

ÉTABLISSEMENT PUBLIC
GARONNE

Gasconne & affluents pyrénées

**ÉTUDE PRÉALABLE
A LA DEFINITION D'UN PROGRAMME
D'ACTIONS DE « RESTAURATION »
DE LA DYNAMIQUE FLUVIALE
DE LA GARONNE
(disposition I.3 du SAGE)**

Diagnostic géomorphologique sur la Garonne
débordante (T4)

Amplitudes des changements récents,
objectifs à atteindre et types d'action à mener



Coordination scientifique et technique

Fabien Boutault – GSEENVIRONNEMENT

Correspondants maitre d'ouvrage

Cédric Treguer et Vincent Cadoret – EP Garonne

Graphisme et mise en page

GSEENVIRONNEMENT

Un point important sur le diagnostic pour la gestion

Il est aujourd'hui admis que les processus hydro-sédimentaires — crues, transport solide, dépôts et remobilisations — sont le moteur du maintien de la diversité des habitats aquatiques et riverains. Leur altération progressive sous l'effet des activités humaines a conduit à une dégradation diffuse du fonctionnement morphologique des cours d'eau, affectant aussi bien la biodiversité que la sécurité des populations, l'alimentation en eau potable ou la stabilité des ouvrages d'art.

La présente étude, inscrite dans le cadre du SAGE Vallée de la Garonne, s'attache à comprendre et quantifier ces déséquilibres pour initier une **démarche de gestion morpho-sédimentaire adaptée et adaptative**. L'objectif n'est pas seulement de dresser un état des lieux, mais de **fonder une méthode durable d'apprentissage collectif**, où la connaissance acquise alimente en continu les décisions et les ajustements.

Car un **diagnostic n'est pas une étape ponctuelle**, mais un **fil conducteur** que les gestionnaires doivent sans cesse actualiser pour suivre l'évolution du fonctionnement des rivières et répondre à des enjeux eux-mêmes en mutation. Cette approche repose sur une vision systémique et évolutive du fleuve.

Ainsi, l'initiation d'un diagnostic robuste s'articule en **cinq étapes complémentaires**, formant un cycle itératif de gestion :

1. **L'état des lieux** — fondé sur les connaissances antérieures, l'identification des caractéristiques morphodynamiques naturelles du tronçon et des interactions

anthropiques qui le façonnent (enjeux, objectifs, pressions) ;

2. **Le diagnostic** — élaboré selon une approche par hypothèses, pour collecter les données nécessaires à la définition des trajectoires morphologiques et fonctionnelles de la rivière ;
3. **La définition des objectifs** — traduisant la vision commune de ce que l'on souhaite restaurer ou préserver, sur des bases quantifiées et spatialisées ;
4. **La réalisation des actions** — appuyée sur un budget sédimentaire précis, permettant de calibrer les interventions, d'en mesurer les effets et d'adapter les leviers selon le contexte local ;
5. **Le suivi post-action** — indispensable pour évaluer, ajuster et apprendre, garantissant la continuité de la démarche et la capacité à anticiper les changements futurs.

Ce cadre méthodologique, formalise la logique d'une **gestion vivante**, fondée sur l'observation, l'expérimentation et le retour d'expérience. Il consacre le passage d'une vision "projet" à une vision "processus" : celle d'un fleuve que l'on accompagne dans son évolution, plutôt que d'un milieu que l'on cherche à figer.

En d'autres termes, il s'agit de construire un socle de connaissance et de décision commun, partagé entre scientifiques, techniciens, élus et usagers, capable de guider des choix collectifs dans un contexte hydrologique et climatique en profonde mutation.

Sommaire

1.	Introduction	1
2.	Site d'étude.....	2
2.1.	Contexte géographique et morphodynamique de la Garonne « débordante ».....	2
2.2.	Evolution naturelle récente du fleuve sur la Garonne « débordante »	3
2.3.	Inventaire des activités humaines récentes potentiellement à l'origine des dysfonctionnements morpho-sédimentaires constatés ou conséquences des perturbations engendrées	6
2.4.	Choix de la date pré-activités potentiellement à l'origine des changements récents	10
3.	Matériels et méthodes	11
4.	Résultats et discussions	12
4.1.	Évolution récente de l'hydrologie de crue.....	12
4.2.	Analyse temporelle de l'évolution planimétrique de la bande active.....	15
4.3.	Analyse longitudinale de l'évolution planimétrique de la bande active.....	18
4.3.1.	Lecture par secteurs aux tendances d'évolution et potentiel de récupération homogènes ...	18
4.3.2.	Synthèse opérationnelle (tronçon « Garonne débordante »)	22
5.	Objectifs et types d'actions par secteurs	25
5.1.	Objectifs généraux.....	25
5.2.	Secteurs prioritaires et leviers d'action	25
5.3.	Typologies d'actions envisageables.....	26
5.4.	Contraintes et points de vigilance	28
5.5.	Planification et validation collective.....	29
5.6.	Typologie d'action par secteur.....	30
5.7.	Données complémentaires à acquérir	30
5.8.	Conclusion opérationnelle	30
6.	Références	32

1. Introduction

Comme sur de nombreux grands cours d'eau français et européens, les **dysfonctionnements morphologiques observés sur la Garonne** trouvent leur origine dans les **activités humaines passées** et certains **aménagement encore en place**. Au cours du XX^e siècle, le fleuve a subi un **fort déficit sédimentaire**, conséquence directe des **extractions de granulats** et de la **construction en série de barrages** et d'ouvrages de correction torrentielle, aussi bien sur la Garonne que sur ses principaux affluents (La Pique, la Neste, l'Ariège, le Tarn et le Lot).

Ces perturbations ont profondément modifié le fonctionnement fluvial : de nombreuses **formes naturelles (bancs de galets, annexes fluviales)** ont disparu ou se sont transformées en **plaines alluviales déconnectées** du lit principal. Cette déconnexion compromet aujourd'hui plusieurs **services écosystémiques essentiels** — alimentation en eau potable, régulation des crues, maintien des habitats aquatiques, ou encore production énergétique.

1.1. Objectifs de l'étude

L'état des lieux mené dans le cadre de cette étude met en évidence la nécessité de réaliser des diagnostics quantifiés et spatialisés sur certains tronçons encore fonctionnels de la Garonne.

Ces travaux permettront de définir :

- l'état actuel du fleuve,
- les objectifs de restauration ou de réhabilitation atteignables,
- et les actions prioritaires pour accompagner le fleuve vers un nouvel équilibre fonctionnel, adapté aux enjeux actuels et futurs.

Afin de maximiser l'efficacité des interventions, ce diagnostic a été élaboré d'amont en aval, en concertation avec les acteurs du territoire, pour optimiser les leviers d'action sur chaque tronçon étudié.

Les secteurs prioritaires identifiés sont :

- la Garonne hydroélectrique (T2 : de la confluence avec la Neste au barrage de Mancières),
- la Garonne de Piémont (T3 : du barrage de Mancières à la confluence avec l'Ariège),
- et la Garonne débordante (T4 : de la confluence avec l'Ariège à celle du Tarn).

La suite du document porte exclusivement sur l'initiation du diagnostic sur le tronçon T4 – Garonne "Débordante".

1.2. Principaux constats sur la Garonne "débordante"

L'analyse de la bande active sur plus de 90 km montre qu'entre 1957 et aujourd'hui, le fleuve a subi :

- une rétraction de 214 ha,
- une incision moyenne de 2,5 m,
- et une simplification notable de sa morphologie.

Ces évolutions se traduisent par la disparition d'environ 158 ha de bancs de galets et 105 ha d'annexes fluviales (bras vifs et morts).

Aujourd'hui, la Garonne présente une faible capacité naturelle de régénération, justifiant un accompagnement vers un nouvel équilibre morphologique pour préserver ou reconstituer les surfaces et habitats perdus.

1.3. Enjeux écologiques et écosystémiques

Les zones disparues jouaient un rôle clé pour de nombreuses espèces emblématiques ou menacées :

- Poissons migrateurs : Saumon, Truite, Lamproie de Planer, Brochet, Vandoise rostrée, etc.
- Oiseaux et mammifères : Petit-gravelot, Hirondelle de rivage, Loutre...
- Amphibiens et flore alluviale : Crapaud commun, Peuplier noir, Saules arborescents, Nénuphar jaune, Flûteau nageant...

Ces milieux rendaient également d'importants services écosystémiques :

- expansion des crues,
- régulation thermique,
- alimentation des nappes d'accompagnement pour l'eau potable, etc.

1.4. Perspectives et démarche collective

Depuis plusieurs années, des acteurs locaux (Fédérations de pêche, associations, collectivités) se mobilisent pour la restauration de ces milieux.

Leurs actions vont dans le bon sens mais se heurtent encore à :

- un manque de pérennité de certaines interventions,
- et un déficit de connaissances pour mieux prioriser et planifier les futures restaurations.

La présente étude vise donc à combler ces lacunes et à proposer un cadre de diagnostic opérationnel, structuré en quatre volets :

- Site d'étude
- Matériels et méthodes
- Résultats et discussions
- Objectifs et types d'actions



2. Site d'étude

2.1. Contexte géographique et morphodynamique de la Garonne « débordante »

Localisé dans le sud-ouest de la France, au sein du territoire hydrographique Adour-Garonne, le fleuve Garonne constitue le quatrième plus long cours d'eau de France. Son bassin versant couvre une superficie d'environ 56 000 km², soit plus de 10 % du territoire métropolitain français (Figure 1A).

Prenant sa source dans les Pyrénées espagnoles, à une altitude d'environ 2 820 mètres, la Garonne s'écoule sur près de 528 kilomètres

avant de confluer avec la Dordogne pour former l'estuaire de la Gironde. Sur ce linéaire, environ 480 kilomètres (près de 90 % du total) se situent en France, traversant plusieurs grandes agglomérations telles que Toulouse, Agen et Bordeaux (Figure 1B).

Le tronçon de la Garonne étudié, désigné ici sous le nom de « Garonne débordante » et noté T4, s'étend sur 96,55 km entre la confluence avec l'Ariège et celle avec le Tarn. Il présente une pente moyenne d'environ 0,001 m/m (Figure 1B). Ce tronçon, relativement homogène, ne reçoit aucun affluent majeur susceptible d'apporter des sédiments grossiers, et son

bassin intermédiaire reste modeste, avec une superficie de 5 327,83 km² (Figure 1B).

Des déficits sédimentaires sont observés sur la Garonne de Piémont en amont, en raison de la présence d'ouvrages hydroélectriques tels que Saint-Vidian, Labrioulette et Mancières, ce dernier étant le plus aval (Figure 1B ; Boutault, 2025). Sur l'Ariège, des phénomènes similaires sont liés au barrage de Labarre (Figure 1B ; Boutault, 2024 ; Boutault, 2025).

Ainsi, le tronçon de la Garonne débordante compose avec une forte capacité de mobilisation des sédiments présents dans son

lit (Jantzi, 2018), mais doit faire face à l'absence de solutions efficaces pour assurer une transparence sédimentaire au niveau des ouvrages situés en amont. Dans ce contexte, la remobilisation latérale des sédiments au sein de la plaine alluviale constitue aujourd'hui le principal levier d'action envisageable.

Sur ce tronçon T4, la Garonne s'écoule au sein d'une large plaine alluviale (8,7 km en moyenne ; Figure 7B), offrant davantage de possibilités d'intervention que les tronçons situés en amont, notamment ceux de la Garonne hydroélectrique et de la Garonne de Piémont.

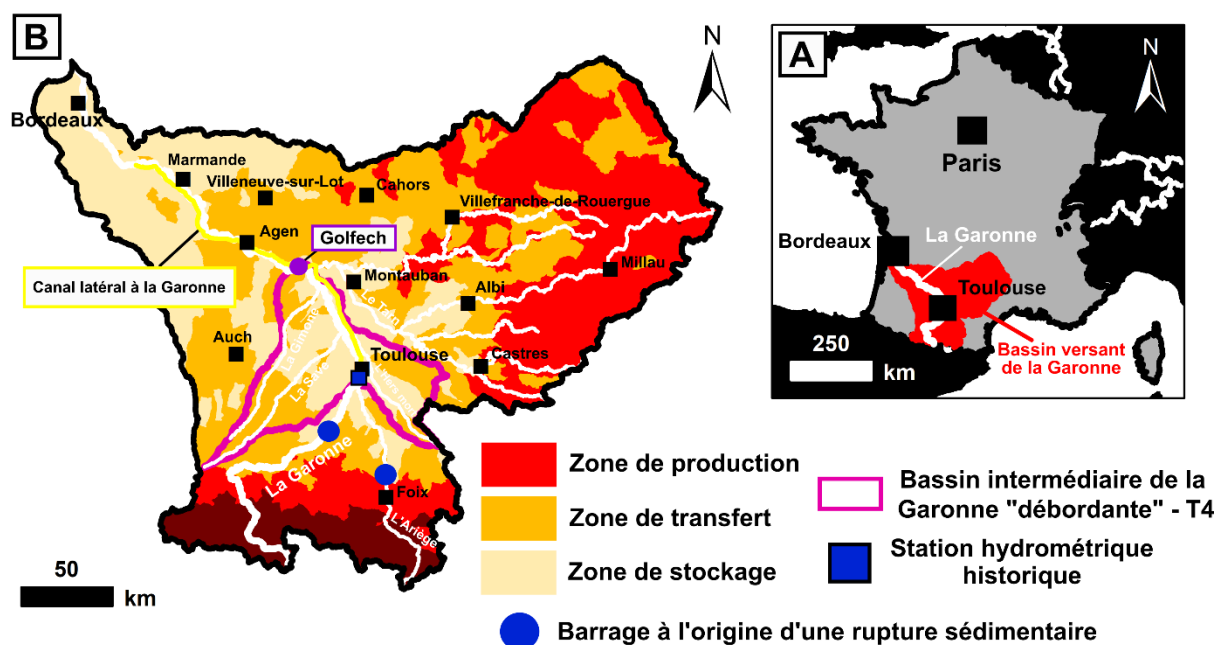


Figure 1. A - Localisation du bassin versant de la Garonne et B – Localisation et caractéristiques du tronçon homogène de la Garonne « débordante » noté T4.

2.2. Evolution naturelle récente du fleuve sur la Garonne « débordante »

Les travaux antérieurs menés sur le tronçon T4 ont mis en évidence une forte incision du lit fluvial ainsi qu'une réduction marquée de la bande active. L'analyse des évolutions planimétriques et altimétriques récentes a permis de distinguer trois grandes phases de changements :

- (1) Entre 1830 et 1860, une première phase d'exhaussement du fond du lit et d'élargissement de la bande active est observée. Ces dynamiques sont très probablement liées aux événements hydrologiques extrêmes du Petit Âge Glaciaire (PAG). Durant cette période, l'absence d'activités humaines d'envergure (barrages, modifications significatives des

usages du sol) a permis la mobilisation, le transport et le dépôt des sédiments jusqu'aux zones de transfert et de stockage des bassins versants, entraînant localement un exhaussement du lit.

- (2) De 1860 à 1920, une seconde phase se caractérise également par un exhaussement du fond du lit, mais cette fois associé à une rétraction de la bande active. Les événements extrêmes deviennent alors moins fréquents, traduisant une sortie progressive du Petit Âge Glaciaire. Le système fluvial s'adapte progressivement à ce nouveau régime hydrologique : la réduction de la bande active s'accompagne d'un exhaussement lié à une perte progressive de la capacité de transport sédimentaire.
- (3) Entre 1920 et les années 2000, une troisième phase marque une incision marquée du lit et une contraction importante de la bande fluviale (David, 2016).

Jusqu'aux années 1920, il apparaît donc qu'aucune perturbation brutale des apports sédimentaires en provenance de l'amont n'a été enregistrée, comme en témoigne la tendance générale à l'exhaussement du lit. La rétraction de la bande active observée entre 1860 et 1920 traduit une réduction de la taille du système fluvial, sans pour autant signifier une perte de

fonctionnalité écologique. En effet, cette rétraction s'accompagne d'un exhaussement du lit, permettant le maintien des annexes fluviales (bras secondaires, zones humides, etc.).

La sortie progressive du PAG s'est traduite par une diminution de la fréquence et de l'intensité des crues extrêmes, moteur principal de la dynamique fluviale. En l'absence d'activités anthropiques majeures perturbant le transit sédimentaire (barrages, extractions, urbanisation), cet exhaussement témoigne vraisemblablement d'une baisse progressive de la capacité du fleuve à mobiliser les sédiments issus des têtes de bassins et de la plaine alluviale. Cette évolution conduit à une simplification du système fluvial, caractérisée par une diminution du nombre et de la superficie des annexes hydrauliques (bras morts, chenaux secondaires, etc.).

Il convient de noter que la période du Petit Âge Glaciaire (environ 1850 – 1930 ; Paasche & Bakke, 2010) se distingue par un hydrodynamisme particulièrement fort, marqué par des crues fréquentes et intenses dans les bassins versants sensibles et réactifs de la Garonne amont et de l'Ariège. Cette période correspond à une crise érosive majeure, caractérisée par des processus torrentiels ayant provoqué d'importants dommages dans les secteurs concernés (Figure 2).





Figure 2. Apports sédimentaires du Nabe jusqu'à la confluence avec l'Ariège lors de la crue de 1900.

Pour sécuriser les biens et les personnes sur les territoires de montagnes sujets à ces processus torrentiels, de nombreux ouvrages de correction ont alors été implantés à la fin du 19^{ème} et au début du 20^{ème} siècle (exemple sur la Pique ; Bulteau, 2023).

La crue de la Garonne de 1875 est un exemple de ce type d'événement extrême pour le tronçon plus aval de la Garonne « débordante ». Cette crue « historique » de la Garonne, enregistrée dans la nuit du 23 au 24 juin 1875, a causé la mort de 476 personnes dans les

départements de la Haute-Garonne, du Tarn-et-Garonne et du Lot-et-Garonne, dont 209 dans la seule ville de Toulouse. Lors de cet événement une hauteur d'eau de 8,32 mètres à l'échelle limnimétrique du Pont Neuf a été enregistrée (Figure 3). A titre de comparaison, ce serait 3,75 mètres de plus que lors de la crue de 1952, où la Garonne avait enregistré un débit de 3830 m³/s, soit un débit supérieur au débit de crue de retour 50 ans (Q50 > 3380 m³/s à la station de Portet-sur-Garonne (code station : O200 0010 02 ; Source : Hydroportail).

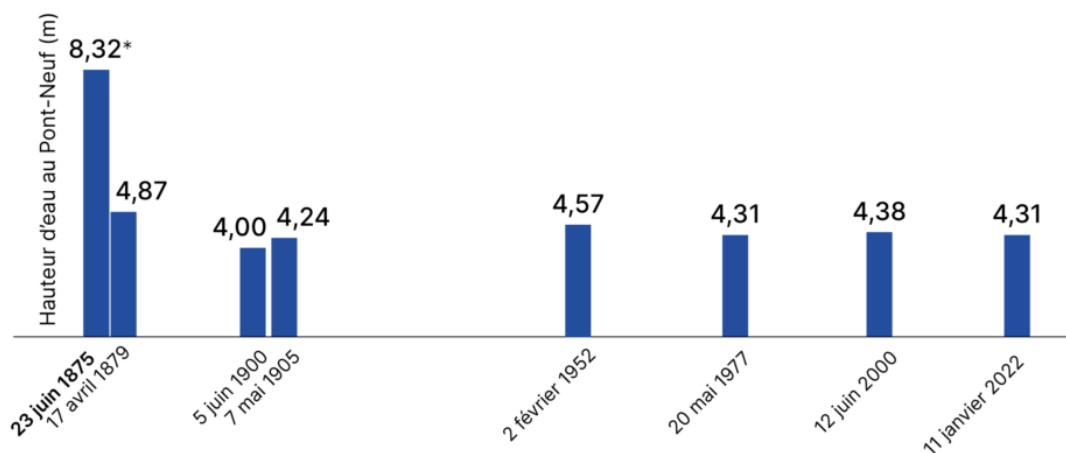


Figure 3. Hauteur d'eau au Pont-Neuf à Toulouse pour certaines crues historiques enregistrées par la Garonne.

Les effets de la crue de 1875 ont été dévastateurs dans un système qui, à l'époque, était nettement plus résilient (plus large et plus diversifié). Aujourd'hui, la bande active du fleuve et son caractère a chenal unique encaissé, serait moins résilient à ce type d'épisode du fait de la

disparition de nombreuses annexes (zones d'expansion des crues). De plus, le changement climatique en cours montre que ce type d'épisode semble de plus en plus probable chaque année (Figure 4).



Figure 4. La Garonne en 1848 (carte d'état-major) et en 2022 sur le secteur de Grisolles (source : <https://remonterletemps.ign.fr>).

Entre 1900 et 1950, avant les extractions en lit mineur et la mise en service des barrages et ouvrages de correction torrentielle de l'amont (Ariège et Garonne), la Garonne « débordante » devait donc disposer de nombreuses surfaces de bancs de galets nus et de nombreuses annexes fluviales témoignant de ces changements post-PAG et de l'effet des ouvrages bloquants de l'amont (barrages et ouvrages de corrections) pas encore totalement diffuser à l'aval (vidange sédimentaire par l'amont).

Les ouvrages de correction torrentielle semblent avoir été implantés avant 1950 sur les têtes de bassin. Les extractions en lit mineur ont généralement eu lieu dans les années 1950 à 1990 en France et les images aériennes de 1957 semblent indiquer que l'activité intensive d'extraction débutait (Figure 5). Les barrages de l'amont (Ariège et Garonne) ont été mis en service entre 1930 et 1965 et la présence de bancs de galets nus (165 ha en 1957 ; Figure 5) sur l'intégralité du tronçon suggère que le système ne s'était pas intégralement vidangé depuis l'amont.

2.3. Inventaire des activités humaines récentes potentiellement à l'origine des dysfonctionnements morpho-sédimentaires constatés ou conséquences des perturbations engendrées

A la date de 1957, date la plus ancienne dont nous disposons pour étudier l'ensemble du linéaire à une même date et à un débit d'étiage (débit de 184 m³/s à la station de Portet-sur-Garonne le 6 mai 1957 ; Source : Hydroportail) permettant d'observer les surfaces de bancs de galets nus (Source : Remonter le Temps - IGN),

nous pouvons estimer que la rivière n'avait pas ou peu enregistré les conséquences des activités humaines récentes. La présence des bancs de

galets nus sur les photos aériennes en témoigne (Figure 5).

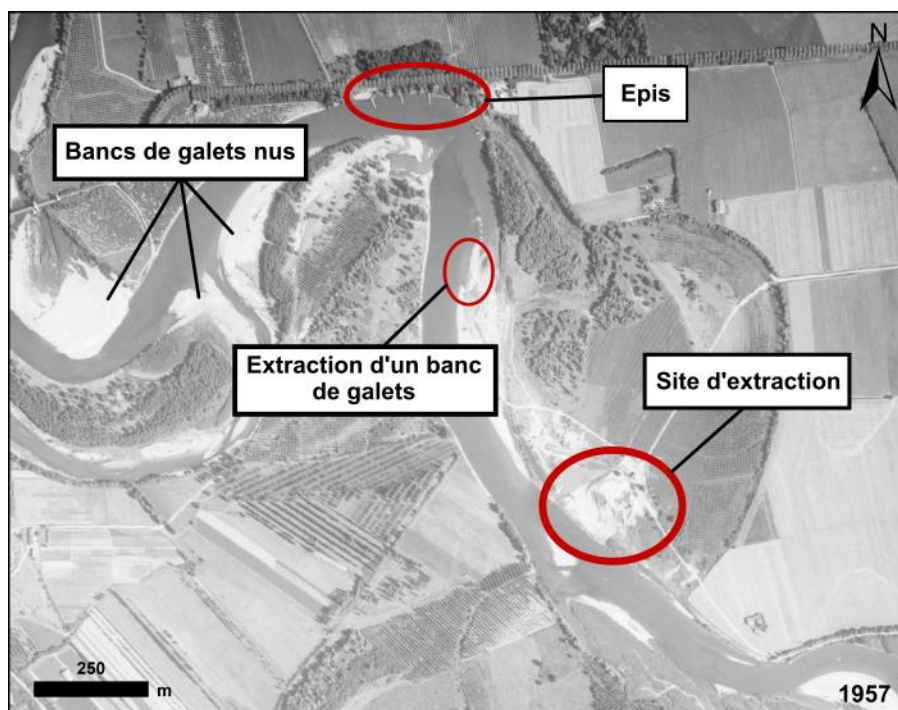


Figure 5. Vue aérienne de la Garonne débordante en 1957 à 66 kilomètres en aval de la confluence avec l'Ariège sur la commune de Montech (annexe fluviale de l'Espinassière) pour un débit de $184 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station de Portet-sur-Garonne.

En 1957, comme évoqué précédemment, nous pouvons observer de nombreuses extractions en lit mineur (Figure 5). Les points identifiés de ces extractions sur les images aériennes de 1957

regroupent à la fois les sites d'extractions (Figure 5) et les bancs de galets nus où une marque d'extraction est visible (Figure 6).

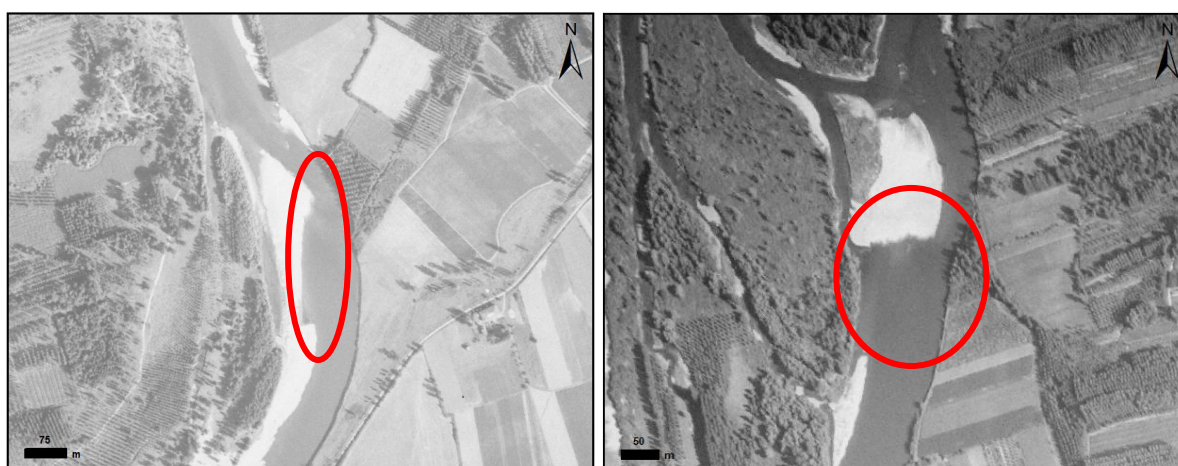


Figure 6. Exemples de bancs galets nus présentant des marques d'extraction en 1957 : à gauche sur la commune de Mas-Grenier et à droite sur la commune de Finhan.

A noter que la représentation longitudinale des bancs de galets nus en 1957, montre qu'aucun banc de galets nus n'était présent en 1957 sur les 20 premiers kilomètres du linéaire d'étude. Ces 20 premiers kilomètres correspondent en partie à la traversée de la ville de Toulouse, où les deux berges sont quasi-intégralement endiguées et le gabarit de la rivière (largeur-profondeur) contrôlé, à la fois pour la navigation mais aussi probablement pour la lutte contre les inondations, avec des curages probablement réalisés depuis des siècles (Figure 7).

Un autre point marquant sur ce tronçon est qu'aujourd'hui en amont du barrage de Malause (contrôle amont du canal de la centrale nucléaire de Golfech), ouvrage mis en service entre 1967 et 1969, un imposant plan d'eau (Saint-Nicolas-de-la-Grave) est présent. Ce plan d'eau semble résulter à la fois des extractions en lit mineur et de la mise en eau du barrage de Malause. Le plan d'eau actuel fait aujourd'hui une longueur totale de 16,56 kilomètres et semble constituer, du fait de la granulométrie fine (sables et limons des ilots formés récemment), un piège à sédiments pour le tronçon aval (piégeage du transport solide de la Garonne « débordante » et du Tarn).

Du fait de la présence de l'agglomération Toulousaine et du plan d'eau de Saint-Nicolas-de-La-Grave le linéaire réel d'étude sera ici compris entre la sortie de Toulouse (12,4 kilomètres en aval de la confluence avec l'Ariège) et l'amont du plan d'eau de Saint-Nicolas-de-la-Grave (85 kilomètres en aval de la confluence avec l'Ariège).

Enfin, quelques épis et des enrochements ont été recensés sur les photographies de 1957 et sur le terrain par EGIS. Parmi les épis recensés sur le terrain, seul deux ont été également recensés sur les images aériennes de 1957 (Figure 5 et 7). Les 20,7 kilomètres d'enrochements recensés sur le terrain n'étaient quant à eux pour la

plupart pas présents en 1957 sur les images aériennes.

La présence de seulement deux épis et l'absence d'enrochement en 1957 semble témoigner que le système, comme l'indiquent David (2016) et Jantzi (2018), était relativement stable en plan, avec très peu d'érosions de berges enregistrées post-PAG.

De plus, les enrochements et épis implantés sur la période de 1957 à aujourd'hui sont tous localisés sur le secteur où les extractions en lit mineur ont eu lieu. Leur implantation généralisée sur ce linéaire serait donc très probablement imputable à l'incision du lit causée par les extractions. Comme c'est le cas sur d'autres rivières (exemple sur la Dordogne ; Boutault, 2020), l'incision du lit a engendré des instabilités de berges qui devaient, du fait de l'incision, réajuster leur pente. En réponse à ces effondrements de berges, de longs linéaires ont alors été enrochés durant les années 1960 à 2000, principalement pour protéger des terres agricoles.

Les enrochements et épis, vraisemblablement implantés suite à l'incision du fleuve induit par les extractions en lit mineur, ont donc très probablement empêché les ajustements de la rivière sur au moins 20,7 kilomètres de berges (hors agglomération de Toulouse et Saint-Nicolas-de-la-Grave donc linéaire d'étude). Sans ces ajustements la plaine alluviale se trouve généralement de plus en plus déconnectée du fleuve et, dans certains cas où l'incision se poursuit, les enrochements et épis ont accentué cette incision, rendant possible l'effondrement même de ces ouvrages par sapement.

Ce type d'ouvrage (enrochements et épis) peut dans certains cas protéger des érosions de berges très localisées, par exemple pour protéger l'ancrage d'un pont ou un captage d'eau potable, mais ne peut en aucun cas

protéger des inondations. Seules les digues, peuvent protéger de certaines inondations, mais là aussi localement, puisque leur présence

ne fait que décaler l'inondation vers des surfaces à moindre enjeux, généralement moins urbanisées en aval.

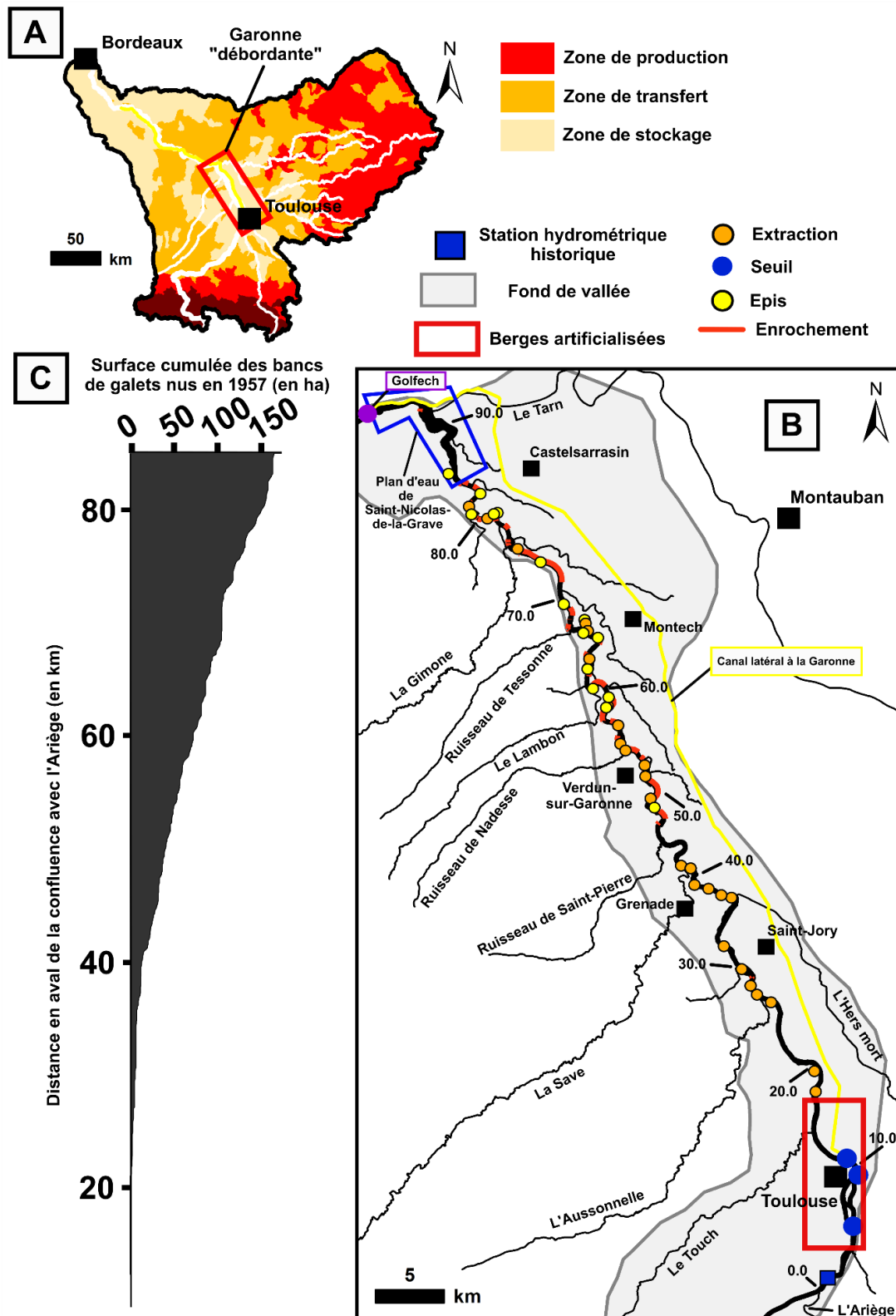


Figure 7. A - Localisation de la Garonne « débordante » ; B – Caractéristiques de la Garonne « débordante » et C – Patron longitudinal de la surface cumulée des bancs de galets nus en 1957.

2.4. Choix de la date pré-activités potentiellement à l'origine des changements récents

En conclusion, la date de 1957 semble permettre de prendre en compte un fonctionnement du fleuve post-PAG, qui correspond au fonctionnement morpho-sédimentaire potentiel de la Garonne aujourd'hui (hors impacts anthropiques). De plus, cette date semble antérieure à la période intensive des extractions en lit mineur, des effets des barrages de l'amont et de la mise en place des enrochements et épis, conséquences de l'incision récente.

Si le diagnostic actuel permet de déterminer l'état de la rivière et les objectifs de « restauration-réhabilitation » atteignables et à atteindre pour accompagner le fleuve vers un nouvel équilibre fonctionnel, adapté aux enjeux présents et à venir sur les différents territoires qu'il traverse, nous pouvons déjà établir qu'un travail plus fin devra être réalisé pour définir de manière suffisamment précise la trajectoire d'évolution récente du fleuve et donc sa trajectoire potentielle de restauration.

Au sein de ce travail plus fin, il faudra notamment réaliser un inventaire détaillé des extractions en lit mineur (périodes et volumes déclarés) et des enrochements et épis (dossier de déclaration, état actuel, enjeux).



3. Matériels et méthodes

Pour initier le présent diagnostic, la méthodologie employée repose sur quatre étapes précisément décrites dans les travaux de Bulteau (2023) et Boutault (2020).

La méthode repose sur :

- i) L'inventaire des activités humaines potentiellement à l'origine des changements récents constatés (localisation et chronologie ; cf. site d'étude).
- ii) Cet inventaire permet ensuite de choisir parmi les données hydrologiques, planimétriques et altimétriques disponibles, pour que l'analyse porte sur la période liée aux activités humaines recensées et donc aux changements potentiellement induits.
- iii) Le traitement des données et leur analyse devra ensuite permettre de définir l'amplitude des changements récents et la détermination des secteurs aux tendances d'évolution homogènes,
- iv) Pour quantifier et spatialiser les objectifs à atteindre et atteignables, les types d'actions à mener pour atteindre ces objectifs et leur priorisation par secteur.

A noter que toutes les couches SIG utilisées et produites lors de ce travail seront disponibles aux téléchargements et visualisables sur le site de l'Observatoire Garonne après finalisation de l'étude fin 2025.

Rappel : cette méthodologie s'inscrit dans la démarche plus globale suivante (Figure 8). Initier un diagnostic ne signifie pas partir de zéro : il s'appuie sur un ensemble de connaissances déjà existantes, issues de diverses sources, disciplines et échelles d'observation. L'enjeu consiste à **uniformiser, structurer et interconnecter** ces savoirs afin d'établir un **état des lieux cohérent et partagé**. Cette démarche permet de dépasser la simple juxtaposition de données pour construire une **vision scalaire et holistique** du système étudié. Dans le cadre de la gestion des hydrosystèmes, une telle approche est essentielle : elle intègre les dynamiques physiques, biologiques et socio-économiques, tout en tenant compte des interactions entre échelles spatiales et temporelles, afin d'initier un diagnostic réellement adapté aux enjeux de durabilité, de résilience et de gouvernance de l'eau.

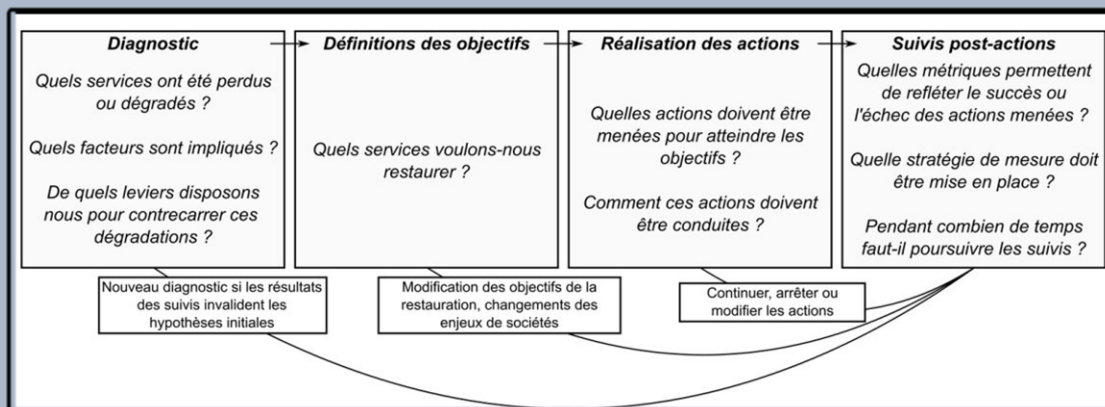


Figure 8. Démarche du diagnostic proposée par Théo Bulteau sur la Garonne amont (2024).

4. Résultats et discussions

4.1. Évolution récente de l’hydrologie de crue

La station hydrométrique de Portet-sur-Garonne (code O200 0010 02 ; source : Hydroportail), située à l’amorce du tronçon T4 (≈ 1 km à l’aval de la confluence avec l’Ariège), dispose d’une chronique longue (1910–2025 – Figure 9). Elle permet d’examiner trois hypothèses :

1. une diminution de l’intensité et/ou de la fréquence des crues à la sortie du Petit Âge Glaciaire (PAG) ;

2. une régulation potentielle par les barrages amont (Garonne et Ariège) sur la période de mise en service (≈ 1930–1965) ;

3. une évolution récente compatible avec le changement climatique en cours.

L’analyse croise l’intensité des crues (QMJ de référence) et leur fréquence afin d’estimer la capacité morphogène actuelle (mise en mouvement de la charge de fond, maintien/création d’annexes fluviales).

Tableau 1. Débits moyens journaliers (QMJ) associés aux périodes de retour 2, 5, 10, 20 et 50 ans à Portet-sur-Garonne (Hydroportail).

	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50
Débits moyens journaliers (en m³/s)	1360	2010	2440	2850	3380

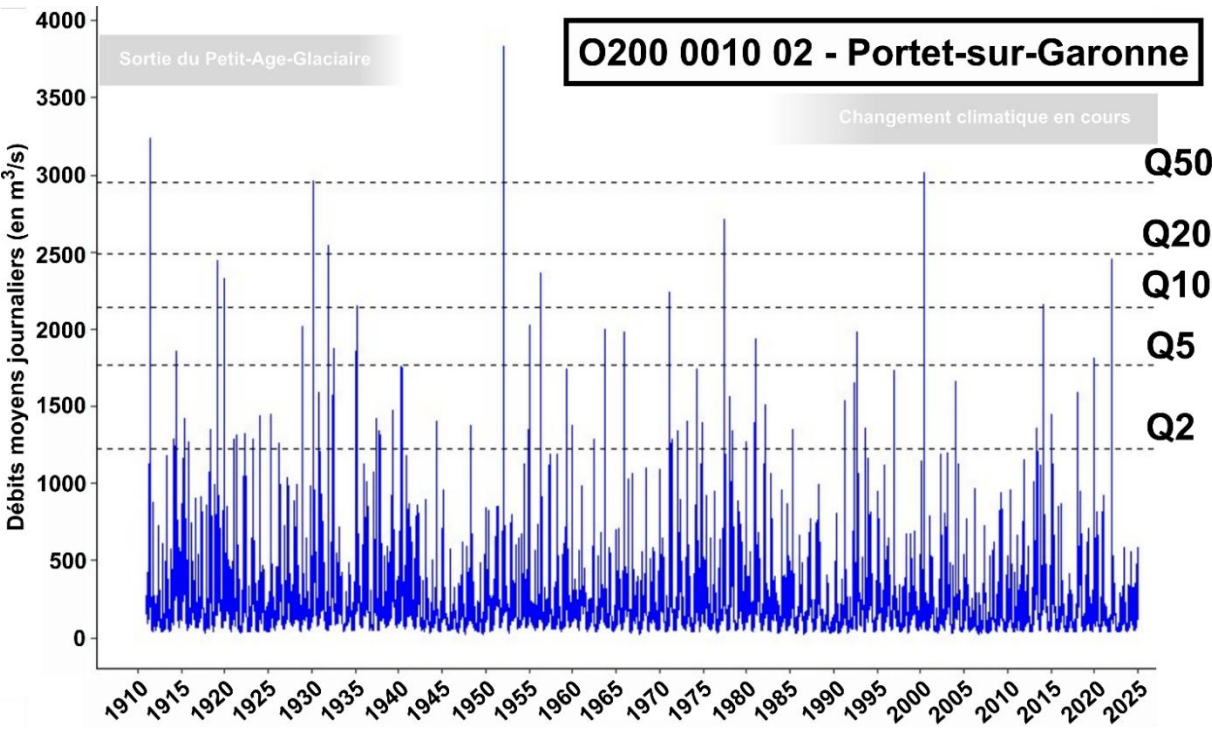


Figure 9. Chronique des QMJ à Portet-sur-Garonne (1910–2025) – Hydroportail.

La série 1910–2025 ne montre pas de rupture franche dans l'intensité des épisodes susceptibles d'être morphogènes. On observe toutefois (i) une atténuation autour des années 1930–1940, puis (ii) une reprise modérée vers 1990–2000. Une lecture graphique ne suffit pas pour statuer sur des ruptures ; il convient de compléter par la fréquence des événements (Figure 10).

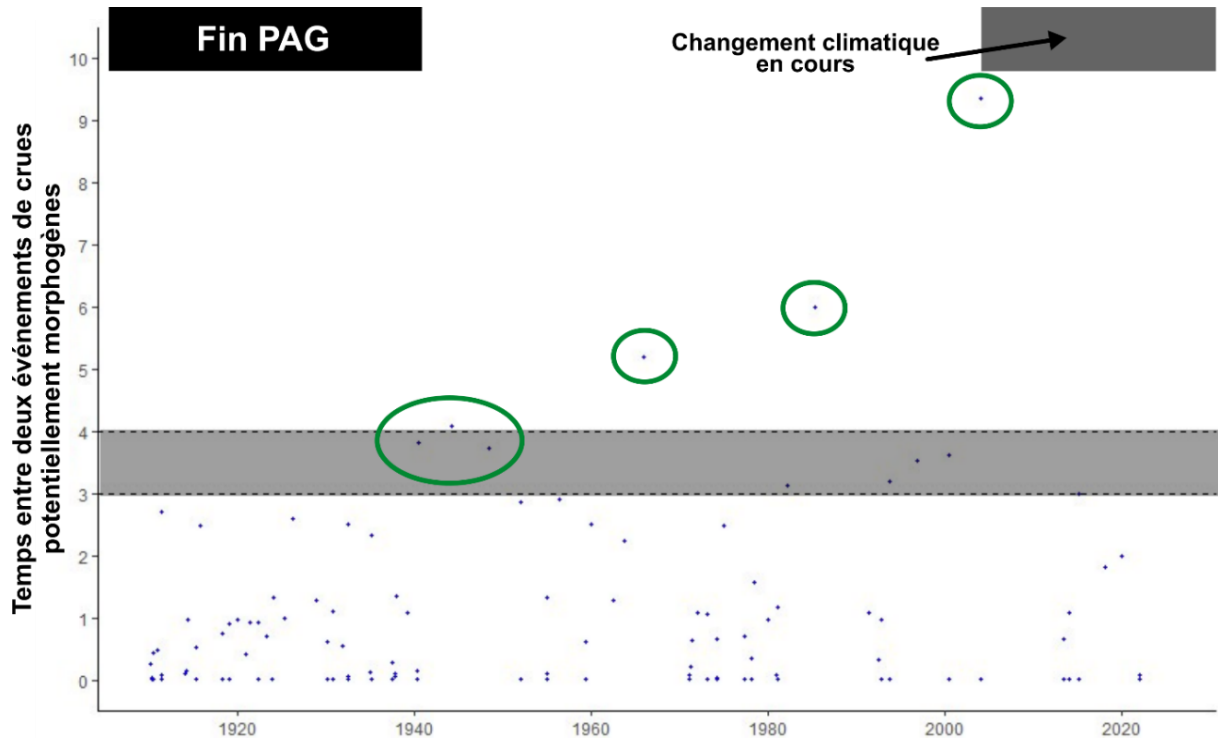


Figure 10. Temps écoulé entre deux crues (d'après les QMJ) à Portet-sur-Garonne (1910–2025) – Hydroportail.

Nous retenons un seuil fonctionnel de 3–4 ans sans crue morphogène : au-delà, la végétation pionnière (ex. peuplier noir) atteint une robustesse racinaire qui stabilise les surfaces, rendant plus difficile leur remobilisation (référence opérationnelle : Boutault et al., 2022).

- Période P1 (1910–1940). Les épisodes potentiellement morphogènes ne dépassent jamais 3 ans d'intervalle : signal d'une sortie du PAG encore active.
- Période P2 (1940–2004). Ni l'analyse de l'intensité (Figure 9) ni celle de la fréquence (Figure 10) n'indiquent de rupture nette attribuable à une régulation par les barrages ; on observe plutôt une transition progressive vers des intervalles plus longs, avec des séquences > 3–4 ans.
- Période P3 (2004–2025). On note une augmentation marquée de la fréquence : comme en P1, aucun intervalle > 3 ans n'est observé. Ce signal est cohérent avec une modulation du régime de crues dans le contexte climatique récent (à confirmer par la poursuite des observations).

Tableau 2. Nombre d'événements par classes de retour (Q2...Q50) et totaux, par période.

Période	Durée	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Total
1910-1940	30	45 (1,5)	6 (0,2)	3 (0,1)	1 (0,03)	2 (0,07)	57 (1,9)
1940-2024	85	48 (0,56)	8 (0,09)	6 (0,07)	1 (0,01)	3 (0,04)	66 (0,78)
Comparaison 1		-62,35	-52,94	-29,41	-64,71	-47,06	-59,13
1940-2004	64	41 (0,64)	6 (0,09)	4 (0,06)	1 (0,02)	3 (0,05)	51 (0,8)
2004-2024	21	7 (0,33)	2 (0,1)	2 (0,1)	0 (0)	0 (0)	15 (0,71)
Comparaison 2		-47,97	1,59	52,38	-100,00	-100,00	-10,36
1910-2024	115	93 (0,81)	14 (0,12)	9 (0,08)	2 (0,02)	5 (0,04)	123 (1,07)

Tableau 3. Temps maximal et moyen entre événements morphogènes (en années).

Période	Durée	Temps maximal entre deux événements	Temps moyen entre deux événements
1910-1940	30	2,71	0,53
1940-2004	64	9,35	1,33
2004-2024	21	2,99	0,86

Interprétation synthétique :

- La **date 1957** (repère pour l'analyse des perturbations anthropiques récentes) **s'inscrit** dans la **transition post-PAG** mise en évidence par la fréquence (P1→P2).
- Malgré la sortie du PAG, la Garonne conserve une **capacité morphogène** notable (présence d'événements Q50 sur la chronique).
- Depuis **2004**, les crues potentiellement morphogènes sont **plus fréquentes** (proches de P1) **sans être plus intenses**, ce qui **pourrait** suffire au **rajeunissement** des surfaces (bancs, annexes) **si** d'autres verrous n'interviennent pas (**déficit sédimentaire, incision, pavage**).

- La **causalité climatique** est **plausible** au vu de la littérature, mais doit être **confirmée** par la **poursuite des observations** et des analyses (intervalle P3 encore court : 21 ans).

Implications pour la suite

- Conduire une **analyse diachronique** plus fine, avec a minima **deux dates** par période identifiée (P1, P2, P3) pour l'analyse **planimétrique**.
- **Quantifier** les effets de crues **de niveaux variés** (Q2 à Q50) sur les **surfaces restaurées** (annexes, bancs) et la **végétalisation** (post-2004 notamment).
- Cibler en priorité les **secteurs** où le fleuve montre la plus grande réactivité aux changements (cf. partie suivante 4.2).

4.2. Analyse temporelle de l'évolution planimétrique de la bande active

L'analyse temporelle a porté sur le tronçon de Garonne entre l'aval immédiat de l'agglomération toulousaine et l'amont du plan d'eau de Saint-Nicolas-de-la-Grave.

- L'emprise urbaine de Toulouse n'est pas exploitable de façon homogène sur la date de 1957 (photo-interprétation incomplète), et les contraintes latérales y figent la bande active qui ne montre pas de changements sur le siècle dernier.
- L'inclusion du plan d'eau de Saint-Nicolas-de-la-Grave biaiserait l'interprétation (processus de dépôt ≠ fluvial, élargissement artificiel par mise en eau). D'où le choix de l'exclure.
- Avec intégration du plan d'eau : perte très faible (1957 : 1 397,6 ha → 2019 : 1 364,5 ha).
- Sans intégration du plan d'eau (référence) : rétraction nette de la bande active de ≈ 214 ha (1957 : 1 159,8 ha → 2019 : 945,8 ha), soit -18 % ; la largeur moyenne passe de 159 m (1957) à 130 m (2019).

Entre 1957 et 2019, la Garonne enregistre la disparition de ≈ 158 ha de bancs de galets nus et de ≈ 105 ha d'annexes fluviales. En 2019, il ne reste que 7,3 ha de bancs nus et 75,9 ha d'annexes.

La rétraction s'explique principalement par une incision moyenne d'environ 2,6 m sur ce tronçon (David, 2016). À titre d'ordre de grandeur, si l'on rapporte cette incision au linéaire ($\sim 95\,000$ m) et à la largeur moyenne de 1957 (159 m), le volume évacué (ou non renouvelé) atteint $\approx 39\text{ Mm}^3$ (calcul rapide pour définir un ordre de grandeur : $2,6 \times 95\,000 \times 159 = 39\,273\,000\text{ m}^3$) — valeur à confronter au futur inventaire historique des extractions et à l'évolution du profil altimétrique à acquérir.

Cette valeur est proche de l'ordre de grandeur (50 millions de m^3) mentionné par Beaudelin (1989) sur l'ensemble de la Garonne en aval de Toulouse. Ce constat nous informe que même si le transit amont, qui pourrait dans les projections les plus extrêmes tendre vers $10\,000\text{ m}^3/\text{an}$ (projection faite faute de données quantifiées sur les apports grossiers de la Garonne de piémont et de l'Ariège et sur les apports de fines de l'ensemble du bassin), était intégralement rétabli, il faudrait a minima 4 000 ans pour que le système apporte les sédiments extraits sur ce tronçon.

Y-a-t-il besoin d'arguments plus convaincant pour comprendre la nécessité de la présente démarche : Vers une régénération ?

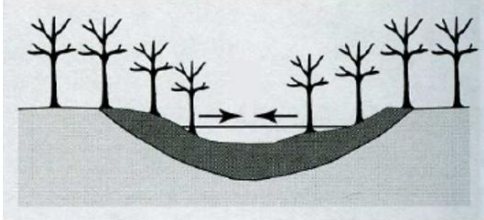
Tableau 4. Indicateurs planimétriques (bande active, bancs nus, annexes) – 1957 vs 2019 (tronçon « Garonne débordante »).

	Linéaire (en km) [point kilométrique en aval de la confluence avec l'Ariège]	n (tronçon de 100 m linéaire)	Bande active (en ha)	Bande active (en m)		Bancs nus (en ha)	Annexes fluviales (en ha)
				moyenne	médiane		
1957	72,6 km	727	1159,79	159,53	147	165,14	180,49
2019	[12,4 – 85]		945,82	130,1	125	7,36	75,89

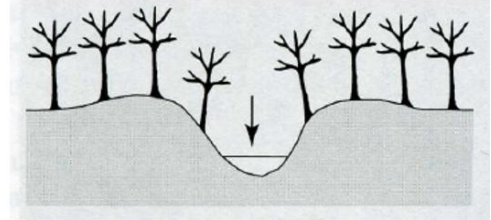
Rôle des protections latérales dans les ajustements actuels

Après incision, un rééquilibrage latéral (effondrements de berges, translation du chenal) aurait dû contribuer à un nouvel état d'équilibre à cote plus basse. Or, la mise en place massive d'enrochements et d'épis (notamment dans le Tarn) a bloqué ces ajustements. Sur $\approx 20,7$ km, ces protections maintiennent la contrainte, amplifient l'incision et déconnectent annexes et bancs (Figure 11).

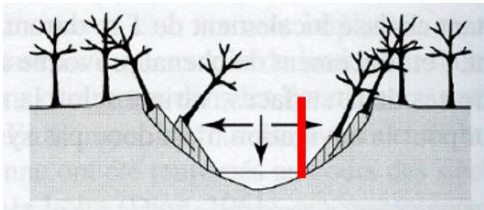
1 - La réduction du système (barrages)



2 - Rupture du transit et en l'absence d'érosion latérale incision (extraction)



3 - Effondrement des berges pour s'équilibrer (post-extractions)



4 - Agir pour permettre à la rivière d'atteindre un équilibre

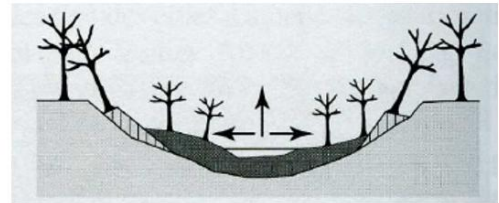


Figure 11. Schéma d'ajustements post-incision et blocage par enrochements.

Enseignements pour la gestion :

- Le couple incision + contraintes latérales explique la perte rapide des surfaces biogènes (bancs et annexes fluviales) et la réduction de la bande active sans capacité actuelle, faute d'accompagnement actif, du fleuve à se réajuster post-extractions.
- Tant que les verrous latéraux persistent et que le déficit sédimentaire amont n'est pas compensé (ou le transit rétabli), la fréquence des crues même en augmentation (4.1) ne suffira pas à restaurer durablement la mosaïque d'habitats.
- Les secteurs les plus pertinents pour des actions pilotes combinant gestion latérale (déverrouillage ciblé) et leviers sédimentaires (réinjection/recharge calibrée, continuité) ou création/restauration d'annexes fluviales pourront être prioritaires à partir des cartes et figures issues de l'analyse longitudinale en partie suivante 4.3.

4.3. Analyse longitudinale de l'évolution planimétrique de la bande active

Pour analyser, le long du tronçon, les variables planimétriques déjà décrites (bande active, surfaces de bancs de galets nus, annexes fluviales, protections de berges, etc.), le linéaire a été découpé en tronçons de 100 mètres linéaire de cours d'eau et projeté amont → aval (Figure 12).

Les signaux longitudinaux des variables quantitatives ont été examinés avec le package

R changepoint (Brierley & Fryirs, 2005 ; Chen & Gupta, 2000 ; Killick et al., 2012).

Les limites des secteurs homogènes sont reportées en lignes verticales pointillées rouges (Figure 12). Sur cette base, huit secteurs ont été interprétés (Figure 12 et Tableau 5), en croisant : ampleur des changements, contraintes/leviers (enjeux, protections), et capacité intrinsèque du tronçon à maintenir des surfaces fonctionnelles (bancs nus, annexes).

4.3.1. Lecture par secteurs aux tendances d'évolution et potentiel de récupération homogènes

S1 : PK 0–16,6 (réf. étude : 12,4–16,6) — Confluence Ariège → agglomération de Toulouse

Constats

Traversée urbaine fortement artificialisée des deux rives. Sur la sous-section 12,4–16,6 km, la bande active baisse modérément entre 1957 et 2019 (–7 ha) ; largeur moyenne de 164 → 147 m. Aucun banc nu en 1957 comme en 2019 ; annexes faibles et légère perte (–0,56 ha).

Enjeux/leviers

Changements majeurs anciens (pluriséculaires ; David, 2016). Levier latéral quasi nul (enjeux urbains/sécurité). Les injections amont pourraient théoriquement générer des formes alluviales en traversée urbaine — peu acceptables du point de vue de la gestion du risque inondation, quand bien même la crainte est souvent surévaluée.

Actions

Ici, pas d'action morpho-sédimentaire lourde envisageable. Prioriser gestion du risque et entretien ciblé. L'amélioration du transit amont doit éviter la création de formes nouvelles au droit de la ville.

S2 : 16,6–34 — Agglomération de Toulouse → Grenade

Constats

Largeur moyenne de 158 → 139 m (1957–2019) ; perte bande active : –33 ha. Bancs nus : –5 ha ; annexes : –20 ha. Pas d'enrochements recensés.

Enjeux/leviers

Pertes modérées comparé à l'aval. Absence d'enrochements : favorable à une remobilisation latérale (enjeux limités), mais pas de gisement alluvial « gratuit » pour des injections à faible coût (pas de démantèlement à valoriser).

Actions

Sans rétablissement du transit amont, prioriser la reconnexion d'annexes avec réemploi des sédiments excavés (fins + grossiers). Il faudra alors étudier le fonctionnement de ces annexes pour cibler fin là où la moindre contrainte permet des gains rapides et la plus grande pérennité avec la gestion la plus efficiente possible.

S3 : 34–46,5 — Grenade → Grisolles

Constats

Largeur moyenne 170 → 140 m ; bande active : –37 ha. Bancs nus : –22 ha ; annexes : –30 ha. Pas d'entrochements recensés.

Enjeux/leviers

Pertes significatives. Comme S2 : peu d'enjeux limitants, mais pas de matériaux « disponibles » issus de dérochements.

Actions

Reconnexions d'annexes avec réinjection des volumes extraits. En parallèle, réaffectation de milieux potentiels (parcelles délaissées en bordure) pour élargir le champ d'expansion et favoriser la mosaïque d'habitats.

S4 : 46,5–61,5 — Grisolles → Mas-Grenier

Constats

Largeur moyenne 147 → 116 m ; bande active : –47 ha (plus forte perte du tronçon). Bancs nus : –46 ha ; annexes : –15 ha. ≈ 15 km d'entrochements.

Enjeux/leviers

Secteur le plus contraint : protections massives, parfois sans enjeux immédiats à l'arrière-plan.

Actions

Déverrouillage ciblé : démantèlement d'entrochements + concassage/tri → injections calibrées. Reconnexions d'annexes avec réemploi des sédiments extraits. Prioritaire pour des actions pilotes (fort potentiel de gain fonctionnel si la contrainte est relâchée).

S5 : 61,5–68,5 — Mas-Grenier → Escatalens

Constats

Largeur moyenne 187 → 143 m ; bande active : –31 ha. Bancs nus : –25 ha ; annexes : –14 ha. ≈ 2 km d'entrochements.

Enjeux/leviers

Contraintes présentes, mais moins étendues que S4.

Actions

Démantèlement d'ouvrages ponctuels → gisement pour injections. Reconnexions d'annexes avec réemploi des matériaux. Effet d'entraînement attendu avec S4 (rétablissement local de la connectivité).

S6 : 68,5–72,5 — Escatalens → Saint-Porquier

Constats

Largeur moyenne 126 → 113 m ; bande active : –5 ha. Bancs nus : –2 ha ; annexes : –6 ha. ≈ 0,6 km d'entrochements.

Enjeux/leviers

Pertes limitées mais sensibilité du secteur aux changements.

Actions

Même logique que S3, en bénéficiant des effets cumulés des actions sur S4–S5 (réduction des contraintes et réalimentation en sédiments).

S7 : 72,5–85 — Saint-Porquier → Castelmayran

Constats

Largeur moyenne 158 → 117 m ; bande active : –52 ha. Bancs nus : –57 ha ; annexes : –19 ha. ≈ 7,8 km d'entrochements.

Enjeux/leviers

Secteur très impacté, contraintes latérales importantes.

Actions

Déverrouillage de protections ciblées + injections à partir de matériaux déconstruits ; reconnections d'annexes. Approche analogue à S4 (fort potentiel de gain si l'on rouvre localement latéralement).

S8 : 85–95,5 — Castelmayran → barrage de Malause

Constats

Effet de piège du plan d'eau de Saint-Nicolas-de-la-Grave : dynamique fondamentalement différente (processus lentiqes/ralentis).

Enjeux/leviers

L'analyse fluviale classique est peu pertinente ; les surfaces apparentes sont conditionnées par la mise en eau.

Actions

Ici, raisonner spécifiquement : gestion sédimentaire au droit du plan d'eau de Saint-Nicolas-de-la-Grave, interface fleuve/retenue, gestion de la compatibilité des usages présents et futurs. Les actions en amont de ce plan d'eau doivent éviter d'alimenter un piégeage accru sans bénéfice fonctionnel et écologique local. Les actions pour l'aval devront intégrer une acquisition de connaissances sur le Tarn.

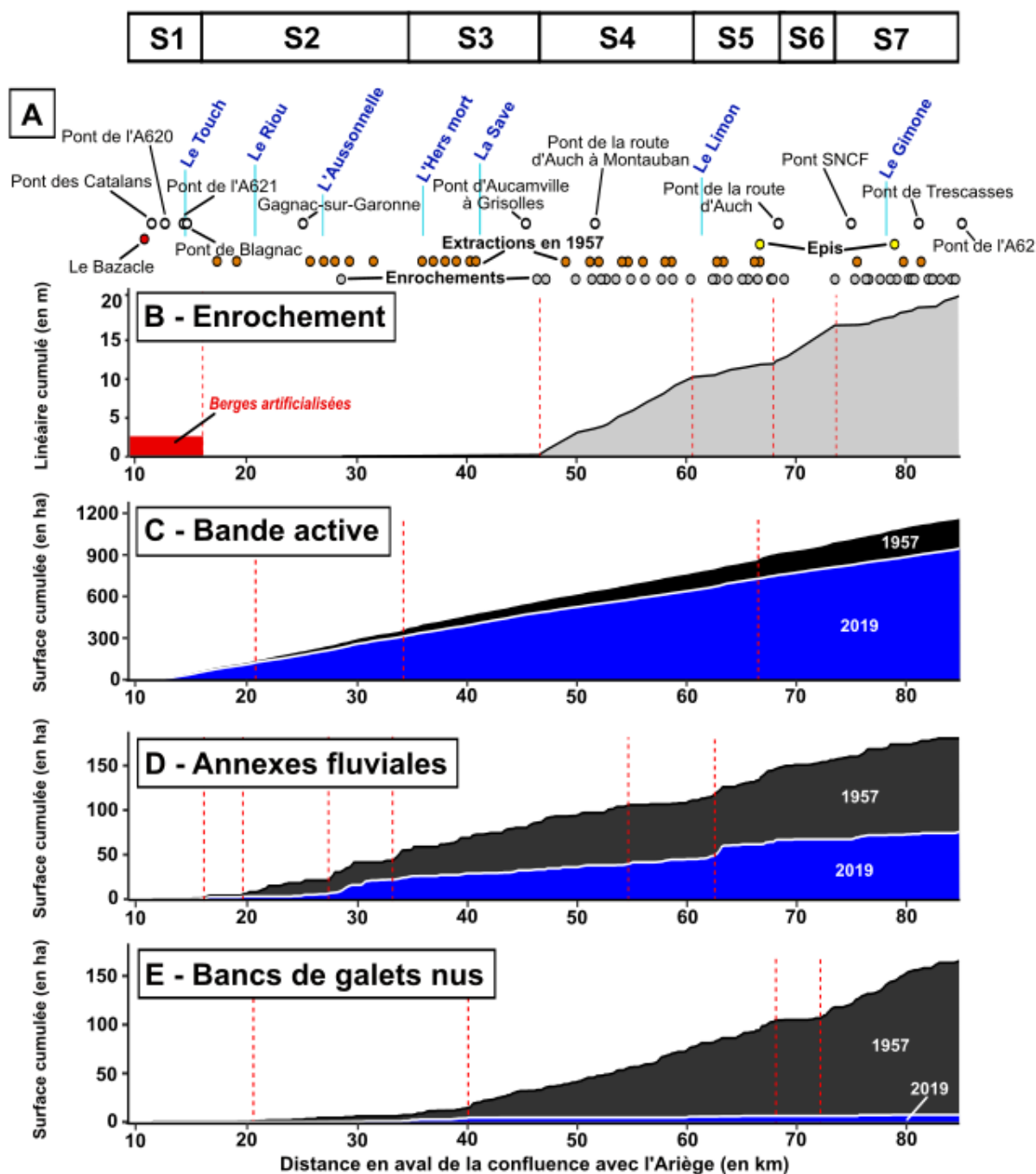


Figure 12. Patron longitudinale des changements enregistrés par le fleuve Garonne sur le tronçon T4 entre 1957 et 2019 et activités humaines (ligne en pointillée rouge : rupture pour chacun des signaux permettant après interprétation croisée de définir les secteurs S1 à S7). Epis 1957 (pré incision : autres épis en post-incision visible sur carte en Figure 7).

4.3.2. Synthèse opérationnelle (tronçon « Garonne débordante »)

- Les **plus fortes rétractions et pertes de surfaces biogènes** (bande active, bancs nus, annexes) coïncident avec des **linéaires enrochés** étendus (S4, S7), confirmant le rôle de **verrou latéral** sur un système déjà **incisé et déficitaire**.
- Les secteurs **sans enrochements** mais **déficitaires** (S2–S3) restent **stratégiques** pour des **reconnexions d'annexes** et la **remise en fonctionnement** de surfaces biogènes, à condition d'un **rééquilibrage** (même partiel) du **transit amont**.
- Les secteurs **intermédiaires** (S5–S6) peuvent **capitaliser** sur les effets des actions conduites en **amont immédiat** (S4) en termes de **recharge**.
- S1 (urbain) et S8 (retenue) nécessitent des **approches spécifiques** : pas d'objectifs immédiats, mais compatibilités **sécurisation/gestion globale**.

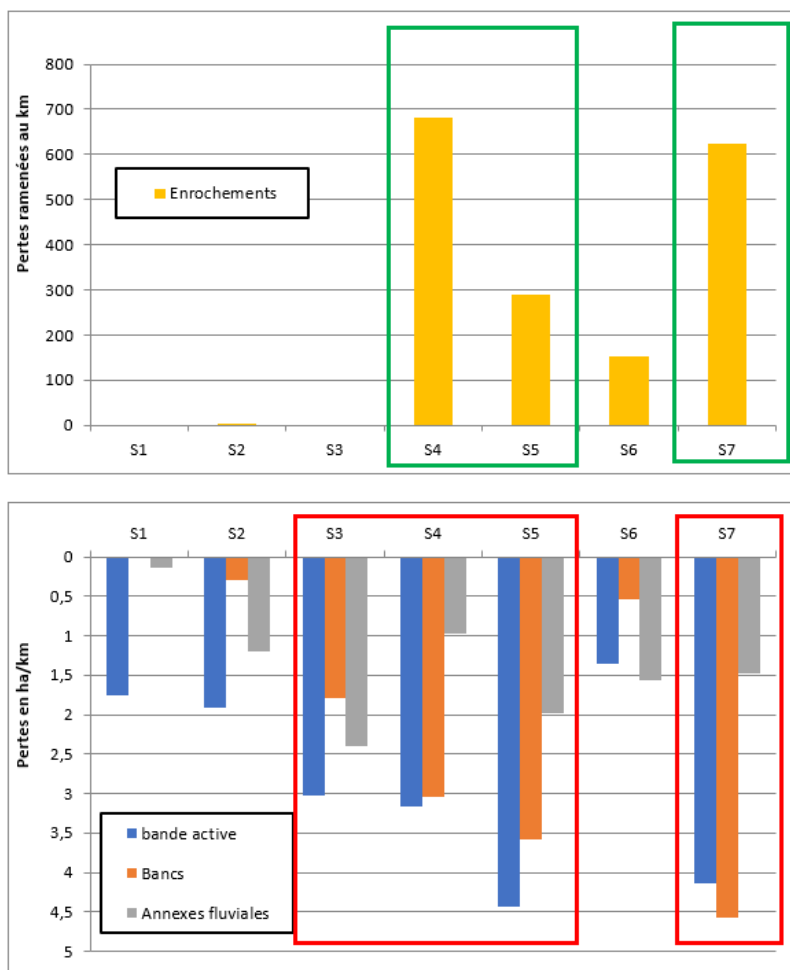


Figure 13. A – Linéaire d'enrochement en mètres par kilomètres par secteurs homogènes et B – Pertes en hectares par kilomètres de bande active, de bancs de galets nus et d'annexes fluviales par secteurs homogènes.

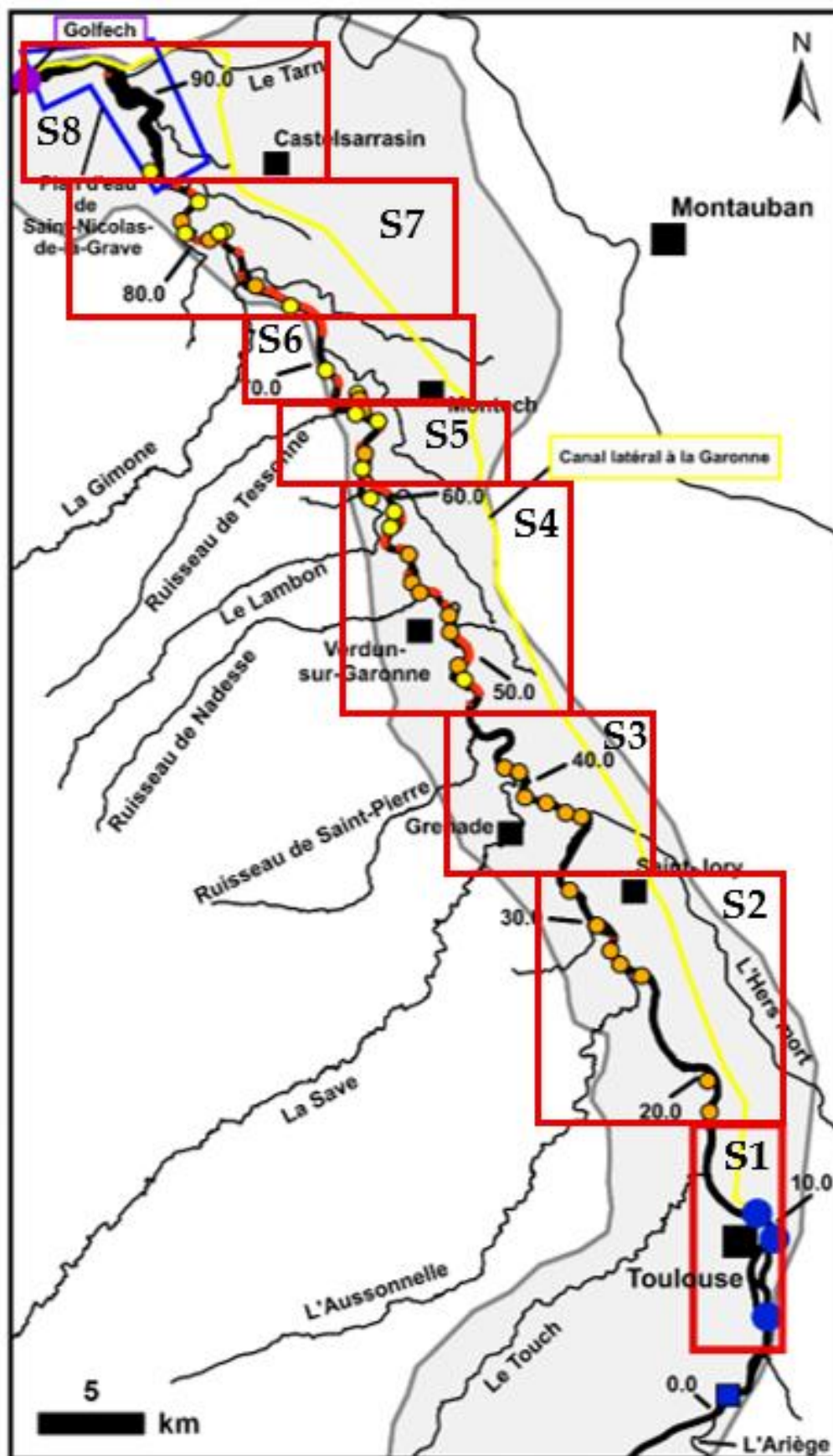


Figure 14. Carte de localisation des secteurs de la Garonne débordante.

Tableau 5. Métriques issues de l'analyse planimétrique par secteur aux tendances homogènes sur la Garonne « débordante ».

	Largeur moyenne de la bande active		Surfaces de bande active en hectares		Surfaces bancs de galets nus en hectares		Surfaces annexes fluviales en hectares		Linéaires de berges enrochées en mètres	Types d'actions possibles
Secteurs	1957	2019	1957	2019	1957	2019	1957	2019	2024	
S1 (12,4-16,6km)	163,65	146,52	70,37	63,00	0,00	0,00	0,67	0,11	x	x
S2 (16,6-34km)	158,18	139,01	275,23	241,88	5,97	0,82	42,68	21,84	46,39	Reconnexion- création annexes
S3 (34-46,5km)	170,67	140,46	213,34	175,58	26,16	3,79	40,71	10,64	0,00	
S4 (46,5-61,5km)	147,16	115,54	220,74	173,31	46,66	0,94	27,06	12,49	10 233,84	Désenrochement, Reconnexion- création d'annexes et injections sédimentaires
S5 (61,5-68,5km)	187,71	143,36	131,40	100,36	25,84	0,72	35,14	21,27	2 026,35	
S6 (68,5-72,5km)	126,73	113,24	50,69	45,29	2,17	0,00	7,10	0,84	613,00	
S7 (72,5-85km)	158,42	117,12	198,03	146,40	58,34	1,08	27,12	8,70	7 787,77	x

5. Objectifs et types d'actions par secteurs

5.1. Objectifs généraux

L'objectif global de la stratégie morpho-sédimentaire sur le tronçon de la Garonne débordante est de restaurer une mosaïque fonctionnelle d'habitats fluviaux, garantissant à la fois le maintien des processus hydrosédimentaires et la fourniture de services écosystémiques. Concrètement, cela se traduit par :

- la récupération progressive de surfaces de bande active (objectif quantifié à fixer après calage des scénarios d'actions avec l'ambition de reconquête de 214 hectares minimum),
- la recreation ou reconnexion d'annexes fluviales (l'ambition de reconquête de 105 ha), incluant notamment des bras vifs pour compenser la perte du matelas alluvial sur un linéaire important,
- et la récupération partielle de surfaces de bancs de galets (l'ambition de reconquête de 158 ha ne semble pas adaptée au contexte de perte totale du stock alluvionnaire initialement en place et du déficit sédimentaire amont), là où les contraintes latérales et les volumes sédimentaires disponibles le permettent.

L'expérience montre que les annexes fluviales sont plus facilement restaurables à court terme que les bancs de galets, car :

- leur fonctionnement et leur pérennité reposent davantage sur la reconnexion amont pour des crues permettant l'auto-entretien que sur des volumes importants de matériaux à faire entrer dans ce contexte de déficit amont et de capacité réduite à mobiliser la plaine alluviale ;
- la recreation de bancs nécessite des volumes considérables en sédiments grossiers, aujourd'hui déficitaires et dont l'unique autre source envisageable devra être les actions menées sur le tronçon (enrochement concassé, annexes créées / restaurées, site réhabilité).

Dans ce contexte opérationnel réaliste, les bras vifs, en particulier, jouent un rôle crucial : ils permettent de tamponner la perte de fonctionnalité du substrat dans le chenal principal (perte de bancs et de radiers), tout en offrant de nouveaux habitats aquatiques et des zones d'expansion de crues.

5.2. Secteurs prioritaires et leviers d'action

L'analyse longitudinale (4.3) permet d'identifier deux grands types de secteurs :

1. Des secteurs d'intervention directe (S2 à S7) où des actions de reconnexion et d'injection peuvent être engagées à court et moyen terme pour servir à l'acquisitions de nouvelles connaissances, d'outils pour convaincre d'agir et fer de lance d'une gestion d'amélioration du fonctionnement écologique et systémique ;
2. Des secteurs contraints ou spécifiques (S1 et S8) où les interventions sont limitées ou nécessitent une approche particulière.

5.3. Typologies d'actions envisageables

Les actions proposées doivent s'appuyer sur des sites pilotes, afin de tester différentes approches techniques et mesurer les réponses hydromorphologiques et écologiques. Deux grandes familles d'actions sont proposées :

A. Actions de désenrochement et injection sédimentaire

- Démantèlement ciblé des protections latérales obsolètes ou sans enjeu majeur.
- Concassage et réemploi local des matériaux pour constituer des gisements d'injection (taille des matériaux à obtenir à l'issue du concassage, adaptée aux capacités de transport du fleuve : données à acquérir par du suivi → pour l'instant agir de manière itérative avec des mesures granulométriques des bancs présents dans le secteur et estimer la taille à partir du D84).
- Injections sédimentaires localisées à partir du secteur S4 (à partir du kilomètre 46 du tronçon : présence d'un linéaire important de berges enrochées potentiellement mobilisable), et si logistique possible, en remontée sur S2-S3 par transport (à évaluer précisément).
- L'objectif est de réalimenter en charge grossière les secteurs déficitaires et recréer des radiers et zones de ralentissement du transit par élargissement de la bande active (et pas de piégeage comme souvent évoqué avec la mise en œuvre de seuil de fond).

B. Actions de reconnexion et recréation d'annexes fluviales

- Reconnexion d'annexes fluviales existantes ou relictuelles.
- Création de bras vifs pour compenser la perte du matelas et favoriser la régénération fonctionnelle.
- Injection des sédiments fins et grossiers issus des travaux des annexes et réhabilitations d'anciens sites d'extractions.
- Ces actions sont particulièrement adaptées aux secteurs S2 à S6.

C. Mix des actions

Dans cette dernière typologie, le but est d'obtenir la pérennité des milieux potentiellement recréés ou restaurés en A et B, par la mixité et la répartition spatiale adaptée des actions. Cette mixité devra amener à un fonctionnement des milieux perturbés suffisamment pérenne. Cette pérennité, ne veut pas dire éternité. Aucun système n'est éternel. Nous devons donc faire en sorte que nos actions offrent des bénéfices sur le temps le plus long possible. Temps long durant lequel les milieux auront des fonctionnements suffisants pour avoir besoin le moins possible de l'intervention humaine. Par fonctionnalité, nous n'entendons donc pas non plus « nature » ou « naturelle », puisque les systèmes sont perturbés par la main de l'Homme et que leurs dégradations sont parfois irréversibles. Nous souhaitons donc rendre un niveau de services écosystémiques nécessaire à certaines pratiques, certains usages, eux-aussi en constante évolution, et donc agir avec l'intelligence collective primordiale pour accepter et rendre nos choix acceptables.

⚠ Dans le contexte sédimentaire actuel, les injections massives visant à recréer des bancs étendus ne sont pas réalistes à court terme. L'objectif premier est donc d'initier une stratégie d'actions ciblées, permettant de retrouver des fonctions clés, même sur des surfaces limitées.

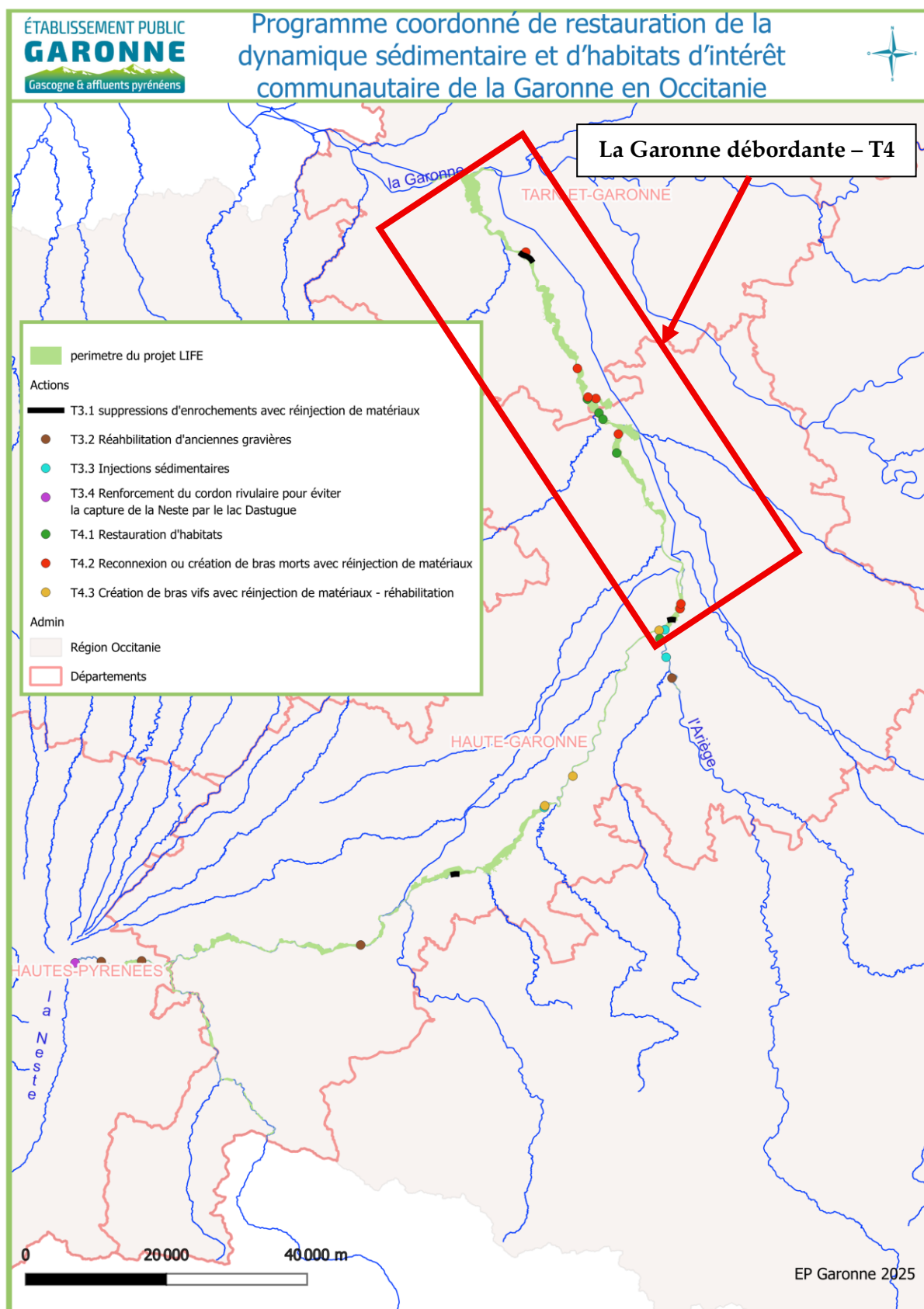


Figure 15. Actions pilotes prévues suite à la présente étude à travers un programme multi-partenariales par l'EP-Garonne.

5.4. Contraintes et points de vigilance

- **Foncier** : La maîtrise foncière est un levier déterminant pour la réussite des actions morpho-sédimentaires. Cependant, l'acquisition de terrains doit rester une solution de dernier recours. L'approche privilégiée repose sur la concertation et la co-construction avec les propriétaires et exploitants agricoles, afin d'aboutir à des solutions gagnant-gagnant : maintien ou adaptation des activités agricoles compatibles avec les objectifs écologiques, sécurisation foncière des exploitants, et valorisation des fonctions écosystémiques rendues par les espaces restaurés (infiltration, expansion de crues, amélioration de la fertilité des sols, régulation hydrique).

Cette approche permet de limiter les coûts d'acquisition, de renforcer l'acceptabilité sociale des projets, et de garantir une durabilité des aménagements grâce à l'implication directe des acteurs du territoire. Les conventions de gestion ou d'occupation adaptées (baux environnementaux, servitudes, conventions de partenariat) constituent des outils particulièrement pertinents pour articuler production agricole et fonctionnalité écologique des milieux. Une part significative des surfaces ciblées est en zone agricole. Des négociations foncières ou conventions d'usage devront être envisagées.

- **Ancien site industriel** : Les anciens sites d'extraction représentent une opportunité stratégique majeure pour recréer des zones hydromorphologiquement fonctionnelles et reconnecter des dynamiques fluviales aujourd'hui figées. Ces emprises, souvent situées à proximité immédiate du chenal actif, offrent des volumes sédimentaires mobilisables et des espaces potentiels d'expansion, limitant ainsi la nécessité d'intervenir sur des zones agricoles productives. Un point de vigilance majeur concernant les anciens sites d'extractions à proximité de la Garonne, comme pour chaque cours d'eau, et de traiter en priorité les bassins profonds d'extractions qui pourraient être des pièges à sédiments importants lors de certaines crues.

Une collaboration structurée avec UNICEM, acteur clé historiquement impliqué dans les extractions, est ici déterminante. Les extractions ont été réalisées dans un cadre légal, pour répondre aux besoins économiques et sociétaux de leur époque (infrastructures, matériaux de construction). Mais dans le contexte actuel, marqué par le principe de pollueur-payeur et par des politiques publiques axées sur la restauration des milieux, il s'agit désormais d'assumer collectivement les responsabilités passées et d'agir ensemble pour réhabiliter ces sites.

Ces démarches partenariales peuvent permettre : la mobilisation concertée de matériaux pour des opérations d'injection ciblées, la conversion progressive de sites délaissés en zones écologiques fonctionnelles, la mise en place de modèles de cofinancement associant acteurs publics, privés et collectivités, et la création d'un précédent vertueux, démontrant qu'il est possible de concilier héritage industriel et renaturation ambitieuse. Leur réhabilitation ciblée représente une opportunité stratégique pour recréer des zones fonctionnelles.

- **Piégeage sédimentaire** : Le fonctionnement des infrastructures hydroélectriques implantées sur la Garonne amont et l'Ariège, ainsi que la retenue de Saint-Nicolas-de-la-Grave, influence fortement la dynamique morpho-sédimentaire à l'échelle du tronçon de la « Garonne débordante » et les extractions antérieures rendent difficilement réalisable un retour à un fonctionnement passé. Les retenues constituent aujourd'hui de nouveaux points de piégeages majeurs pour les matériaux grossiers et fins provenant de la production amont des bassins, en transit et injectés. Sans une stratégie coordonnée, une part significative des volumes

sédimentaires mobilisés dans les actions de « *restauration* » risque d'être immobilisée dans ces retenues, limitant ainsi l'efficacité écologique et fonctionnelle des opérations menées.

Pour répondre à cet enjeu, une collaboration structurée avec EDF doit être engagée afin de :

- anticiper et intégrer le fonctionnement des ouvrages dans la stratégie globale d'injection et de transit sédimentaire,
- coordonner les calendriers d'intervention (vidanges, gestion des débits, crues morphogènes),
- évaluer les volumes et la dynamique de piégeage, pour adapter les volumes d'injection et leur localisation,
- et, à terme, coconstruire des solutions techniques (gestion sédimentaire active, by-pass, vidanges partielles ou aménagements spécifiques avec transport) permettant de limiter le blocage sédimentaire dans la retenue.

Au-delà des enjeux strictement techniques, ce partenariat doit s'inscrire dans une logique partagée de responsabilité et d'adaptation. Les ouvrages, conçus dans un contexte de production énergétique, peuvent aussi devenir des leviers de restauration hydromorphologique, à condition d'une coordination étroite entre gestionnaires de l'eau, acteurs énergétiques et territoires riverains.

5.5. Planification et validation collective

L'atteinte des objectifs nécessite une **planification phasée**, combinant interventions rapides à gains immédiats (annexes fluviales) et actions lourdes sur le moyen terme (désenrochements ciblés, injections sédimentaires).

Étapes clés de la planification :

1. **Validation collective des objectifs** et des volumes à restaurer par secteur.
2. **Cartographie opérationnelle** des sites pilotes et des linéaires d'action.
3. **Étude préalable et logistique** (dimensionnement, accès, période, phasage technique...).
4. **Déploiement progressif**, en priorisant S4-S5, puis extension vers S2-S3. Si possible, faire selon les opportunités, et intégrer les actions à la stratégie globale, de manière à faire avancer les connaissances et la mise en œuvre des futures actions.
5. **Suivi sédimentaire et écologique** pour ajuster la trajectoire d'évolution et celle de régénération

5.6. Typologie d'action par secteur

Secteur	Action principale	Compléments	Connaissances à acquérir
S2-S3	Reconnexion et création annexes	Injection limitée (aval → amont)	Fonctionnalité et pérennité des milieux restaurés
S4-S5	Reconnexion et création annexes, désenrochement, injections passives	Bras vifs en réaffectation	Capacité de transport et gains écologiques associés aux recharges
S6-S7	Actions très locales en synergie avec amont et aval direct	Réemploi matériaux	-
S1	Maintien sécuritaire	-	Compatibilité transit amont et enjeux urbains
S8	Gestion sédimentaire spécifique	Contrôle piégeage et valorisation à définir	Protection des volumes injectés

5.7. Données complémentaires à acquérir pour alimenter le diagnostic et mieux calibrer et prioriser les actions

Données à acquérir sans mise œuvre d'action (travaux) :

- Etudier l'incision du lit sur l'ensemble du linéaire.
- Localisation précise et statut foncier des surfaces stratégiques.

Post-actions pilotes (travaux) :

- Estimation post-actions des volumes sédimentaires disponibles par linéaire enroché.
- Caractérisation granulométrique des matériaux mobilisables par la Garonne et utilisables.
- Caractérisation in situ du devenir des sédiments injectés (transit – piégeage).
- Cartographie fine des annexes reconnectables et de celles qu'il sera possible de créer avec suivi de leur fonctionnement.

5.8. Conclusion opérationnelle

La régénération morpho-sédimentaire du tronçon de la Garonne débordante repose sur une approche modulaire et pragmatique :

- bras vifs et annexes fluviales pour des gains rapides de fonctionnalité,
- injections ciblées et désenrochements pour des effets structurants,
- une planification progressive, adaptée aux contraintes foncières, logistiques et hydrologiques,
- et une validation collective pour sécuriser les arbitrages et hiérarchiser les priorités.

Cette stratégie devrait permettre de concilier réalisme technique, enjeux écologiques et acceptabilité sociale dans un contexte contraint.

6. Références principales

Références bibliographiques

- Bauer, D. F. (1972). Constructing Confidence Sets Using Rank Statistics. *Journal of the American Statistical Association*, 67(339), 687–690. <https://doi.org/10.1080/01621459.1972.10481279>
- 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
- Boutault, F. (2022). Conclusions scientifiques, réflexions et perspectives concernant la gestion hydrosédimentaire en vue d'améliorer la fonctionnalité écologique de la rivière Dordogne. Rapport E.CO.G.E.A. pour EPIDOR/AEAG/EDF.
- Boutault, F. (2025 - études en cours). Etude préalable à la définition d'un programme d'actions de « restauration » de la dynamique fluviale de la Garonne (disposition I.3 du SAGE) – Diagnostic géomorphologique sur la Garonne hydroélectrique et de Piémont : Amplitudes des changements récents, objectifs à atteindre et types d'actions à mener.
- Brierley GJ, Fryirs K. 2005. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing: Oxford; 398.
- Bulteau, T. (2023). Hydro-morphosedimentary dynamics and disruptions along a fluvial continuum, the case of the Upper Garonne River (Central Pyrenees, Spain-France). *Geography*. Ecole normale supérieure de Lyon - ENS LYON; Universitat de Lleida, 2023. English. [\(NNT : 2023ENSL0028\)](#). [\(tel-04167108\)](#)
- Chen, J., Gupta, A. K., & Gupta, A. K. (2000). *Parametric statistical change point analysis* (Vol. 192). Boston: Birkhäuser.
- David, M. (2016). Mélodie David. *Dynamique fluviale de la Garonne à l'anthropocène : trajectoire d'évolution du tronçon fluvial compris entre les confluences de l'Ariège et du Tarn (Garonne toulousaine, 90 km)*. Géographie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2016. Français. [\(NNT : 2016TOU20034\)](#). [\(tel-01358114\)](#)
- Hollander, M., Wolfe, D. A., & Chicken, E. (1973). *Nonparametric statistical methods* (Vol. 1348). New York, NY, USA: Wiley.
- Jantzi, H. (2018). Hugo Jantzi. *Incision fluviale et transition d'une rivière alluviale vers une rivière à fond rocheux : formation et évolution des seuils molassiques de la moyenne Garonne toulousaine au cours du 20e siècle*. Géographie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2018. Français. [\(NNT : 2018TOU20069\)](#). [\(tel-02457089\)](#)
- Killick, R., Fearnhead, P., & Eckley, I. A. (2012). Optimal detection of changepoints with a linear computational cost. *Journal of the American Statistical Association*, 107(500), 1590-1598.
- Paasche, Ø., & Bakke, J. (2010). Defining the little ice age. *Climate of the Past Discussions*, 6(5), 2159-2175.

Logiciels et sites consultés

- **HydroPortail** – <http://hydro.eaufrance.fr/> (consulté le 13.10.2025)
 - **Géoportail (IGN)** – <https://www.geoportail.gouv.fr/> (consulté le 13.10.2025)
 - **QGIS** – <https://www.qgis.org/> (consulté le 13.10.2025)
 - **R** – <https://www.r-project.org/> (consulté le 13.10.2025)
 - **Remonter le temps (IGN)** – <https://remonterletemps.ign.fr/> (consulté le 13.10.2025)
-

Autres documents et programmes institutionnels

- *Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE).*
- *Directive Cadre sur l'Eau (DCE), 2000.*