réussite de ce type d'opérations repose essentiellement sur le maintien dans le temps de ces surfaces réhabilitées. Or, si la mobilité de la charge de fond injectée est insuffisante, un colmatage des sédiments et le développement de la végétation aquatique vont contribuer à réduire l'activité de frai des populations piscicoles sur ces zones (Chapman, 1988). Il faut alors réintervenir mécaniquement pour « nettoyer » ces frayères et leur rendre leur pleine fonctionnalité. Au contraire, si la mobilité de la charge de fond, pourtant nécessaire au nettoyage des frayères est trop importante, les sédiments vont être entraînés, et sur ce type de secteur présentant un déficit sédimentaire, le départ de ces métiers injectés ne sera pas comblé.

Dans certains cas, la mise en place de structures de rétention en amont (ou en aval) de l'injection, comme des débris ligneux, ou encore des gros blocs peuvent, par modification de la dynamique hydraulique, ralentir l'érosion de ces surfaces (cependant cela favorisera leur colmatage !), mais en aucun cas empêcher totalement leurs disparitions programmées (Wheaton et al., 2004).

Ce type d'injections ciblées, sans, et avec présence de gros blocs a déjà été tenté sur la Dordogne par EPIDOR (Tableau 5). Le suivi du devenir de ces injections en fonction de l'hydrologie est assuré par le pôle écohydraulique de l'OFB (Office français de la biodiversité) et EPIDOR pour certains sites, et le retour biologique, par ECOGEA pour l'association MIGADO. Dans le cadre du suivi de la fraie des grands salmonidés sur le bassin de la Dordogne, une synthèse des différents retours d'expériences serait d'ailleurs à conduire.

Sur la Dordogne Corrézienne, où s'exprime le déficit sédimentaire induit par les barrages, ce sont donc 9 actions d'injections ciblées ou de scarifications qui ont déjà été réalisées entre 2016 et 2020, Ces interventions ont contribué à faire entrer 905 m³ de sédiments grossiers (supérieurs à 2mm) dans le chenal actif de la rivière. Ces opérations ont ainsi représenté un gain de surfaces potentielles de reproduction pour les grands salmonidés d'environ 6650 m², et **331 frayères** ont été construites par les grands salmonidés sur ces différents sites depuis les travaux d'injections (Tableau 5).

Tableau 5. Sites concernés par des actions d'apports sédimentaires ciblés ou de scarification visant à augmenter les surfaces potentielles de reproduction des grands salmonidés sur la Dordogne amont (données EPIDOR et ECOGEA).

Site	Type de travaux	Surface (en m ²)	Volume (en m ³)	Année de réalisation	Retour biologique (nombre de frayères sur site depuis la date des travaux)
DTG	Apports	1 200	300	2017	115
Lycée Argentat	Scarification	350	-	2016	173
Confluence Souvigne amont RG	Apports	500	125	2019	12
Confluence Souvigne aval RD	Scarification	300	-	2020	0
Confluence Souvigne aval RG	Scarification	800	-	2020	5
Camping Malpas RD	Apports	200	50	2017	14
Camping Chambon RD	Apports	2400	440	2020	9
Aval Saulou	Apports	500	90	2020	1
Recoudier RG	Apports	400	100	2017	2

Malheureusement, comme énoncé précédemment, la durabilité de la fonctionnalité biologique de ce type d'opération peut s'avérer courte (entre 0 et plus de 4 années), et dépend de la fréquence et de l'intensité des épisodes morphogènes. Ainsi, les apports réalisés sur les sites du Malpas et de Recoudier ont, quasi immédiatement après leur mise en place été emportés par une crue, alors qu'ils n'étaient guère stabilisés, tandis que ceux de la DTG restent encore fonctionnels en 2021.

Pour ce type d'intervention, le mouvement des matériaux introduit dans la rivière lors d'injections ciblées est donc à la fois, indispensable pour le maintien de la qualité des frayères, mais aussi problématique, puisque qu'il fait apparaître une nouvelle dégradation sur des sites réhabilités (Gilvear, 1999 et Gaeuman, 2012). Dans le but d'éviter de reproduire des interventions sur des sites présentant une durabilité limitée et des gains relativement faibles, un suivi topographique et un suivi de la charge de

fond devront être, en plus des suivis hydrauliques et biologiques, réalisé sur les prochaines « injections ciblées ».

De plus, une stratégie à plus large échelle permettant un renouvellement des sédiments par la rivière elle-même doit être envisagée (Wheaton et al., 2004) : « injections passives ».

A l'image des « injections ciblées » qui visent à compenser en préservant l'existant, il faut également maintenir les annexes fluviales (principalement des bras vifs sur le secteur corrézien de la Dordogne en aval du Sablier) menacées de déconnexion par la propagation du déficit sédimentaire, l'incision et le développement de la végétation induite par la réduction des crues.

Au cours de la dernière décennie, de nombreuses actions de maintien et/ou de reconnexion de ces annexes fluviales ont été menés par EPIDOR, comme sur le Bras du Chambon ou encore celui de Champagne (EPIDOR, 2015 ; Figure 36).



Figure 36. Exemple de travaux sur les annexes fluviales (bras vifs) réalisés par EPIDOR sur la rivière Dordogne sur le secteur amont (A) Bras du Chambon et (B) Bras de Champagne.

L'évolution de certaines de ces annexes, leurs plus-values biologiques sont suivies tous les ans dans le cadre de la veille écologique de la Dordogne, et les résultats de ces suivis partiels indiquent qu'il est probable qu'il faille, à des échéances plus ou moins longues, ou plus ou moins courtes, réintervenir ponctuellement sur certains sites, pour que ces annexes remplissent à nouveau leur rôle (par exemple nouvelle intervention programmée sur le bras du Chambon en 2022, soit 14 ans après la précédente intervention sur site).

Pour augmenter la durabilité de ces interventions et limiter le plus possible les interventions directes en rivière (couteuses et aux impacts environnementaux potentiellement importants : engins de chantiers dans le lit de la rivière), des injections « passives » pourraient être réalisées en amont des tronçons concernés

par les « injections ciblées » et la reconnexion des annexes fluviales. Ces injections « passives » serviront, comme dans le cas de celles réalisées après chaque crue en aval du barrage du Sablier (en 4.1.4.1.), de fond de roulement pour limiter l'incision et alimenter en granulométrie favorable les surfaces d'injections « ciblées » situées en aval, mais aussi réduire la déconnexion des annexes fluviales, qui peuvent alors, par reconnexion mécanique, présenter des durabilités relativement convenables (14 ans ou plus).

Les sédiments seraient placés dans ou à proximité du chenal (injections « passives » - Figure 32 en 4.1.4.1.) sur plusieurs sites répartis sur l'ensemble du tronçon Argentat-Confluence avec la Cère, et les crues remobiliseraient en partie, ou intégralement ces volumes déposés pour les redistribuer.

Afin de déterminer les sites les plus propices à ces injections passives des besoins en connaissances sur le transport solide, une modélisation et de l'acquisition foncière sont identifiés.

4.1.5. Les points de blocages dans la gestion des impacts hydrosédimentaires liés aux barrages sur le secteur amont de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée

La problématique actuelle pour l'atteinte d'une gestion « adaptée » et « adaptative » du déficit sédimentaire amont sur la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée tourne autour :

- (1) des moyens juridiques, techniques et financiers à mettre en œuvre pour Compenser les impacts hydrosédimentaires imputables aux barrages, et principalement sur la disponibilité et le prix des matériaux qu'il serait possible

d'injecter (absence de carrière en activité sur le bassin pour les injections sédimentaires) ;

(2) des besoins en connaissances supplémentaires concernant le transport solide de la rivière sur ce secteur (capacité de transport dans le chenal et contribution de la Maronne). Il faudrait également poursuivre les suivis biologiques (chenal et annexes fluviales) et hydrosédimentaire (annexes fluviales) et élaborer une synthèse de ces suivis pour évaluer le bénéfice des actions restaurations-compensation déjà menées.

L'étude sur l'approvisionnement actuellement en cours avec le programme LIFE Rivière Dordogne, piloté par l'Etablissement Public du Bassin de la Dordogne (EPIDOR), devrait en partie solutionner la question de la disponibilité des matériaux.

Concernant les besoins en connaissances supplémentaires, une première expertise hydrosédimentaire a été réalisée sur la rivière Maronne en aval du barrage de HautePAGE, mais le véritable diagnostic reste à faire. Sur la Dordogne, le suivi du transport solide (mobilité des galets par traceurs RFID) a démarré en 2018. Les premiers résultats figurent dans Boutault, 2020. Mais les traceurs sont toujours en place et mériteraient d'autres suivis, après d'autres événements hydrologiques, pour consolider les résultats et rentabiliser les investissements humains et financiers pour équiper plusieurs sites (des campagnes ont été réalisées en 2021 mais restent à exploiter).

Dans un futur proche donc, nous aurons l'ensemble des éléments pour choisir en connaissance de causes parmi les différentes solutions proposées ici (dragage-transport, injections ciblées, injections passives, connexion-maintenance des annexes fluviales, un mix de différentes solutions...). Nous pourrions ainsi, mettre en place la

stratégie la plus adaptée, et financièrement la plus supportable pour les acteurs du bassin, pour que la rivière tende vers un nouvel équilibre. Equilibre qui, à long terme, favorisera la biodiversité sur cette partie essentiellement corrézienne de la rivière Dordogne en aval du barrage du Sablier (frayères des poissons lithophiles et des emblématiques Saumon, Truite et Ombre et annexes fluviales), et ce, tout en continuant en amont de produire de l'énergie hydroélectrique, stratégique au plan national pour l'autonomie de la France et face au changement climatique.

4.2. La gestion du déficit sédimentaire lié aux extractions sur le secteur aval dans un contexte de régulation des crues induit par les barrages

Sur la partie aval de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée, nous sommes désormais capables de projeter que la rivière devrait, a priori, dans un contexte actuel de régulation des crues, qui engendre encore une chenalisation par végétalisation des surfaces de bancs et déconnexion des annexes fluviales, mettre entre 200 et 300 ans avant de résorber, elle-même et intégralement, le déficit sédimentaire induit par les extractions dans son chenal principal.

Durant ce temps « relativement long », la propagation des ajustements (incision par érosion progressive et régressive) causerait des pertes considérables dans ce secteur aval (déconnexions des annexes fluviales, bancs alluviaux, perte des faciès à fort potentiel biologique de type radiers et plats-courants et dégradation de la qualité du fond du lit).

A l'image du déficit sédimentaire amont, mais cette fois dans des quantités nettement plus importantes (déficit initial en 1984 de 9 millions de m³), il semble inenvisageable de résorber rapidement et intégralement le déficit induit par les extractions en lit mineur. En effet, même si l'approvisionnement en matériaux à injecter (actuellement

à l'étude (A6) – programme LIFE Rivière Dordogne) semble moins problématique que pour le secteur amont, injecter un tel volume est financièrement et écologiquement intenable (plusieurs dizaines de millions d'euros probablement et un bilan carbone désastreux avec le transit d'environ 600 000 camions).

Pour la gestion aval donc, une démarche identique à celle mise en œuvre dans la hiérarchisation des actions proposées à l'amont (Séquence ERC) doit être conduite. Pour cela, nous pouvons nous appuyer sur les avancées scientifiques récentes (Boutault, 2020).

Nous connaissons désormais précisément l'origine de la lenteur des ajustements post-extractions qui font que le déficit sédimentaire persiste et se propage (en 3.3.2. et 3.3.3.). Il s'agit :

- (1) De perturbations locales de la morphologie de la rivière (largeur, profondeur) induit par des extractions initialement très volumineuses, où les vitesses, faibles à nulles favorisent le dépôt de la charge de fond. C'est par exemple le cas des fosses d'extractions de Tauriac, Mézels, du Roc, ou encore de Veyrignac (Figure 12 en 3.1.3.). Pour déterminer l'état des ajustements post-extractions et prioriser les actions à mener sur ces secteurs, où la rivière ne semble pas en capacité de s'ajuster, et qui constituent des pièges à sédiments grossiers à l'origine de la rupture de la continuité sédimentaire dans le chenal, un travail au cas par cas doit être réalisé. Ce travail repose sur la poursuite de l'étude sur le transport solide (mobilité des galets) et également sur une analyse diachronique fine des ajustements post-extractions. Cette dernière analyse est aujourd'hui possible grâce à l'acquisition récente d'une bathymétrie (2020 ; bathymétrie précédente datant de 1998 – Figure 22 en

3.3.2.). Les résultats de cette étude diachronique, qu'il semble indispensable de conduire, montre par exemple que sur Le Roc, il y existe une surlargeur de 110 mètres sur la partie aval de la zone extraite (220 mètres contre 110 mètres en moyenne à l'amont et à l'aval) et des profondeurs moyennes relativement élevées de 2,2 mètres (Figure 37).

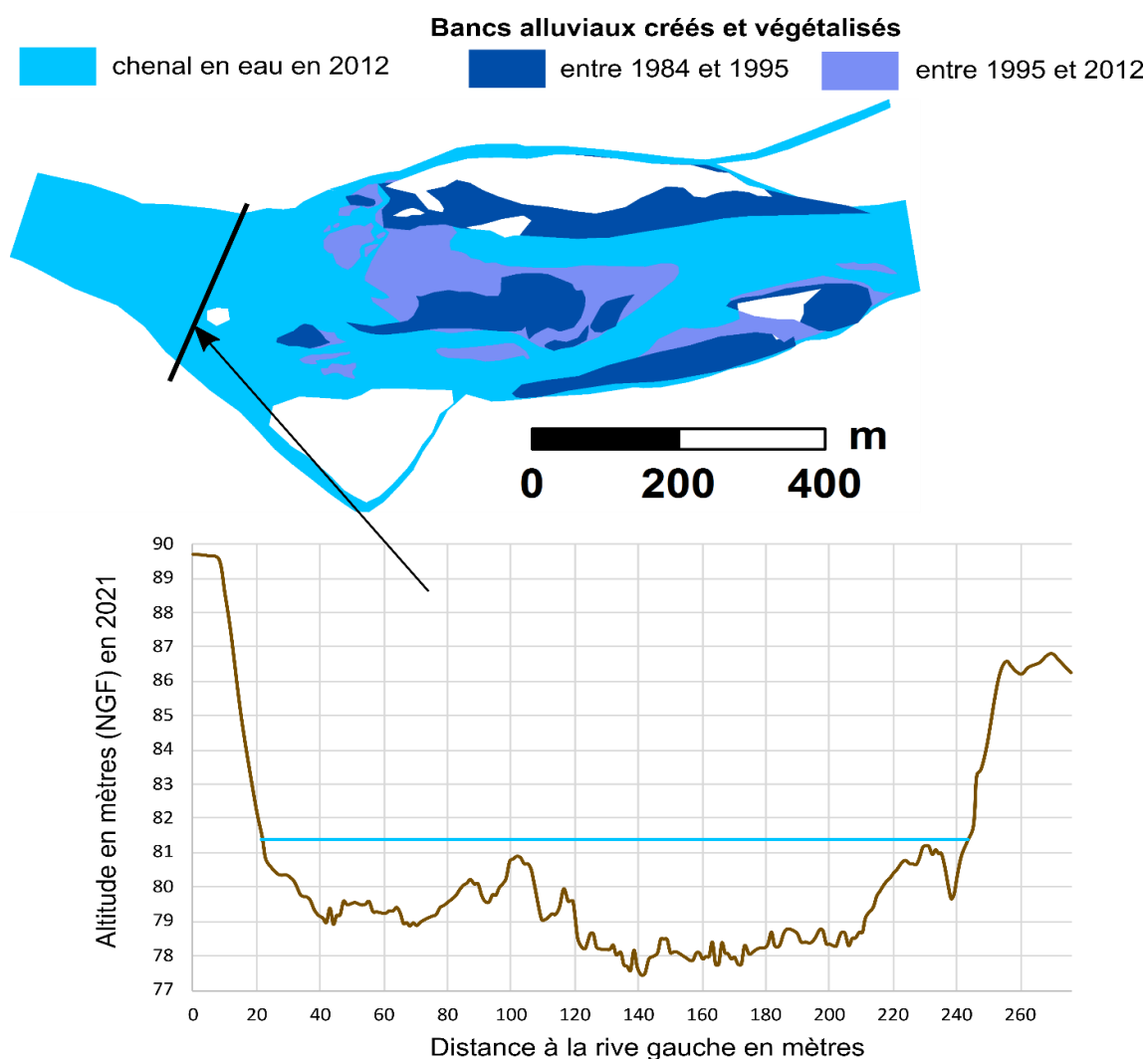


Figure 37. Ajustements post-extractions (1984-2020) de la rivière Dordogne sur le site du Roc (département du Lot – 46).

(2) Des apports latéraux très faibles, induits à la fois par la régulation hydrologique causée par les barrages, mais aussi très largement amplifiés par un long linéaire de berges enrochées, qui, dans la plupart des cas protègent des terrains agricoles, mais aussi, dans quelques rares cas, des gravières à

proximité du chenal (Figure 13 en 3.1.4.). La plupart de ces gravières en plaine alluviale sont aux mieux protégées par des enrochements en mauvais état, et peuvent donc, céder lors des crues. C'est notamment le cas sur la gravière d'Astaillac (en 3.1.4.), où un chenal s'est formé entre la gravière et la Dordogne (Figure 38).

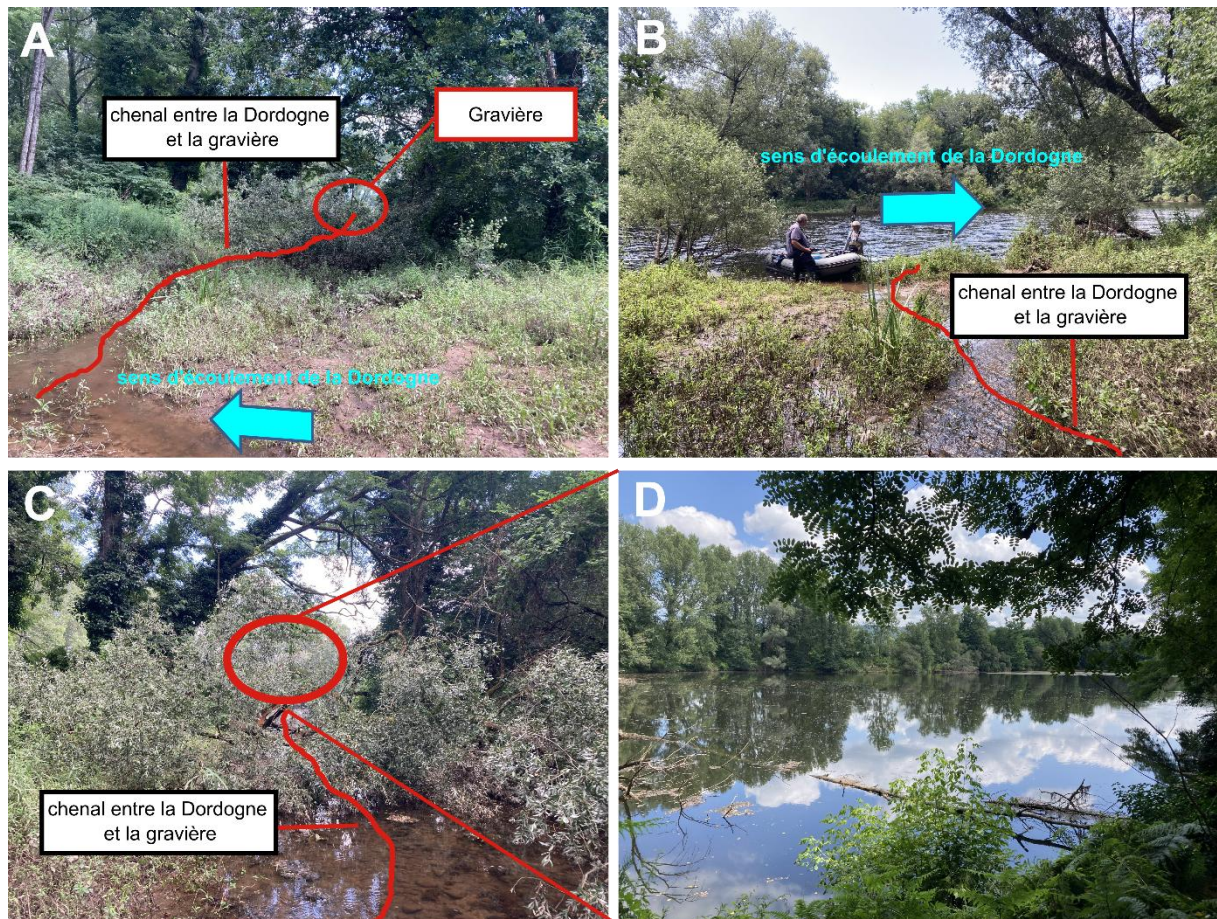


Figure 38. Connexion entre la rivière Dordogne et la gravière d'Astaillac située en rive droite pour un débit d'étiage : A – vue depuis la Dordogne, B – vue de la rivière depuis le chenal entre la gravière et la Dordogne, C – vue depuis le chenal entre la gravière et la Dordogne vers la gravière, et D – vue de l'ancienne gravière.

Dans ce cadre, et avec les nouvelles connaissances acquises, plusieurs solutions semblent aujourd'hui envisageables pour réduire (séquence ERC) les impacts liés à ces ajustements post-extractions lents. Ceci dans une situation de régulation des crues qui favorise la chenalisation de la rivière et d'importantes pertes écologiques.

4.2.1. Accompagner la rivière dans les secteurs de fosses d'extractions (dans le chenal et à proximité) où elle n'est pas en capacité de s'ajuster elle-même

Si résorber intégralement le déficit sédimentaire imputables aux extractions n'est pas envisageable, il semble néanmoins primordial d'accompagner la rivière dans ses ajustements de façon à préserver l'existant.

Les anciennes fosses en question (présentant des surlargeurs et des profondeurs anormalement élevée – Figure 22 en 3.3.2. et Figure 37 en 4.2.) sont localisées sur les secteurs de Tauriac-Floirac (40-57 km) et La Treyne-Montfort (80-110 km en aval du barrage du Sablier). Ces secteurs constituent, depuis l'arrêt des extractions (1984), des pièges à sédiments grossiers qui impactent sur plusieurs kilomètres à leur aval la rivière.

Comme énoncé en 4.2. (ci-avant) : pour déterminer l'état des ajustements post-extractions et prioriser les actions à mener sur ces secteurs, il faut mener une analyse diachronique fine et poursuivre l'étude de la mobilité de la charge de fond.

En attendant d'acquérir ces connaissances permettant de hiérarchiser et spatialiser les actions à mener de manière à optimiser le ratio dépenses-gains écologiques, nous pouvons déjà faire état du type d'action qu'il sera possible de mettre en œuvre selon les contextes.

4.2.1.1. Agir mécaniquement sur la géométrie du chenal

Pour accélérer les ajustements des fosses volumineuses présentes dans le chenal principal, qui sont pour certaines également bordées de gravières en plaine alluviale proche, il semble que nous soyons contraints d'agir mécaniquement. Ceci est évidemment couteux et peut avoir des impacts temporaires sur le milieu, mais

semble indispensable pour éviter l'incision provoquée par la propagation du déficit sédimentaire à l'aval de ces secteurs. Incision qui, à terme, conduit à la déconnexion des annexes fluviales encore présentes et la dégradation de la qualité du fond du lit dans le chenal principal.

Pour accompagner la rivière dans ses ajustements sur ces secteurs de fosses qui persistent encore dans le chenal principal de la Dordogne et à proximité, il est possible d'injecter un volume de sédiments grossiers suffisants pour reconstruire un chenal où les conditions (largeur, profondeur, pente) permettront le transport solide et la reconstruction d'une plaine alluviale fonctionnelle (Figure 39).

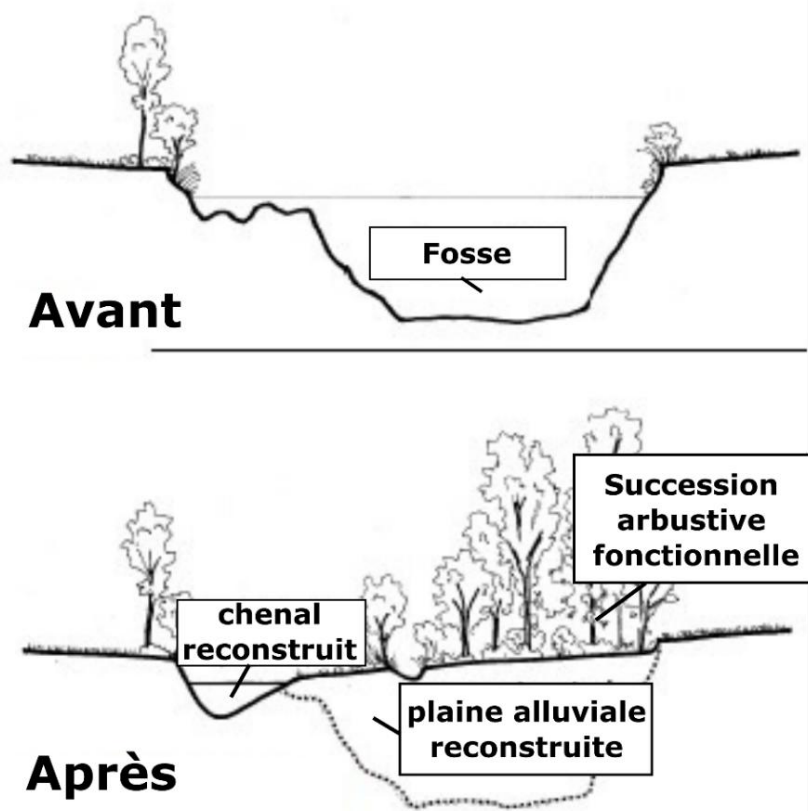


Figure 39. Schéma du comblement total d'une fosse d'extraction par reconstruction de plaine alluviale fonctionnelle (modifié d'après Bunte, 2004).

Cette « restauration intégrale » et immédiate du déficit sur l'ensemble de ces secteurs, semble financièrement et techniquement hors d'atteinte. Effectivement, comme pour le déficit sédimentaire amont, la question de l'approvisionnement en

matériaux alluviaux pose ici aussi problème, ainsi que possiblement le problème de l'acquisition foncière. La réhabilitation du site de l'ancienne gravière de Veyrignac, menée par EPIDOR, a par exemple coûté 900 000 euros (acquisition foncière + étude + travaux). Cette réhabilitation a consisté à remblayer les anciennes fosses et à terrasser la plaine alluviale perchée pour recréer des annexes fluviales (bras morts) et une connectivité chenal-plaine alluviale fonctionnelle (Figure 40).

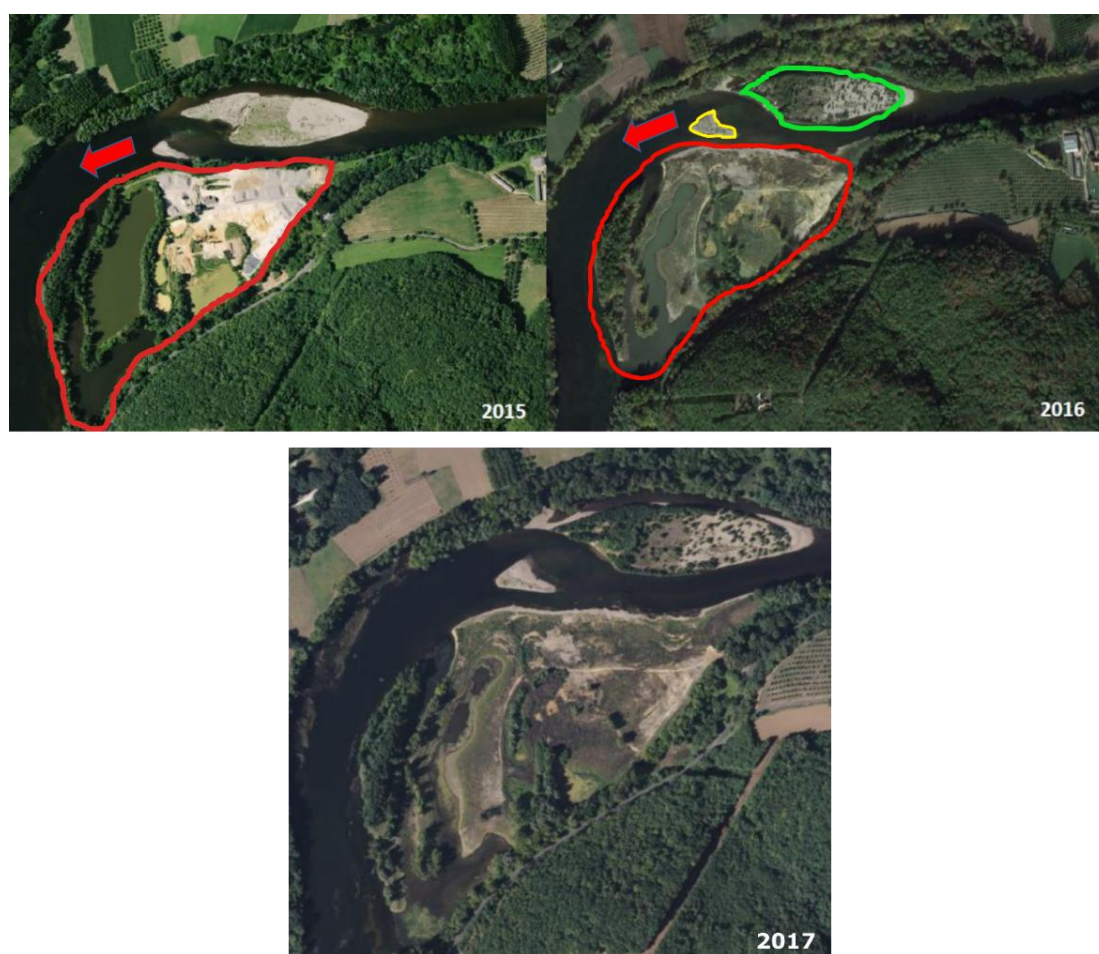


Figure 40. Réhabilitation de la plateforme d'extraction du site de Veyrignac par EPIDOR en 2015. Photographies aériennes avant travaux (2015), 1 an après les travaux (2016) et 2 ans après travaux (2017), avec : en rouge la zone concernée par les travaux, en vert l'îlot qui s'est, malgré la suppression de la végétation en 2015, très rapidement re-végétalisé (régulation des crues) et en jaune l'engraissement et la végétalisation du banc alluvial en amont de la fosse d'extraction encore présente dans le chenal principal illustrée par la flèche rouge.

Ces travaux ont donc supprimé le risque de piégeage des sédiments grossiers dans les fosses qui étaient présentes en plaine alluviale à proximité du chenal. Ils ont recréé, en partie, une mosaïque de paysages typiques des plaines alluviales fonctionnelles (prairies inondables, bras morts...). Si l'objectif de ces travaux est atteint (éviter le piégeage par capture et reconnecté la plaine alluviale), nous observons que la rivière n'arrive toujours pas à s'ajuster dans son chenal principal (fosse dans le chenal principal toujours présente en 2021).

Cette incapacité de la rivière à combler cette ancienne fosse dans le chenal à Veyrignac, peut s'expliquer par l'absence de crues ne lui permettant pas de mobiliser sa charge de fond (régulation par les barrages). Mais, nous observons aussi une végétalisation rapide de l'îlot en amont de la fosse et l'engraissement du banc alluvial malgré quelques épisodes de crues enregistrés (en 2016 et 2018). Cela illustre l'incapacité de la rivière à faire migrer les sédiments grossiers jusqu'à la fosse présente en aval direct à cause de la présence de la surlargeur.

Ce retour d'expérience sur le site de Veyrignac illustre une nouvelle fois l'importance de mener l'étude sur le transport solide (mobilité des galets) et l'analyse diachronique fine des ajustements post-extractions sur ces secteurs pour prioriser le type d'actions selon l'état d'ajustements de chacune d'entre-elles.

A noter que pour le remblayage des anciennes gravières, comme ce fût le cas sur Veyrignac, le remplissage a pu se faire avec des matériaux inertes et des sédiments fins issus du terrassement de la plaine alluviale. Mais, pour le remplissage d'anciennes fosses dans le chenal principal (ce qui n'a pas été réalisé à Veyrignac), les couches supérieures devront être équivalentes à celles présentes habituellement dans la rivière (galets roulés et sables) afin d'assurer la continuité sédimentaire et la biodisponibilité du fond du lit.

4.2.1.2. Favoriser les apports en amont de ces secteurs par « injections passives »

Pour remplir ces anciennes fosses, qui présentent des pièges à sédiments grossiers dans le chenal principal, l'approvisionnement en galets et sables est donc primordial sur le secteur aval.

Car en effet, si les galets ne sont plus transportables sur ces secteurs du fait de la surlargeur, pour le coup, le sable le reste. A partir des nouvelles données bathymétriques (2020), nous devrions pouvoir calculer pour un débit de plein bord ce que la rivière est en capacité de mobiliser comme taille de particule en fonction des sites et des surlargeurs, et définir le remplissage potentiel par les sables.

Comme énoncé pour la gestion sur le secteur amont, il n'y plus de carrière en activité sur le bassin, mais la rivière dispose, dans le secteur aval, de volumes de sédiments stockés suite à la végétalisation-déconnexion des bancs alluviaux et annexes fluviales, engendrée par la régulation des crues par les barrages et l'incision induite par les extractions (Figure 24 en 3.3.3.). Cela a pu être estimé à environ 2 millions de m³ sédiments fins (sables et fines) et 12 millions de m³ de graviers-galets (Bulteau, 2017 et Boutault, 2016 et 2020).

Les volumes à disposition en plaine alluviale sur le secteur aval de la Dordogne dans sa moyenne vallée semblent donc suffisants pour résorber intégralement le déficit sédimentaire induit par les extractions (9 millions de m³). Mais (comme énoncé en 4.2.), injecter intégralement de tels volumes de sédiments est également hors d'atteinte, en raison d'une balance écologique probablement défavorable (certains de ces milieux sont aujourd'hui protégés et le bilan carbone serait très handicapant).

Pour remobiliser une partie de ce stock de sédiments (fins et grossiers) actuellement présents en plaine alluviale, nous pouvons élaborer une stratégie d'actions à moindre couts (financiers et environnementaux), qui permettrait à la rivière de remobiliser elle-même ses sédiments, ou si besoin, avec l'accompagnement le plus faible et efficace possible.

Sachant qu'à l'heure actuelle nous devons mettre en place des actions ou accompagner la rivière avec la régulation des crues induites par les barrages, et qu'une « réactivation des débits morphogènes » semble prématurée (4.1.3.), la solution d'accompagnement pourrait s'organiser autour de plusieurs points :

1) L'acquisition foncière

Une acquisition foncière importante est à envisager pour remobiliser les sédiments stockés en plaine alluviale, car même si 75 % des surfaces ciblées se situent dans le « Domaine Public Fluvial » (DPF), actuellement géré par EPIDOR, les 25 % restants, soit près de 50 hectares « appartiennent » ou sont actuellement utilisés à des fins privées.

2) La suppression de la végétation et le transport des matériaux

Une fois les parcelles, localisées en plaine alluviale et sur des ilots, acquises, il conviendrait tout d'abord de supprimer la végétation qui s'y trouve puisqu'elle protège actuellement les volumes de sédiments stockés et que les crues actuelles ne sont plus en mesure de rajeunir-rafraichir ces surfaces (régulation par les barrages). Cette suppression de la végétation impliquerait des opérations de bucheronnage, broyage, dessouchage sur une superficie maximale d'environ 190 hectares. En plus du coût et des moyens techniques à mettre en œuvre qui pourraient être compris

entre 7 et 10 euros du m² (Rollet, 2007), il faut aussi mentionner ici qu'une majorité de ces surfaces sont éloignées du chenal actuel (surfaces végétalisées-déconnectées entre 1948 et 1995 à plus de 100 mètres en moyenne du chenal actuel ; Figure 24 en 3.3.3.). Cette distance importante couplée à la régulation des crues de forte intensité par les barrages (Q10, Q20, Q50) impliquerait alors du transport des matériaux jusqu'au chenal.

Enfin, comme déjà mentionné, certaines de ces surfaces abritent aujourd'hui des espèces sensibles protégées et/ou patrimoniales (faune et flore) et peuvent constituer des habitats d'intérêts communautaires. Pour toutes ces raisons (acquisition foncière, distance au chenal et espèces à protéger), tous les volumes stockés ne sont pas disponibles.

3) Privilégier la remobilisation des sédiments récemment stockés (1995-2012)

La vague la plus récente de végétalisation et de construction de surfaces de bancs alluviaux s'est produite entre 1998 et 2005 (Figure 41).

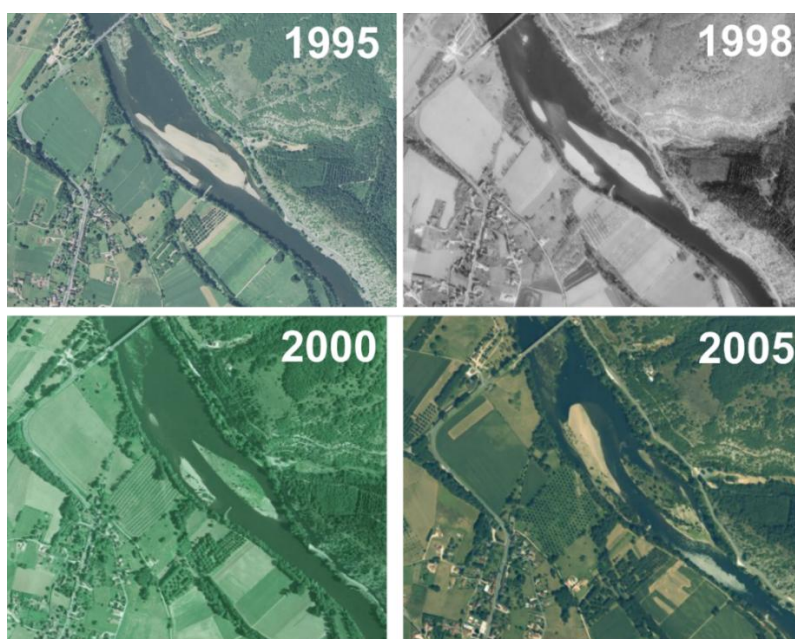


Figure 41. Végétalisation (entre 1998 et 2000) des bancs alluviaux créés par les crues de 1994 en amont du pont de Lanzaç. Végétation « pérenne » depuis 2005.

Cette installation est très certainement en lien direct avec la régulation des crues par les barrages. Nous observons en effet une période de 10 ans sans crue à Argentat (débits inférieurs à 550 m³/s entre 1995 et 2004), alors que les apports naturels reconstitués (ANR) indiquent 18 jours où le débit aurait dû être supérieur à 550 m³/s sur cette même période.

Il aura donc suffi d'une période relativement courte pour permettre à la végétation de s'implanter de manière pérenne, très probablement comprise entre 3 et 4 ans sans crue (Figure 27 en 3.3.3.). Ce temps de développement et d'installation pérenne de la végétation est ici confirmé sur le site en amont du pont de Lanzac. Nous y observons des apports sédimentaires entre 2000 et 2005 traduisant la capacité de la rivière à mobiliser des sédiments grossiers, mais conjointement à ces apports sédimentaires, le banc **végétalisé** n'a lui pas été érodé, protégé par une végétation devenue pérenne.

A noter également que la crue, à l'origine des apports sédimentaires et de la création des bancs alluviaux en 1994, était une crue d'une intensité rare (jamais enregistrée depuis la régulation par les barrages ; un Q5) et qu'en l'absence d'événement de ce type (crue plus faible), les sédiments ne se sont pas mobilisés sur toute la largeur de la rivière, notamment sur les secteurs des anciennes fosses d'extractions présentant des surlargeurs.

Les surfaces les plus proches du chenal actuel (entre 0 et 70 mètres), issues de la végétalisation-déconnexion des bancs et annexes fluviales entre 1995 et 2012, représentent 122 hectares, soit 50 % de toutes les surfaces perdues depuis la régulation des crues par les barrages.

La suppression de la végétation sur ces surfaces serait réglementairement plus facile par rapport à des boisements plus anciens (boisement d'âge inférieur à 30 ans), sans pour autant que tous les arbitrages par rapport à des statuts de protection (évoqués précédemment) soient aisés à résoudre.

De façon à permettre à la rivière de mobiliser plus facilement les sédiments présents sur ces surfaces il faut également abaisser le niveau topographique à minima en dessous du module (débit de 167 m³/s à Souillac).

De façon à permettre à la rivière de mobiliser plus facilement les sédiments présents sur ces surfaces et de façon à ralentir la re-végétalisation de ces zones entre deux crues, il est nécessaire (i) d'avoir une plus grande variabilité du débit minimum, (ii) une restauration du charriage, qui apparaît comme une priorité et (iii) des berges reprofilées imitant au mieux les reliefs des marges naturelles de la rivière (Janssen et al., 2019).

Une modélisation hydraulique locale permettra donc d'ajuster au mieux les interventions. Un suivi annuel de l'évolution bio-hydro-géomorphologiques des sites sera ensuite nécessaire (évolution topographique, granulométrique, et du développement ou non de différents types de végétation) et alimentera le besoin en connaissances sur ces mesures de gestion.

4) Supprimer les enrochements dans les secteurs sans enjeux majeurs

Si l'ensemble des 15 kilomètres de protections de berges actuellement implantées sur les secteurs de la rivière Dordogne, où s'exprime ce déficit sédimentaire (aval) et où une mobilité latérale réduite est encore présente, étaient supprimées, il est probable que près de 45 000 m³ de sédiments grossiers supplémentaires entrent en moyenne dans le chenal annuellement. Ce volume moyen annuel permettrait de

doubler les entrées sédimentaires dans ce secteur. Cependant, comme énoncé en 3.2.2. (Figure 19) avec le retour du désenrochement sur le site de Gimel, il semblerait que ces entrées diminuent avec le rééquilibrage de la pente des berges. Un retour d'expérience sur de nouveau site, dont ceux de Floirac et Blanzaguet (LIFE Rivière Dordogne) où l'enrochement sera supprimé devrait permettre de valider, ou invalider ces hypothèses et ainsi quantifier l'apport de cette stratégie dans l'accompagnement de la rivière.

4.2.2. Accélérer le remplissage des anciennes fosses qui persistent dans le chenal avec des apports/dépôts de sédiments fins (sables)

4.2.2.1. Les apports sableux de l'amont et des affluents

Depuis la mise en service des barrages, et avec le développement de la végétation en plaine alluviale, le système montre également un tarissement sédimentaire en particules fines. En effet, les taux de sédimentation dans les annexes fluviales (couasnes et plaine alluviale) mesurés ces dernières années (Boutault, 2020), montrent des taux de seulement de 2 à 3 centimètres par an. De ce fait, le remplissage sédimentaire rapide des fosses d'extractions par les sables, comme ce fut le cas sur le Cher (moins de 50 ans ; Figure 42), ne semble guère possible sur la Dordogne.

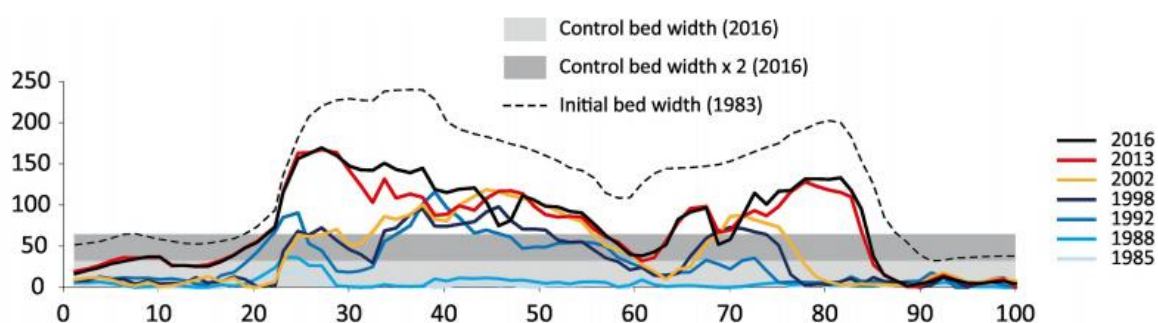


Figure 42. Remplissage par les sables en transit d'une ancienne fosse d'extraction en lit mineur sur le Cher (Depret, 2020).

Le bassin versant du Cher est évidemment très différent de celui de la Dordogne, avec des apports en sables probablement plus importants naturellement (sables majoritaires dans la part de sédiments transitant dans le chenal actif de la Loire par exemple), mais il semble tout de même qu'un blocage du transit des sables soit également présent sur la rivière Dordogne, comme on peut le constater dans les nombreuses prises d'eau de l'amont (sur la Tarentaine, la Rhue, l'Escaumels, la Cère, le ruisseau d'Incon, la Maronne,...).

Pour envisager une augmentation, voire un rétablissement du transit des sables, qui serait utile, entre autres, pour combler les fosses, comme nous l'avons déjà évoqué précédemment, il faudrait en faire un bilan à l'échelle du bassin, identifier les affluents possiblement pourvoyeur de ces sédiments (Maronne, Cère, Souvigne, Bave, Sourdoire...), les blocages, les impasses et les solutions possibles à activer.

4.2.2.2. Favoriser localement les dépôts sableux au droit des surlargeurs

Le dernier levier dont nous disposons, pour accélérer le processus de remplissage des anciennes fosses d'extractions, qui perdurent dans le chenal principal, serait de favoriser latéralement le dépôt des sédiments fins, et ainsi, réduire les surlargeurs et augmenter la capacité de transport de la rivière pour un même débit. Pour se faire, des structures de rétention (dites « en épis ») peuvent être positionnées en berges. Cette solution a d'ailleurs déjà été utilisée sur la Dordogne moyenne. L'enjeu était à l'époque de limiter l'érosion de berge localisé entre deux ponts (pont Eiffel de Floirac et pont Miret) afin de protéger les infrastructures. Suite à l'installation de ces épis, un dépôt sableux suivi du développement de la végétation a stoppé l'érosion de berge et réduit la largeur de la rivière d'environ 50 mètres en seulement 20 ans (Figure 43).

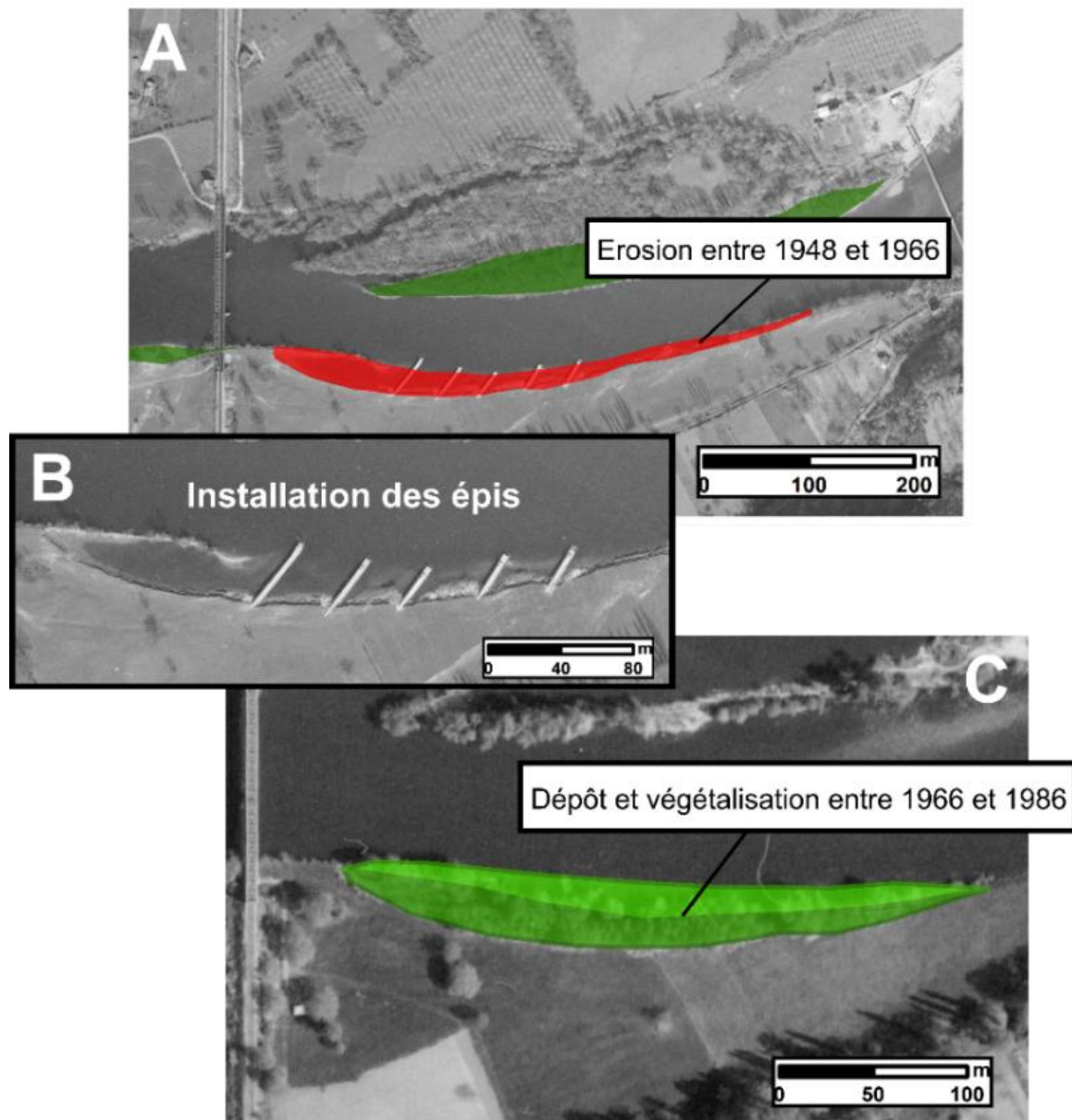


Figure 43. Mise en place de structures en épis en amont du pont du chemin de fer à Floirac pour favoriser le dépôt des sédiments fins, et accélérer le retour à une largeur permettant à la rivière de transporter les sédiments grossiers vers l'aval dans son chenal principal.

4.2.3. Vers une solution hybride pour limiter la propagation du déficit sédimentaire induit par les extractions tout en préservant l'existant

À moyen et long terme (20 à 30 ans), la combinaison de toutes les actions précédentes apporteront des volumes sédimentaires (fins et grossiers) qui permettront d'accélérer le remplissage des anciennes fosses d'extractions (dans le

chenal principal et à proximité immédiate). Ces actions auront pour effet de redonner la capacité à la rivière de recréer elle-même des macroformes dans le chenal (bancs de galets, alternance naturelle des faciès d'écoulement) et une diversité d'habitats (couasnes, bras secondaires, nombre de faciès) à l'origine d'une importante diversité écologique et d'une richesse quantitative des différents taxons. De plus, la diversité granulométrique des apports (fins et grossiers) enrayera en partie le phénomène de pavage actuellement visible en amont et en aval de certaines anciennes fosses d'extractions.

Malheureusement, comme pour la gestion amont, des points de blocages et le temps de mise en œuvre des actions et des réponses morphologiques imposent une compensation. Il faut donc, conjointement à ces actions, poursuivre les efforts entrepris pour a minima maintenir les habitats menacés par la propagation du déficit sédimentaire et l'incision.

Comme énoncé en 3.3.2., la propagation du déficit en aval des fosses d'extractions, rompt le transit de la charge de fond et engendre une incision accrue sur les secteurs de Tauriac-Floirac et La Treyne – Montfort. Cette incision conduit à la déconnexion des annexes fluviales encore existantes dans ces secteurs. Au cours de la dernière décennie de nombreuses actions de maintien de la connexion de ces annexes fluviales et de restauration ont été menées par EPIDOR et doivent donc se poursuivre (EPIDOR, 2015 ; Figure 44).



Figure 44. Exemple de travaux d'entretien d'annexes fluviales réalisés par EPIDOR sur la rivière Dordogne.

Certaines de ces annexes restaurées sont suivies tous les ans dans le cadre de la « veille écologique » de la Dordogne. Ces suivis indiquent : i) une efficacité certaine vis-à-vis, par exemple, du recrutement des espèces de poissons phytophiles (dont le brochet), ii) des problèmes qui persistent en lien avec les fluctuations des niveaux d'eau (éclueses) sur les phases biologiques fixes (œufs des poissons phytophiles, pontes des amphibiens, iii) une morphologie qui continue à évoluer et qui peut à des échéances plus ou moins longues, ou plus ou moins courtes, nécessiter une ré-intervention sur certains sites déjà « maintenus ». Pour minimiser la fréquence d'intervention, et que ces annexes continuent à remplir leurs rôles biologiques indispensables à l'hydrosystème Dordogne (par exemple recrutement régulier en brochets au Bastit ou à Gimel), il semble important de poursuivre l'étude du fonctionnement hydrosédimentaire des annexes fluviales débuté en 2017 (Boutault,

2020). Cela permettra de cerner différents types de fonctionnement, d'établir une typologie et de hiérarchiser et prioriser les actions de maintien ou restauration.

4.2.4. Les points de blocages dans la gestion des impacts hydrosédimentaires liés aux extractions sur le secteur aval de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée

Pour atteindre une gestion « adaptée » et « adaptative » du déficit sédimentaire aval sur la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée, il faut :

- (1) des moyens juridiques, techniques et financiers pour Réduire-Compenser les impacts hydrosédimentaire imputables aux extractions en lit mineur, à la régulation hydrosédimentaire des barrages et à la présence de protections de berges (souvent sans enjeux de protections des biens et des personnes), et si possible, éviter leur propagation. Pour cela, il semble principalement nécessaire de mettre œuvre des stratégies d'acquisition foncière, de gestion du développement de la végétation et de gestion des apports latéraux (désherbements) ou amont (transit des sables notamment) ;
- (2) des besoins en connaissances supplémentaires concernant les ajustements au droit des fosses résiduelles et le suivi du transport solide de la rivière sur ce secteur (capacité de transport dans le chenal, contribution des affluents majeurs, fonctionnement hydrosédimentaire des couasnes) ;
- (3) une synthèse des actions déjà menées.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le présent document propose, en plus d'une synthèse des dernières avancées scientifiques, des recommandations opérationnelles « adaptées » et « adaptatives » au contexte actuel et à venir, de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée concernant son fonctionnement hydrosédimentaire et son potentiel écologique. Ces recommandations ont notamment pu être émises à l'aide :

- Du diagnostic géomorphologique mené ces dernières années sur la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée (Boutault, 2020). Il a permis de développer une méthode adaptée à la hiérarchisation quantifiée de toutes les pressions recensées, méthode transférable à d'autres contextes (exemple : Garonne amont ; Bulteau et al., 2021). La trajectoire temporelle d'évolution morphologique, robuste et quantitative, montre clairement 4 phases distinctes d'ajustements aux changements : (i) la première phase, relative à la régulation hydrosédimentaire induite par les changements climatiques et d'occupation des sols a conduit à une réduction modérée et lente du système en taille et en diversité, (ii) la seconde phase, traduit une seconde régulation hydro-sédimentaire, cette fois induite par les barrages, qui a brutalement figé le système et conduit à une réduction drastique et sans retour possible en taille et en diversité d'habitats, (iii) la troisième phase est l'expression des ajustements post-extractions de graviers en lit mineur, qui par réduction du stock alluvial en place, ont favorisé une incision rapide et importante. Cet « enfoncement » du lit est à l'origine des récentes déconnexions des dernières annexes fluviales et bancs alluviaux encore présents (non végétalisés). Depuis l'arrêt des extractions en 1984, la rivière semble être dans une quatrième phase, (iv) avec des ajustements post-extractions très lents,

principalement du fait des effets combinés de la régulation hydrosédimentaire causée par les barrages, du déficit sédimentaire induit par les extractions et de la présence des protections de berges sur un linéaire important.

- De l'élaboration d'un bilan sédimentaire permettant d'évaluer-quantifier, ou, a minima d'appréhender (ordres de grandeurs), de manière spatialisée les volumes déficitaires et les volumes à disposition pour réduire ces déficits.
- De l'entente, le travail et le soutien de l'ensemble des partenaires présents sur le bassin de la Dordogne (gestionnaires, exploitants, élus, prestataires, usagers et riverains), qui ont financé et contribué à l'amélioration des connaissances, la détermination des enjeux et objectifs à atteindre et réalisé de nombreuses actions en faveur de la biodiversité ces dernières décennies.

La synthèse scientifique réalisée et les recommandations opérationnelles émises ont ainsi contribué à :

- (1) Émettre de nombreuses propositions d'actions concernant la gestion hydrosédimentaire sur la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée, allant, au mieux, de l'évitement de la propagation actuelle et future des dégradations à la réduction-compensation des impacts passés liés aux barrages et aux extractions en lit mineur, dans le but de, a minima, préserver la biodiversité encore présente ;
- (2) Mettre en évidence un besoin de connaissances indispensables, car aujourd'hui manquantes dans l'élaboration d'une stratégie globale d'optimisation de la fonctionnalité hydrosédimentaire et écologique de

l'hydrosystème, tout en conservant l'exploitation des ressources et les usages sur le bassin (Action 11 – EPIDOR, 2014).

Ces besoins inhérents à la mise en œuvre des actions proposées sont :

- Dans le cadre du suivi de la fraie des grands salmonidés sur le bassin de la Dordogne, une synthèse des différents retours d'expériences doit être conduit pour évaluer les « injections ciblées » et ainsi, déterminer si cette action est actuellement suffisante pour préserver l'existant.
- Un diagnostic avec une analyse diachronique et un budget sédimentaire fin qui apportera les éléments nécessaires à la priorisation des actions à mener sur les secteurs des fosses (travail rendu possible par l'acquisition bathymétrique de 2020).
- Des diagnostics sur les affluents majeurs potentiellement pourvoyeurs de sédiments fins et grossiers, mais aussi potentiellement impactés par des déficits sédimentaires (Maronne et Cère). Les résultats de ces diagnostics serviront dans le choix des actions à mettre en œuvre pour la gestion des déficits amont et aval.
- La poursuite du suivi du transport solide (suivi par RFID - de la charge de fond), notamment sur les 4 sites déjà équipés (sites de Brivezac, Meyraguet, Vitrac et Cénac). Ces informations permettront de définir plus précisément (1) la durabilité des frayères réhabilitées par « injections ciblées » et les volumes à injecter pour les « injections passives » à l'amont, mais aussi (2) de projeter plus finement les ajustements dans les secteurs impactés par les anciennes fosses d'extractions qui perdurent dans le chenal à l'aval.

- Pour la priorisation des actions de reconnexion ou de maintien des annexes fluviales (bras vifs de l'amont et « couasnes » à l'aval), il faut également poursuivre le suivi entrepris en 2017 (Boutault, 2020), en proposant par exemple un stage de recherche sur la thématique de remplissage des couasnes par les sédiments fins (voir protocole pour ce suivi en annexes du présent document ; Figure 45 et Figure 46) et orienter le suivi des bras vifs de l'amont vers un suivi du transport de la charge de fond grossière (possibilité de travail de recherche en post-doc). Conjointement à ces suivis et travaux hydrosédimentaire, il faut également continuer les suivis biologiques associés à ces milieux tout réalisant une synthèse des suivis déjà réalisés pour évaluer l'effet des actions menées ces dernières années.
- Enfin, un suivi du développement de la végétation semble nécessaire pour optimiser les actions de reconnexion et mobilisation des surfaces de bancs récemment végétalisées-déconnectées (1995 et 2012), principalement localisé sur le tronçon Tauriac-Castelnaud-la-Chapelle.

Toutes ces informations, qu'il conviendrait prochainement d'acquérir, ou pour certaines déjà en cours d'acquisition, permettront, et ce au même titre que celles acquises ces 40 dernières années : (1) d'affiner la priorisation des futures actions à mener, (2) de suivre l'évolution des dégradations ou améliorations, et ainsi, (3) d'évaluer le gain écologique associés aux mesures prises, car les corridors fluviaux restaurés ou « naturels » ont généralement le potentiel de fournir un large éventail de services écosystémiques et sont très appréciés et fréquentés par les riverains comme par des visiteurs de passage (Vermaat et al., 2016).

Ces informations permettraient aussi de bénéficier de retours d'expériences robustes sur ces sujets encore très exploratoires en vue d'une potentielle transférabilité, et d'être en capacité de tenir compte de la complexité et de l'incertitude des changements à venir (sociétaux et climatiques) (Weber et al., 2017).

Par ailleurs, il semble aujourd'hui primordial d'instaurer un nouveau cadre facilitant la mise en œuvre de ce type de stratégie globale de gestion hydrosédimentaire sur d'autres tronçons du bassin de la Dordogne (Dordogne aval et affluents) qui permettra de poursuivre les actions menées (ressources humaines et financières), et ce, même après le programme LIFE Rivière Dordogne.

Ce cadre pourrait par exemple s'inspirer de celui actuellement en vigueur sur le Rhône avec la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR). Il s'agit d'un réseau de laboratoires de recherche qui a pour mission de (i) promouvoir, coordonner et valoriser les recherches sur le fonctionnement des hydrosystèmes du bassin du Rhône, (ii) organiser le transfert des résultats aux gestionnaires de l'eau et des territoires et à leurs partenaires et (iii) mettre à leur disposition des outils d'aide à la décision et des méthodes d'évaluation utiles pour une gestion durable des fleuves et rivières (<https://www.zabr.assograie.org/>). A l'intérieur de la ZABR, on trouve des plateformes de recherches pluri-partenariales et interdisciplinaires s'inscrivant dans une **co-construction entre scientifiques et gestionnaires** (<http://www.graie.org/osr/>) comme l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR) par exemple, qui, au travers du programme de recherches RhônEco, a permis la conception d'outils d'évaluation des effets de la restauration du Rhône (suivis sédimentaires et hydrobiologiques).

Ainsi, à partir des recommandations émises dans ce document sur la Dordogne dans sa moyenne vallée, mais aussi des conventions multi-partenariales existantes sur le

territoire en faveur de la biodiversité (conventions « Bergeracois » et « Eclusées »), qui convergent vers les enjeux globaux du bassin (enjeux à la fois écologiques, sociologiques et économiques), une Zone Ateliers Dordogne (la ZAD) pourrait voir le jour.

Cette structure pourrait permettre, sur le territoire de la Dordogne, (1) de poursuivre les états de lieux à d'autres linéaires de l'axe et à ses affluents, (2) d'apporter les améliorations nécessaires à la mise en place de toutes les actions émises dans ce premier plan de gestion hydrosédimentaire, et aux suivis de ces actions (sédiments, biologie), mais aussi, (3) d'intégrer au sein des prochains documents de planification (SDAGE) les mesures de ce type, ainsi que leurs actualisations.

Partant de la Dordogne, le cadre pourrait ensuite être élargi au bassin Adour-Garonne (Zone atelier Adour-Garonne - la ZAG), en intégrant les bassins où des états des lieux et plans de gestion hydrosédimentaire émergeront, et notamment la Garonne, pour laquelle un plan de gestion hydrosédimentaire verra le jour à l'issue de la thèse actuellement en cours sur la partie amont.

6. Références bibliographiques

Biosphère Bassin Dordogne -
<https://biosphere-bassin-dordogne.fr/>
(consulté le 22.04.2021)

Séquence ERC (Eviter-Réduire-Compenser) -
<https://www.ecologie.gouv.fr/eviter-reduire-et-compenser-impacts-sur-lenvironnement>
(consulté le 23.03.2022)

Géoportail (IGN) -
<https://www.geoportail.gouv.fr/> (consulté le 22.04.2021)

LIFE Dordogne - <https://life-dordogne.eu/>
(consulté le 22.04.2021)

Remonter le temps (IGN) -
<https://remonterletemps.ign.fr/> (consulté le 22.04.2021)

Transition écologique -
<https://www.ecologie.gouv.fr/boite-outils-elus> (consulté le 22.04.2021).

Arrêté du 30 juillet 1981 portant prescriptions spécifiques à la déclaration, en application de l'article L.214-3 du code de l'environnement, relative aux travaux, ouvrages et aménagements temporaires rendus nécessaires lors des changements de la vanne de décharge de la centrale hydro-électrique des Moulineaux sur la rivière Isle, commune de Montpon-Ménestérol.

Arrêté ministériel du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières (JORF n°246 du 22 septembre 1994 page 15041).

Convention éclusées (2009) – Réduction de l'impact des éclusées sur le bassin de la Dordogne. Convention pluriannuelle (2008-2012), conclue le 16/03/2009 entre Electricité De France, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, l'Etablissement Public Territorial du Bassin de la Dordogne, et l'Etat 15p.

Convention Bergeracois (2020) – Amélioration de la franchissabilité piscicole et de la fonctionnalité des habitats au niveau des trois ouvrages du bergeracois. Convention pluriannuelle (2020-2025), conclue entre Electricité De France, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, l'Office Français de la Biodiversité, l'Etablissement Public Territorial du Bassin de la Dordogne, et l'Etat, 23p.

Directive-cadre sur l'eau (DCE), 2000, [en ligne] URL : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000649171/>

Loi n° 64-1245 du 16 décembre 1964 sur le régime et la répartition des eaux et la lutte contre la pollution.

Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006. Préservation des ressources en eau et des milieux aquatiques.

Arnaud F., 2012. Approches géomorphologiques historique et expérimentale pour la restauration de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial aménagé : le cas du Vieux Rhin entre Kembs et Breisach (France, Allemagne). Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2, 280p.

Arnaud, F., Piégay, H., Schmitt, L., Rollet, A.J., Ferrier, V., Béal, D. (2015). Historical geomorphic analysis (1932-2011) of a by-passed river reach in process based restoration perspectives: The Old Rhine downstream of the Kembs diversion dam (France, Germany), *Geomorphology*, doi: 10.1016/j.geomorph.2015.02.009

Arnaud, F., Piegay, H., Béal, D., Collery, P., Vaudor, L., Rollet, A.J., 2017. Monitoring gravel augmentation in a large regulated river and implications for process-based restoration. *Earth Surf. Process. Landf.* 42 (13), 2147–2166.

Auel, C. (2018). Sediment Bypassing – a sustainable and eco-friendly strategy against reservoir sedimentation Conference paper – Commission Internationale des grands barrages – Vingt sixième congrès. *Vienne*, 2018. 21 pages.

Beechie TJ, Liermann M, Beamer EM, Henderson R (2005). A classification of habitat types in a large river and their use by juvenile salmonids. *Transactions of the American Fisheries Society* 134:717–729.

Beechie TJ, Liermann M, Pollock MM, Baker S, Davies J (2006a). Channel pattern and river-floodplain dynamics in forested mountain river systems. *Geomorphology* 78:124–141.

Beechie TJ, Greene CM, Holsinger L, Beamer E (2006b). Incorporating parameter uncertainty into evaluations of spawning habitat limitations on Chinook salmon populations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63:1242–1250.

Beniston, M., 2009. Trends in joint quantiles of temperature and precipitation in Europe since 1901 and projected for 2100. *Geophysical Research Letters*, 36, L07707.

Bernhardt, E. S. (2005). ECOLOGY: Synthesizing U.S. River Restoration Efforts. *Science*, 308(5722), 636–637. doi:10.1126/science.1109769

BIOTEC, 2011. Etablissement des inventaires et cartographies Natura 2000 sur la vallée de la Dordogne Périgourdine et Aquitaine : Note synthétique concernant l'analyse des habitats et habitats d'espèces alluviaux recensés sur la Dordogne dans sa partie Midi-Pyrénées et Aquitaine, 128 pages. https://www.eptb-dordogne.fr/public/content_files/recommandations_berges_dordogne.pdf

BIOTEC, 2012. Schéma directeur de gestion du lit mineur (et ses marges) de la Dordogne entre Girac et le barrage de mauzac. Note synthétique, 41 pages. https://www.eptb-dordogne.fr/public/content_files/berges_girac_mauzac_synthese.pdf

Bouleau, Gabrielle (2009), « La contribution des pêcheurs à la loi sur l'eau de 1964 », *Économie rurale* [En ligne], 309 | Janvier-février 2009, mis en ligne le 01 janvier 2011, consulté le 29 mars 2021. URL : <http://journals.openedition.org/economierurale/261> ; DOI : 10.4000/economierurale.261

Boutault F., 2016. Détermination des amplitudes maximales des ajustements morphologiques contemporains sur la moyenne vallée de la Dordogne, Mémoire de Master 2 HBV, UFR Sciences et Techniques de Tours, 80p. https://www.eptb-dordogne.fr/public/content_files/hydromorpho_dordogne_2016.pdf

Boutault F., 2020. Etude de l'impact cumulé des facteurs d'anthropisation sur la Dordogne moyenne et préconisations en vue d'une restauration écologique du cours d'eau. Université de Lyon, Jean-Moulin - Lyon III, 212p. https://scd-resnum.univ-lyon3.fr/out/theses/2020_out_boutault_f.pdf

Bravard J.-P. (2003). Dynamiques à long terme des systèmes écologiques ou de l'Eden impossible à la gestion de la variabilité. In Leveque C. et Van Der Leeuw. (Ed.), *Quelles natures voulons-nous ?* Elsevier, Paris 2003, 133-139.

Brousse, G., Liébault, F., Arnaud-Fassetta, G., Breilh, B., & Tacon, S. (2020). *Gravel replenishment and active-channel widening for braided-river restoration: The case of the Upper Drac River (France).* *Science of The Total Environment*, 142517. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142517

Bulteau Théo, 2017. Détermination du stock de sédiments potentiellement remobilisable sur la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée. Rapport de stage de fin d'études pour l'obtention de la 2nde année de Master « Hydrosystèmes et Bassins Versants : diagnostic et risque environnementale ». Université de Tours. EPIDOR-ECOGEA-EVS/UMR5600, 44p.

Théo, Bulteau and Batalla, Ramon J. and Chapron, Emmanuel and Valette, Philippe and Piégay, Hervé (2022). *Geomorphic Effects of a Run-of-The-River Dam in a Multi-Driver Context: The Case of the Upper Garonne (Central Pyrenees).* Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3980593>

Bunte K., 2004. State of science review – Gravel mitigation and augmentation below hydroelectric dams: a geomorphological perspective. *Report submitted to the Stream System Technology Center*, U.S. Dept. Agri., Forest service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, Colorado, 144p.

Mathieu Cassel, 2017. Caractérisation des particules dans les lits à galets : expérimentation, développements, méthodologiques et applications in situ. Géographie. Université de Lyon. Français. ffNNT : 2017LYSEN087ff. fftel-02150081f

Cazeneuve L., et Lascaux J.M., 2020. Veille écologique des impacts des éclusées sur la rivière Dordogne. Résultats des échantillonnages piscicoles réalisés en 2019 et comparaison aux années antérieures. Rapport ECOGEA pour EPIDOR, 46 pages.

CEMAGREF, 1981. Etude hydrobiologique de la Dordogne. Centre national du Machinisme Agricole, du Génie rural des Eaux et des Forêts, Groupement de Bordeaux, Section Qualités des Eaux. Etudes n°3, 265p.

CEMAGREF, 1994. Instabilité des berges de la Dordogne – Analyse et propositions d'interventions, 35p.

Chapman D. 1988. Critical review of variables used to define effects of fines in redds of large salmonids. *Trans Am Fish Soc.* 117(1):1–21.

Costanza, R., Voinov, A., Boumans, R., Maxwell, T., Villa, F., Wainger, L., Voinov, H., 2002. Integrated ecological economic modeling of the Patuxent River watershed, Maryland. *Ecol. Monogr.* 72, 203–231.

Courret D., Larinier P., Lascaux J.M., Chanseau M. et Larinier M., 2006. Etude pour une limitation des effets des éclusées sur la Dordogne en aval de l'aménagement du Sablier pour le saumon atlantique – secteur Argentat Saulières. *Rapport MIGADO 8D-06-RT/GHAAPPE RA.06.02.*

David Mélodie, Jean-Michel Carozza, Philippe Valette, Muriel Llubes, Vanessa Py et Tiberiu Groparu (2015), « Évolution de la dynamique fluviale de la moyenne Garonne toulousaine : apport d'une approche multi-sources cartes historiques, stratigraphie et géophysique sur le site Grenade-Ondes », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 21 – n° 1 | 2015, 21-44.

Debiais, N., Huyghe, G., 2011. Schéma directeur de gestion du lit mineur (et ses marges) de la Dordogne entre Girac et le barrage de Mauzac. BIOTECH, EPIDOR, 118p.

T. Dépret, C. Vermoux, E. Gautier, et al., Lowland gravelbed river recovery through former mining reaches, the key role of sand, *Geomorphology* (2020), <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107493>

Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Limousin (2013). Note GEDRE Gestion Equilibrée et Durable de la Ressource en Eau. Synthèse de la consultation des acteurs de l'eau Renouvellement des concessions hydroélectriques de la Haute Dordogne. Développement durable en Limousin HORS SÉRIE Mars 2013. 69 pages.

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

Eaucéa, 2015. Etude des débits morphogènes sur la rivière Dordogne. Rapport final Eaucéa-EPIDOR, 118p.

ECOGEA, 2015. Restauration d'habitats favorables à la reproduction des poissons migrateurs sur la Dordogne. Etudes préalables, partie corrézienne, 32 pages.

ECOGEA pour MIGADO, 2000 à 2020. Suivi de la reproduction naturelle des grands salmonidés migrateurs sur le bassin de la Dordogne en aval du barrage du Sablier (département de la Corrèze et du Lot). Rapports MIGADO.

ECOGEA, 2021. Suivi du fonctionnement des ouvrages de franchissement du Bergeracois (Dordogne). 21 pages. Note ECOGEA-MIGADO pour EDF.

EDF-CIH. Résumé non-technique de l'étude de dangers du barrage de Chastang (Corrèze IHEDRS.CHAST.G.100.*.003 A BPE. 16 pages.

EPIDOR, 2014. Stratégie pour les poissons migrateurs du bassin de la Dordogne. Octobre 2014 -Groupe de travail Migrateurs Dordogne. 8 pages. URL : https://www.eptb-larinier-m.com/dumond-l-lagarrigue-t-frey-a-travade-f-2020-performance-of-a-large-partial-depth-guide-wall-to-divert-downstream-migrating-atlantic-salmon-smolts-at-tuilières-dam-dordogne-river-knowl-manag-aquat-ecosyst-421-15-dordogne.fr/public/content_files/strategie_dordogne_oct_2014.pdf

EPIDOR, 2015. Restauration de la rivière Dordogne – Bilan de dix années de travaux soutenus ou engagés par EPIDOR, Rapports d'étude et documents techniques, 10 p. https://www.eptb-dordogne.fr/public/content_files/restauration_dordogne_2015.pdf

EPIDOR, 2022. Expertise bio-hydromorphologique post-crue sur la rivière Maronne en aval du barrage d'Hauteffage et propositions concernant la gestion hydrosédimentaire. 48 pages. ECOGEA pour EPIDOR.

Gaeuman D. 2013. Monitoring the Effectiveness of Gravel Augmentations for Salmonid Habitat Improvement Downstream from Dams. Completion Report Project 0295. US Bureau of Reclamation Science and Technology.

Gaeuman D. 2014. High-flow gravel injection for constructing designed in-channel features. *River Research and Applications* 30 : 685-706.

Gaeuman, D., Stewart, R., Schmandt, B., Pryor, C. (2017). Geomorphic response to gravel augmentation and high-flow dam release in the Trinity River, California. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42, 2523-2540.

Gaeuman, D and J. Boyce. 2018. Effects of gravel supply on gravel bar morphology and physical habitat in a reach of the Trinity River California, USA. 12th International Symposium on Ecohydraulics, Aug. 19-24, 2018, Tokyo, Japan.

Germaine, M.A. et R. Barraud, 2013. Restauration écologique et processus de patrimonialisation des rivières dans l'Ouest de la France, *Vertigo — la revue électronique en sciences de l'environnement* [en ligne], Hors-série 16, juin 2013, URL : <https://vertigo.revues.org/13583> (consulté le 7 octobre 2016).

Gilvear, D. J. (1999). *Fluvial geomorphology and river engineering: future roles utilizing a fluvial hydrosystems framework. Geomorphology*, 31(1-4), 229–245. doi:10.1016/s0169-555x(99)00086-0

Gregory, K.J., Park, C., 1974. Adjustment of river channel capacity downstream from a reservoir. *Water Resources Research* 10 (4), 870–873.

Gregory K.J., 1987. River Channels. In: Gregory, K.J. and Walling, D.E., eds., *Human Activity and Environmental Processes*, Chicester, UK: John Wiley and Sons, pp. 207-235 (Chapter 9).

Gregory K.J., 2006. The human role in changing river channels. *Geomorphology* 79: 172–191.

Janssen, P., Piégay, H., Pont, B., Evette, A., 2019. How maintenance and restoration measures mediate the response of riparian plant functional composition to environmental gradients on channel margins: insights from a highly degraded large river. *Sci. Total Environ.* 656, 1312–1325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.434>.

Keith, P. & Marion, L. (2002). Methodology for drawing up a Red List of threatened freshwater fish in France. *Aquatic Conservation* 12, 169–179.

Keith P., Persat H., feunteu E., Allardi J., 2011. Les poissons d'eau douce de France, Editions Biotope – Muséum national d'Histoire naturelle – Collection Inventaires et biodiversité, 550p.

Ladoux, 2021. Analyse de l'influence des éclusées sur le recrutement en 0+ des salmonidés du bassin de la Dordogne au cours des 20 dernières années. Mémoire de Master 2 – Gestion de l'Environnement - Parcours Fonctionnement et Restauration des Ecosystèmes Aquatiques Continentaux, Université Clermont Auvergne, 70p.

Larinier M, Dumond L, Lagarrigue T, Frey A, Travade F. 2020. Performance of a large partial-depth guide wall to divert downstream migrating Atlantic salmon smolts at Tuilières dam, Dordogne River. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.*, 421, 15.

Lascaux J.M. et Cazeneuve L., 2008a. Etude de l'impact des éclusées sur les échouages d'alevins de salmonidés sur la Dordogne. Suivi 2007 et synthèse des données acquises depuis 2005. *Rapport MI.GA.DO 19D-08-RT*. 14 p

Lascaux J.M. et Cazeneuve L., 2008b. Etude de l'impact des éclusées sur la rivière Dordogne. Analyse des pressions exercées par les phénomènes d'éclusées sur les écosystèmes de la Dordogne et proposition de solutions susceptibles de les atténuer. *Rapport final de la phase 1*. 74 pages.

Lascaux J.M., L. Cazeneuve et Lagarrigue T., 2008. Synthèse des potentialités de production en saumons du bassin de la Dordogne. 40 pages. Rapport ECOGEA pour MIGADO.

Li, J., Hoerbinger, S., Weissteiner, C., Peng, L., & Rauch, H. P. (2020). River restoration challenges with a specific view on hydromorphology. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*. doi:10.1007/s11709-020-0665-9

Loire R., Kondolf G.M., Malavoi J.R., Melun G. et Piégay H., 2021. Lâchers d'eau morphogènes: guide de mise en œuvre. Office français de la biodiversité. Collection Guides et protocoles. 102 pages.

Lorang M.S. et G. Aggett (2005). Potential sedimentation impacts related to dam removal: Icicle Creek, Washington, U.S.A. *Geomorphology*, 71: 182-201.

Lu, W., Arias Font, R., Cheng, S., Wang, J., & Kollmann, J. (2019). *Assessing the context and ecological effects of river restoration – A meta-analysis. Ecological Engineering*, 136, 30–37. doi:10.1016/j.ecoleng.2019.06.004

Malavoi J.R. (2006). Retour d'expérience d'opérations de restauration de cours d'eau et de leurs annexes menées sur le bassin RMC. Agence de l'eau RMC, 133p.

Malavoi J.R., 2007. Impacts des seuils en rivière sur l'hydromorphologie et l'écologie des cours d'eau. Journée technique d'information et d'échanges "Ouvrages hydrauliques" de l'Association Rivière Rhône Alpes, 15 mai 2007, Chazelles sur Lyon.

Marchese, E., Scorpio, V., Fuller, I., McColl, S., & Comiti, F. (2017). Morphological changes in Alpine rivers following the end of the Little Ice Age. *Geomorphology*, 295, 811–826. doi: 10.1016/j.geomorph.2017.07.018

McBain et Trush Inc. (2003). Coarse Sediment Management Plan for the Lower Tuolumne River. Final Report. Prepared for Tuolumne River Advisory Committee, Arcata, CA, 306 p.

Gabriel Melun, F. Arnaud, G. Arnaud-Fassetta, M. Bertrand, C. Bilodeau, L. Borgiet, F. Boutault, G. Brousse, M. Cassel, T. Depret et al., (2019). Dossier : L'hydromorphologie. Published online: 14 August 2019. DOI: 10.1051/lhb/2019037

Ministère de la transition écologique, 2021. Séquence-éviter-réduire-compenser – Une démarche pour intégrer l'environnement dans l'aménagements des territoires, 2 pages.

Parrot E., 2015. Analyse spatio-temporelle de la morphologie du chenal du Rhône du Léman à la Méditerranée. Thèse de doctorat, ENS de Lyon, 469p.

Pedroli, B., G. De Blust, K. Van Looy, and S. Van Rooij (2002). Setting targets in strategies for river restoration, *Landscape Ecol.*, 17, 5–18.

Petts G.E. (1979). Complex response of river channel morphology subsequent to reservoir construction. *Progress in Physical Geography*, 3: 329-362.

Petts G.E. et A.M. Gurnell (2005). Dams and geomorphology: research progress and future directions. *Geomorphology*, 71: 27-47.

Piégay H., 2015. Note technique, expertise hydromorphologique de la Dordogne moyenne. CNRS-UMR 5600/EVS, ENS de Lyon, 7p.

Piégay H., Arnaud F., Cassel M., Dépret T., Alber A., Michel K., Rollet A.-J., Vaudor L. (2016) – Suivi par RFID de la mobilité des galets : retour sur 10 ans d'expérience en grandes rivières. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 67, 77-91.

Pustelnik G., 1982. Les saumons de la rivière Dordogne : 1189 – 1981. I.B.D., Ministère de l'environnement, Direction de la protection de la nature – fédération Départementale de la pêche de la Dordogne, 54p.

Pustelnik G., 1987. Etude écologique préalable à l'aménagement piscicole de la rivière Dordogne. Thèse de biologie, Université de Bordeaux III, 104p.

Rollet, A.J., 2007. Etude et gestion de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage : le cas de la basse vallée de l'Ain. Thèse de doctorat, Université Jean Moulin, Lyon 3, 305 p.

Rollet, A. J., Piégay, H., Dufour, S., Bornette, G., & Persat, H. (2013). Assessment of consequences sediment deficit on a gravel river bed downstream of dams in restoration perspectives: applications of multicriteria, hierarchical and spatially explicit diagnosis. *River Research and Applications*, 30(8), 939–953. doi:10.1002/rra.2689

Riquier J., 2015. Réponses hydrosédimentaires de chenaux latéraux restaurés du Rhône français. Structures spatiales et dynamiques temporelles des patrons et des processus, pérennité et recommandations opérationnelles. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2, 294p.

SDAGE-AG, 2016. Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Adour-Garonne. 296p.

Sear, D. A. (1994). River restoration and geomorphology, *Aquat. Conserv. Mar. Freshwater Ecosyst.*, 4, 169–177.

Thibault, M., 1987. Eléments de la problématique du saumon atlantique en France, 12 p. Thibault et Billard (Dir.), *Restauration des rivières à saumons*, INRA, Paris, pp. 413-425.

Thomas, Olivier et Marie-Anne Germaine, 2018. « De l'enjeu de conservation au projet de territoire : Le saumon atlantique au cœur des débats », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 18 numéro 2 | septembre 2018, URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/22259> ; DOI : 10.4000/vertigo.22259

UNPG, 2006. Approvisionnement et transport de granulats. Quels coûts pour la collectivité ? 6 pages. URL : <https://www.unpg.fr/wp-content/uploads/approvisionnement-et-transport-de-granulats-en-aquitaine.pdf>

Tinel, C., 1983. Eléments pour la réintroduction du saumon atlantique dans la rivière Dordogne. Rapport stage E.N.S.A.T. Toulouse, 69 pages.

Valentin S., 1995. Variabilité artificielle des conditions d'habitat et conséquences sur les peuplements aquatiques : effets écologiques des éclusées hydroélectriques en rivière. Thèse doc., Univ. Claude Bernard, Lyon I, 271 p.

Verdeyroux P., 2020. Les poissons du bassin de la Dordogne. EPIDOR – Réserve de Biosphère.

Vermaat, J., Wagtendonk, A., Brouwer, R. et al. (2016). Assessing the societal benefits of river restoration using the ecosystem services approach. *Hydrobiologia*, 769(1), 121–135. In Roy Brouwer and Oleg Sheremet, The economic value of river restoration, *Water Resources and Economics*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wre.2017.02.005>

Viparelli, E., Gaeuman, D., Wilcock, P., & Parker, G. (2011). A model to predict the evolution of a gravel bed river under an imposed cyclic hydrograph and its application to the Trinity River. *Water Resources Research*, 47(2). doi:10.1029/2010wr009164

Joseph M. Wheaton, Gregory B. Pasternack & Joseph E. Merz (2004). Spawning habitat rehabilitation - I. Conceptual approach and methods, *International Journal of River Basin Management*, 2:1, 3-20, DOI: 10.1080/15715124.2004.9635218

Weber, Christine; Åberg, Ulrika; Buijse, Anthonie D.; Hughes, Francine M.R.; McKie, Brendan G.; Piégay, Hervé; Roni, Phil; Vollenweider, Stefan; Haertel-Borer, Susanne (2017). Goals and principles for programmatic river restoration monitoring and evaluation: collaborative learning across multiple projects. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*. <https://doi.org/10.1002/wat2.1257>

Wohl, E., S. N. Lane, and A. C. Wilcox (2015). The science and practice of river restoration, *Water Resour. Res.*, 51, 5974–5997, doi:10.1002/2014WR016874

Liste des figures

Figure 1. Synthèse des projets de restaurations écologiques sur les rivières aux Etats-Unis d'Amérique entre 1970 et 2003 et articles de presses et scientifiques associés (modifié d'après Bernhardt et al., 2005).	2
Figure 2. Evolution du nombre de rivières françaises fréquentées par le Saumon Atlantique (modifié d'après Thibault, 1987), avec de gauche à droite, la situation en 1750, puis celle à la fin du 19 ^{ème} , et enfin celle à la fin du 20 ^{ème} siècle avant réintroduction.....	5
Figure 3. Bassin versant de la rivière Dordogne, et localisations des pressions impactant l'hydrosystème et sa biodiversité dans sa moyenne vallée.....	10
Figure 4. Démarche scientifique.....	11
Figure 5. (A) Changements climatiques en Europe occidentale (excédant de température et précipitation en jours par an, (modifié d'après Beniston, 2009), et (B) fréquence des épisodes potentiellement morphogènes (supérieurs au débit de plein bord à Argentat (550 m ³ /s) en hydrologie naturelle (débits enregistrés entre 1900 et 1969 et reconstitués entre 1969 et 2018) (Boutault, 2020).....	13
Figure 6. (A) Evènements de crues les plus intenses enregistrés annuellement à la station d'Argentat, et (B) Evolution de la largeur de la bande active de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée par segment de 250 mètres linéaires depuis 1840 (losange gris et ligne grise pointillée pour les valeurs moyennes ; Régulation 1 induite par les changements climatique et d'occupations des sols, Regulation 2 induite par les barrages).....	14
Figure 7. Modifications du tracé en plan de la rivière Dordogne entre 1840 et 1948 : A – Stabilité sur sa partie Corrézienne ; et B – Transition d'un style à chenaux multiples vers un style à chenal unique méandriforme sur sa partie Lotoise (Boutault, 2020).	16
Figure 8. Localisation des bancs alluviaux dégradés-végétalisés entre 1948 et 1966 (Boutault, 2020), et pourcentage de frayères à grands salmonidés recensées depuis 1999 hébergées par les différents tronçons (Lascaux et al., 1999).....	18
Figure 9. Régulation de la fréquence des crues par les barrages de la Dordogne amont depuis 1957.....	19
Figure 10. Evolution diachronique de la bande active de la Dordogne dans sa moyenne vallée (segmentation par tronçon de 250 mètres linéaires de cours d'eau).....	20

Figure 11. Evolution de la surface des îles sur la Dordogne moyenne depuis 1840.....	22
Figure 12. Ajustements morphologiques de la rivière Dordogne au droit de la fosse du Roc (dans le département du Lot – 46200 ; Source : IGN).....	23
Figure 13. Gravières en lit majeur présentant un risque de capture lors des événements de crues : (A) Astaillac, (B) Prudhomat, (C) Mézels et Pontou et (D) Saint-Julien de Lampon (Source : IGN – BD Ortho 2012).....	24
Figure 14. Profil en long de 1998, et fosses d'extractions non-ajustées (Source : EPIDOR).26	
Figure 15. Trajectoire d'évolution temporelle de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée avec (1) L'état d'équilibre fonctionnel de la rivière lors de son changement de style fluvial entre 1840 et 1948, (2) La réduction de la dynamique fluviale et la simplification du système suite à la régulation hydrosédimentaire induites par les barrages, (3) Les perturbations induites par les extractions qui contribuent à un nouveau déséquilibre, (4) Les ajustements post-extractions et enfin (5) la projection hypothétique vers un nouvel état d'équilibre fonctionnel, état fonctionnel adapté à la capacité de la rivière avec la présence des barrages.	29
Figure 16. Installation du dispositif de suivi de l'épaisseur de sédiments grossiers mobilisés en crues sur la Dordogne (galets synthétiques équipés de traceurs actifs).....	31
Figure 17. Suivi de la charge de fond suite à la crue de Janvier 2018 sur le site de Meyraguet (département du Lot – 46200).	32
Figure 18. Suivi de l'épaisseur de sédiments mobilisés lors de la crue de janvier 2018 sur le site de Meyraguet (département du Lot – 46200).	33
Figure 19. Photographies sur le site de Gimel (A) après suppression de l'enrochement en 2014, et (B) après l'événement de crue de janvier 2018, et (C) érosion observée sur le site de Gimel entre 2012 (avant suppression de l'enrochement) et 2019 (après suppression et épisode de crue de janvier 2018).	35
Figure 20. Erosion et construction de plaine alluviale sur le secteur de Pinsac entre 1995 et 2012.	36
Figure 21. Progression potentielle du déficit sédimentaire amont sur la rivière Dordogne, et pourcentage des frayères de grands salmonidés recensées depuis 1999.	39

Figure 22. Localisation des secteurs où les fosses d'extractions perdurent, et évaluation de la propagation du déficit sédimentaire en aval des fosses, propagation liée aux piégeages de la charge de fond.....	41
Figure 23. (A) Chenalisation et perte de nombreux radiers et annexes fluviales sur le secteur de Pontou en amont du pont Miret (46) et (B) Déconnexion de la couasne de Port-Vieux et diminution de la surface des radiers dans le chenal principal à Floirac (46) entre 1948 et 2012.	42
Figure 24 . Taux de déconnexion (en cm/an) entre la plaine alluviale et le chenal principal de la rivière Dordogne dans sa moyenne vallée depuis 1840 (modifié d'après Bulteau, 2017 et Boutault, 2020).	43
Figure 25. Corrélations entre A- le ratio largeur/profondeur dans le chenal et la diversité d'habitat, et B – la diversité d'habitat et le nombre d'espèces de poissons sur The Nanxi River dans le sud-est de la Chine (modifié d'après Li et al., 2020).....	44
Figure 26. Patron amont-aval des surfaces de bancs alluviaux en 1948, 1966 et 1995 avec (1) pertes associées à la régulation des crues par les barrages (Q_l entre 1948-1966 et 1995-2012) et à la propagation des déficits sédimentaires (Q_s) amont (barrages) et aval (extractions) ; (2) gains (entre 1966 et 1995) induits par les ajustements de crues post-extractions (entre 1984 et 1994).	45
Figure 27. Temps entre deux crues (A) Points noirs : d'après les QMJ (débits moyens journaliers) enregistrés à la station d'Argentat ; Points gris : d'après les QMJ (débits moyens journaliers) enregistrés à la station de Cénac ; Points blancs avec un contour noir : débits naturels reconstitués à la station d'Argentat (B) par période : (a) 1900-1957 (d'après les QMJ avant barrages), (b) 1969-2018 (d'après les QMJ naturels reconstitués), et (c) 1957-2018 (d'après les QMJ après barrages) avec en zone grisée entre les lignes en pointillés le temps hypothétique au-delà duquel la végétation est installée de manière pérenne.	46
Figure 28. Bilan écologique de la séquence ERC (Ministère de la transition écologique, 2021).	49
Figure 29. Plaquette ministérielle de la « Transition écologique ».	53
Figure 30. A – Le barrage du Plan d'Arem (Garonne amont) soumis à une gestion en « transparence sédimentaire », B – Galerie de dérivation en « by-passing » en Suisse et C – Schéma conceptuel de systèmes de « by-passing » (d'après Auel, 2018).	54

Figure 31. Réhabilitation morphologique de la rivière Drac par injections sédimentaires et recréation d'un matelas alluvial présentant un style en tresses : (a) profil en long de l'élévation du fond du lit avant (1913 et 2009) et après restauration, (b) profil en travers de l'élévation du fond du lit avant et après restauration, et photographies (c) avant et (d) après restauration (d'après Brousse et al., 2020).	61
Figure 32. Techniques d'injections sédimentaires « passives » alimentant un fond de roulement nécessaire au maintien des sites réhabilités par injections ciblées (modifié d'après McBain et Trush, 2003).	61
Figure 33. A – Surfaces d'habitats des saumons (Pré-smolts : Tacons) cartographiées à 12,7 m ³ /s et écarts-types des profondeurs avant (2009) et après (2011 et 2017) injections de graviers sur la Trinity River ; B – Répartition spatiale de ces surfaces (en 2009, 2011 et 2017) (d'après Gaeuman et Boyce, 2018).	63
Figure 34. Déplacement du barycentre du nuage de traceurs en fonction du débit maximal enregistré lors des crues suivis sur le Rhin (d'après Piégay et al., 2016).	64
Figure 35. A - Technique d'injections ciblées pour améliorer la qualité du substrat et/ou agrandir les surfaces résiduelles, ou encore, recréer totalement des formes fluviales adaptées à la fraie des poissons lithophiles (modifié d'après McBain et Trush, 2003), et exemples de ce type d'intervention sur la rivière Dordogne avec en B – le site du Chambon (2020), C – Le site du Malpas (2017) et D – le site DTG (2017).	69
Figure 36. Exemple de travaux sur les annexes fluviales (bras vifs) réalisés par EPIDOR sur la rivière Dordogne sur le secteur amont (A) Bras du Chambon et (B) Bras de Champagne.	73
Figure 37. Ajustements post-extractions (1984-2020) de la rivière Dordogne sur le site du Roc (département du Lot – 46).	78
Figure 38. Connexion entre la rivière Dordogne et la gravière d'Astaillac située en rive droite pour un débit d'étiage : A – vue depuis la Dordogne, B – vue de la rivière depuis le chenal entre la gravière et la Dordogne, C – vue depuis le chenal entre la gravière et la Dordogne vers la gravière, et D – vue de l'ancienne gravière.	79
Figure 39. Schéma du comblement total d'une fosse d'extraction par reconstruction de plaine alluviale fonctionnelle (modifié d'après Bunte, 2004).	81

Figure 40. Réhabilitation de la plateforme d'extraction du site de Veyrignac par EPIDOR en 2015. Photographies aériennes avant travaux (2015), 1 an après les travaux (2016) et 2 ans après travaux (2017), avec : en rouge la zone concernée par les travaux, en vert l'îlot qui s'est, malgré la suppression de la végétation en 2015, très rapidement re-végétalisé (régulation des crues) et en jaune l'engraissement et la végétalisation du banc alluvial en amont de la fosse d'extraction encore présente dans le chenal principal illustrée par la flèche rouge.....	82
Figure 41. Végétalisation (entre 1998 et 2000) des bancs alluviaux créés par les crues de 1994 en amont du pont de Lanzaç. Végétation devenue pérenne en 2005.	86
Figure 42. Remplissage par les sables en transit d'une ancienne fosse d'extraction en lit mineur sur le Cher (Depret, 2020).	89
Figure 43. Mise en place de structures en épis en amont du pont du chemin de fer à Floirac pour favoriser le dépôt des sédiments fins, et accélérer le retour à une largeur permettant à la rivière de transporter les sédiments grossiers vers l'aval dans son chenal principal.	91
Figure 44. Exemple de travaux d'entretien d'annexes fluviales réalisés par EPIDOR sur la rivière Dordogne.....	93
Figure 45. Mesures de lame d'eau et d'épaisseur de fine dans les bras (Riquier, 2015).....	116
Figure 46. Prélèvements de fines dans les bras (Riquier, 2015).....	117

Liste des tableaux

Tableau 1. Volume de sédiments grossiers entrant dans le chenal de la Dordogne par érosion latérale entre 1966 et 2012.	34
Tableau 2. Volume de sédiments grossiers stockés en plaine alluviale de la Dordogne par construction entre 1966 et 2012.	37
Tableau 3. Coût (prix en euros et HT) de l'extraction des sédiments piégés dans une retenue de barrage selon le matériel de draguage utilisé (modifié d'après Rollet 2007 ; Source : CNR, données fournies par l'entreprise Tournaud) et du transport des matériaux (UNPG, 2006 et donc, hors cout actuel des carburants).	57
Tableau 4. Prix au m ³ des sédiments injectés sur différentes rivières et bassins à travers le monde.	67
Tableau 5. Sites concernés par des actions d'apports sédimentaires ciblés ou de scarification visant à augmenter les surfaces potentielles de reproduction des grands salmonidés sur la Dordogne amont (données EPIDOR et ECOGEA).	71

Annexes

Protocole pour le suivi des annexes fluviales sur la rivière Dordogne

Lors d'une première campagne réalisée en 2017 (Boutault, 2020), une trentaine d'annexes fluviales ont été suivies sur l'ensemble du linéaire de la Dordogne moyenne. Pour compléter ce premier suivi, il est primordial de réaliser un second suivi hydrosédimentaire sur ces mêmes annexes : avec (1) des mesures ponctuelles de la hauteur d'eau et de l'épaisseur d'alluvions fines (fraction < 2 mm) à l'aide d'une perche graduée. Les points sondés seront, comme lors du premier suivi, distribué tous les 10 mètres de linéaire, le long de l'axe médian des bras. Afin de palier à l'incertitude de l'évaluation de l'épaisseur de vase, les valeurs ponctuelles d'épaisseur de la lame d'eau et de la couche de sédiments fins retenues pour chaque point de sondage sont généralement issues d'une moyenne de trois à cinq mesures réalisées sur une surface d'environ 0,25 m². De cette façon, nous prendrons en compte la variabilité microtopographique locale (Figure 45) ;

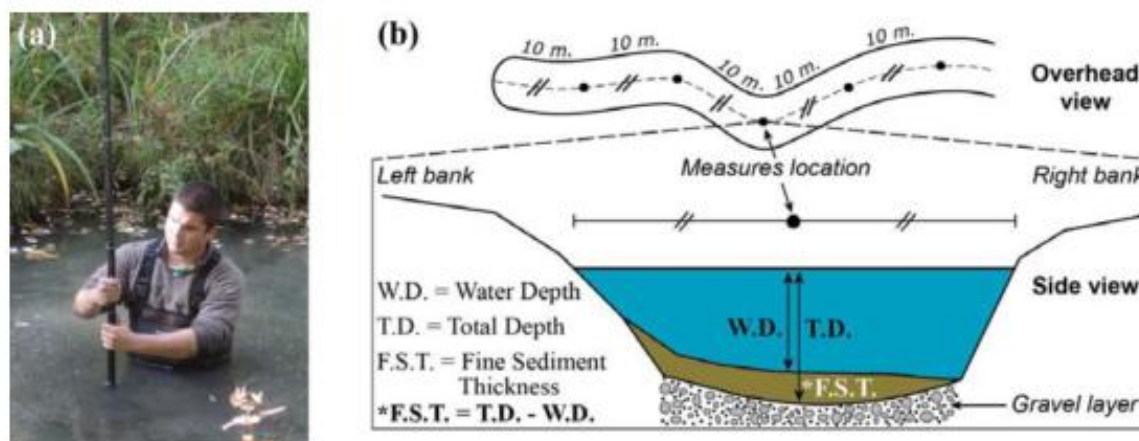


Figure 45. Mesures de lame d'eau et d'épaisseur de fine dans les bras (Riquier, 2015).

Et (2), cinq échantillonnages équirépartis longitudinalement dans l'axe du chenal pour rendre compte de la distribution granulométrique des sédiments fins à l'intérieur des annexes fluviales. Tout échantillon dont la taille médiane estimée excèdera 2

mm sera considéré comme matériel grossier, sans distinction de taille plus précise, et seuls les échantillons de fines seront prélevés. Les échantillonnages seront effectués à l'aide d'une benne d'Eckmann sur une surface maximale d'environ 2 500 cm². Cet outil permettra d'effectuer un prélèvement volumétrique des dépôts superficiels sur les premiers centimètres du fond du lit (Figure 46).

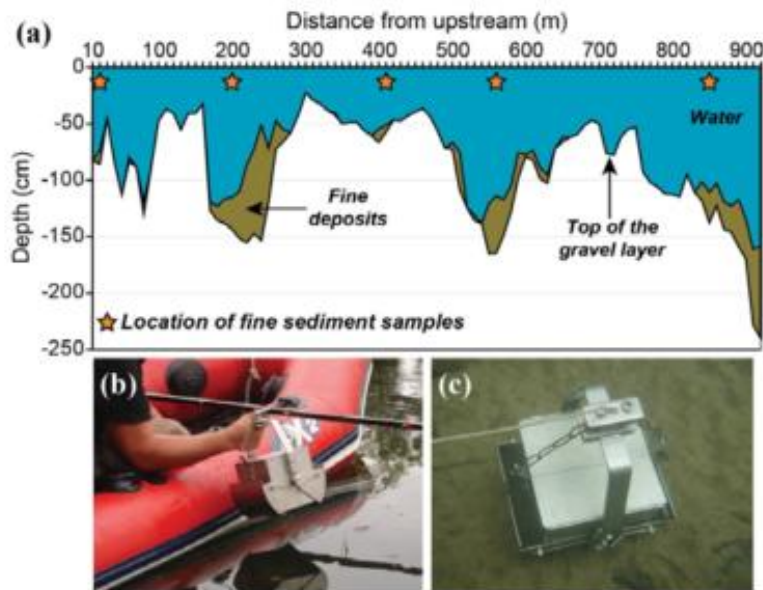


Figure 46. Prélèvements de fines dans les bras (Riquier, 2015).

L'ensemble des données récoltés lors de cette campagne de terrain seront intégrées à la base de données existante et les après traitements de l'information, les taux de recouvrement en fine, les taux de sédimentation, et une analyse en composante principale seront demandés. Ces résultats et leur interprétation permettront d'améliorer les connaissances sur le fonctionnement hydrosédimentaire de ces milieux et sur leur devenir (potentiel biologique, taux de sédimentation, types fonctionnelles...).