

Rapport de stage

4^{ème} année

Géomorphologie fluviale et restauration de rivières

Universidad del País Vasco
Tomas y Valiente s/n 01006 Vitoria-Gasteiz Espagne



Tuteur entreprise :
Askoa Ibisate
Enseignante chercheuse en géographie physique

Marie Siraud
IMA
2024-2025

Tuteur académique :
Stéphane Rodrigues

Sommaire

1) Introduction	6
1.1) Présentation de l'Université du Pays basque UPV/ EHU de Vitoria Gasteiz	6
1.2) Objectifs du stage	6
1.3) Missions confiées	7
1.4) Déroulé du stage	7
2) Présentation des rivières étudiées	7
2.1) Les problématiques des rivières étudiées en Espagne.....	7
2.2) L'arasement de barrage pour restaurer la continuité sédimentaire, une mesure de restauration essentielle.....	8
3) Suivi géomorphologique de la démolition du barrage d'Arquijas.....	9
3.1) Présentation du contexte et des enjeux du projet sur l'Ega	9
3.2) Mesures et relevés granulométriques sur le terrain	10
3.2.1) Echantillonnage terrain sur l'Ega.....	10
3.2.2) Protocole d'analyse granulométrique en laboratoire	13
3.2.3) Analyse des résultats.....	16
3.2.4) Interprétation des résultats	17
3.3) Suivi du transport des sédiments par RFID Tracking	18
3.3.1) Le traçage sédimentaire, une méthode de suivi de transport par charriage.....	18
3.3.2) Utilisation du capteur.....	18
3.3.3) Résultats.....	19
3.4) Etude hydrologique	20
3.5) Modélisation MNT de la zone Arquijas	21
4) Digitalisation des rivières éphémères.....	23
4.1) Les problématiques des rivières non permanentes	23
4.2) Le projet d'étude des rivières éphémères.....	23
4.3) Méthodologie.....	24
4.4) Résultats de la digitalisation des rivières éphémères	25
5) Identification des impacts et des processus géomorphologiques du fleuve Deba	29
5.1) Contexte du projet sur le bassin de la rivière Deba	29
5.2) Méthodologie de l'identification sur le terrain	31
5.3) Premières constatations et utilisation future.....	31
6) Conclusion.....	34
Bibliographie	35
Annexes	36

Table des figures

Figure 1 : Localisation de la ville de Vitoria-Gasteiz	6
Figure 2 : Département de Géographie de l'UPV/EHU	6
Figure 3 : Cartographie du bassin versant de l'Ebre	7
Figure 4 : Photographie pré (CIREF) et post démolition du barrage de Zuñiga	9
Figure 5 : Localisation des sites de prélèvement des barres sédimentaires sur l'Ega	10
Figure 6 : Données de débit de l'Ega récentes visibles sur le SAIH Ebro et évolution du débit en m ³ /s de mai à juin 2025 depuis la période de stage à partir de la base de données	10
Figure 7 : Photographies des barres sédimentaires	11
Figure 8 : Réalisation du protocole de Wolman sur la barre sédimentaire	12
Figure 9 : Schéma de la mesure des particules avec le protocole de Wolman	13
Figure 10 : Echantillonnage par quadrat avec les sédiments de surface (à gauche) et les sédiments de subsurface (à droite).....	13
Figure 11 : Mesure et tamisage des particules de plus de 2 cm de barres sédimentaires.....	14
Figure 12 : Filtration des sédiments inférieurs à 2mm et élimination de la matière organique	14
Figure 13 : Séchage des solutions de sédiments <2mm	15
Figure 14 : Tamisage de chaque classe de sédiments	15
Figure 15 : Evolution du D50 (mm) des barres de contrôle G1 et G2.....	16
Figure 16 : Evolution du D50 (mm) des barres en amont du barrage G3 et G4	16
Figure 17 : Evolution du D50 (mm) des barres en aval du barrage G5, G6 et G7	17
Figure 18 : Appareil de mesure RFID tracking	18
Figure 19 : Emplacement des pit tags des barres sédimentaires à chaque campagne de terrain	19
Figure 20 : Débits moyen (bleu) et maximal (orange) mensuels et de la rivière Ega de 2023 à 2025	21
Figure 21 : MNT de la zone du réservoir représentant la bathymétrie de l'Ega en amont du barrage	22
Figure 22 : Profil longitudinal de la zone de réservoir Arquijas.....	22
Figure 23 : Carte pluviométrique du bassin versant de l'Ebre et localisation des sites d'étude et photo de rivière éphémère	24
Figure 24 : Digitalisation de la rivière Cariñena et pourcentages surfaciques	25
Figure 25 : Digitalisation de la rivière éphémère Reajo et pourcentages surfaciques	26
Figure 26 : Digitalisation de la rivière éphémère Tudela et pourcentages surfaciques.....	27
Figure 27 : Digitalisation de la rivière Valcodo et pourcentages surfaciques	28
Figure 28 : Bassin versant du fleuve Deba, ses affluents et localisation des tronçons effectués	29
Figure 29 : Localisation des tronçons parcourus des affluents Kilimoi et San Lorentzo du fleuve Deba	30

Table des tableaux :

Tableau 1 : Taille de classe des sédiments.....	15
Tableau 2 : Données des pit tags retrouvés en 2024 et 2025	19
Tableau 3 : Composantes morphologiques identifiées sur la plaine inondable des rivières étudiées	24
Tableau 4 : Représentation d’impacts et de processus de la rivière San Lorentzo	31
Tableau 5 : Représentation d’impacts et de processus de la rivière Kilimoi	32

Table des annexes :

Annexe 1 : Tailles médiane et moyenne des sédiments de chaque barre sédimentaire	36
Annexe 2 : Calculs de débits en fonction des périodes de retour	37
Annexe 3 : Etapes de modélisation pour la bathymétrie de l’Ega	38
Annexe 4 : Cartographie bathymétrique dans la zone de réservoir de l’Ega au site Arquijas.....	39
Annexe 5 : Cartographie de la digitalisation de la rivière éphémère Cariñena	40
Annexe 6 : Cartographie de la digitalisation de la rivière éphémère Reajo	41
Annexe 7 : Cartographie de la digitalisation de la rivière éphémère Tudela.....	42
Annexe 8 : Cartographie de la digitalisation de la rivière éphémère Valcodo.....	43

Remerciements

Je remercie Askoa Ibisate d'avoir accepté d'être ma tutrice de stage, pour son accueil au sein de son équipe, sa gentillesse, pour m'avoir fait participer à ses projets qui m'ont permis de développer mes connaissances, pour ses conseils et m'avoir accordé sa confiance en me donnant des missions à réaliser en autonomie.

Je remercie Ana Sáenz pour sa gentillesse, ses conseils, ses explications sur les données de cartographie et d'avoir pu échanger sur les méthodes d'analyses SIG.

Je remercie Saioa García, pour sa gentillesse, ses conseils et de m'avoir accompagnée sur le terrain et d'avoir partagé avec moi son expérience en laboratoire et sur ses travaux.

Je remercie Stéphane Rodrigues d'avoir accepté d'être mon tuteur académique.

1 Introduction

1.1 Présentation de l'Université du Pays basque UPV/ EHU de Vitoria Gasteiz

Dans le cadre de ma formation à Polytech Tours en Ingénierie des Milieux Aquatiques de la spécialité Génie de l'Aménagement et de l'Environnement, j'ai réalisé mon stage de 4^{ème} année en Espagne à Vitoria-Gasteiz afin de valider ma période de mobilité internationale prévue par mon cursus. Vitoria-Gasteiz est la capitale de la province d'Alava et du Pays basque espagnol comme le montre la figure 1.



Figure 1 : Localisation de la ville de Vitoria-Gasteiz
(Basque Lands)

Le stage a duré 14 semaines, du 5 mai au 10 août 2025 et s'est déroulé à l'Université du Pays basque UPV/EHU de Vitoria-Gasteiz au département de Géographie, Préhistoire et Archéologie (figure 2).

L'université du Pays basque est répartie sur 3 sites différents, le campus d'Alava à Vitoria-Gasteiz, le campus de Vizcaya à Bilbao et le campus de Guipuzcoa à San Sebastian qui présentent chacun différents enseignements et dont celui qui correspond à mon domaine d'étude se situe donc à Vitoria.

Le stage s'est déroulé majoritairement au laboratoire de Géographie physique afin d'effectuer les analyses granulométriques.



Figure 2 : Département de Géographie de l'UPV/EHU

1.2 Objectifs du stage :

Les objectifs du stage ont été de connaître les techniques de terrain en géomorphologie fluviale, réaliser des analyses en laboratoire, du traitement des données et interpréter les résultats.

J'ai travaillé sur des projets de suivi géomorphologique après la démolition de barrages afin de voir leur impact sur la continuité sédimentaire, sur l'évolution morphologique de chenal et sur les processus hydromorphologiques pour connaître les conditions de référence pour la restauration géomorphologique des rivières.

1.3 Missions confiées :

Mes missions ont été d'acquérir des données, étudier la morphologie des chenaux, la granulométrie, faire du suivi sédimentaire par RFID tracking, et identifier les processus, les pressions fluviales lors de diagnostic de terrain.

1.4 Déroulé du stage :

Lors de mon stage, j'ai commencé par la lecture d'articles scientifiques sur les différents projets réalisés par l'équipe de recherche afin d'en comprendre les problématiques, les enjeux et assimiler la méthodologie semblable à celle des projets réalisés. J'ai effectué des prélèvements granulométriques avec les membres de l'équipe sur le terrain et j'ai réalisé les mesures en laboratoire qui ont occupé la plus grande partie de mon stage afin de caractériser l'impact sédimentaire sur la rivière Ega. En même temps, j'ai réalisé en parallèle de la cartographie sous SIG à partir d'orthophotographies récentes à comparer avec des résultats issus d'anciennes orthophotographies sur les rivières éphémères et j'ai participé à des suivis géomorphologiques sur les rivières étudiées du bassin du fleuve Deba. J'ai traité des données et effectué les analyses et l'interprétation des résultats bien que certaines études ne soient pas encore complètement achevées. Au cours du stage, j'ai aussi pu assister à des réunions de compte rendu des différents projets en cours.

2) Présentation des rivières étudiées

2.1) Les problématiques des rivières étudiées en Espagne

L'équipe de recherche travaille sur les rivières du Nord de l'Espagne en partenariat avec d'autres université et organismes de recherche.

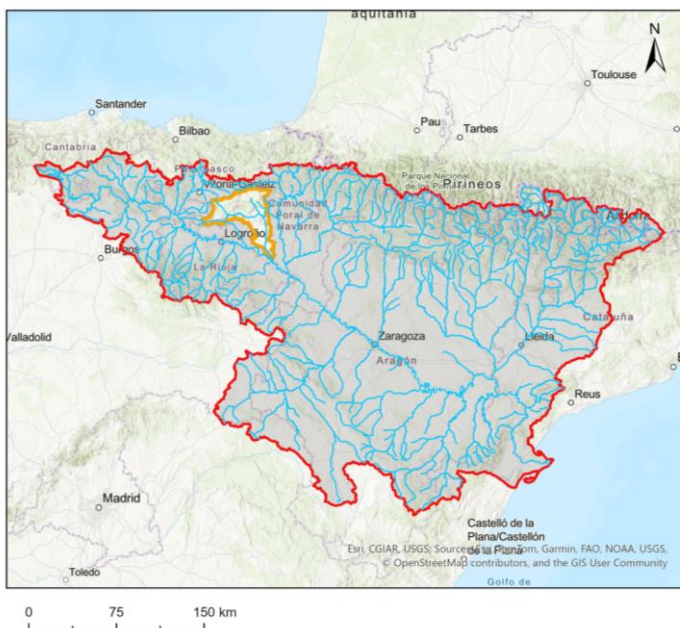


Figure 3 : Cartographie du bassin versant de l'Ebre

Les rivières étudiées durant mon stage sont situées dans le Pays basque notamment dans la province de l'Alava et en Navarre et parfois en dehors plus à l'est en Aragon et Catalogne.

Au niveau hydrographique ces territoires sont localisés principalement sur le bassin hydrographique de l'Ebre et l'université réalise la majorité de ces travaux sur ce grand fleuve Méditerranéen et ses affluents.

On peut remarquer le bassin versant de l'Ega sur la cartographie à la figure 3 qui le secteur de l'étude granulométrique réalisée au cours du stage.

Plus particulièrement les rivières du bassin versant de l'Ebre sont des rivières de plaine et de montagne. Elles ont subi des changements hydrologiques et géomorphologiques depuis les cinq dernières décennies notamment en raison des activités humaines comme la construction de remblais, l'extraction de granulats, l'artificialisation des méandres, le changement d'usage du sol

et la construction de réservoirs en plus du réchauffement climatique. Par exemple des tronçons d'affluents de l'Ebre particuliers appelées rivières éphémères notamment au centre et au sud-ouest du bassin sont extrêmement impactés par les activités anthropiques et seront étudiés dans ce rapport. Cela s'est alors traduit par des changements de morphologie avec des processus d'incision et de rétrécissement de chenal et une réduction de la migration des chenaux et de la quantité de barres sédimentaires présentes sur les cours d'eau. Depuis 1950, la migration fluviale a été réduite de 15m/an à entre 0 et 5m/an actuellement et la plaine inondable a diminué de 40% depuis 1927. Par conséquent les solutions pour améliorer l'état de ces rivières portent sur une meilleure gestion des plaines inondables avec des actions de restauration fluviale (Ollero et al., 2015).

Ces actions de renaturation demandent au préalable de réaliser des diagnostics de terrain pour cibler les mesures les plus appropriées à mettre en œuvre comme j'ai pu le faire au cours du stage avec le bassin versant du fleuve Deba au nord indépendant de l'Ebre et qui lui se jette dans l'océan Atlantique.

2.2 L'arasement de barrage pour restaurer la continuité sédimentaire, une mesure de restauration essentielle

L'élimination de barrage est l'action de restauration principale sur laquelle travaille l'équipe de recherche. En effet, les barrages, les barrières transversales et les seuils interrompent la continuité sédimentaire (Ibáñez et al., 2025).

Les barrages constituent des réservoirs qui retiennent la charge de fond qui ont pour conséquence une privation des sédiments nécessaires à la géomorphologie naturelle et au fonctionnement écologique des cours d'eau. Le manque de sédiments va induire un changement de la forme du lit, avec de l'incision vers l'aval dû au phénomène d'hungry waters et va conduire à une perturbation des habitats aquatiques en amont et aval (Congreso ibérico de restauración fluvial Restaura Rios, 2015).

L'effacement de barrage a ainsi pour objectif d'améliorer les conditions géomorphologiques en renouvelant les flux sédimentaires ce qui va diminuer l'incision et augmenter la diversité structurale du chenal. C'est une méthode de restauration très fréquente et efficace. Les effets sur la rivière ne sont pas toujours immédiats et peuvent prendre jusqu'à des décennies (Ibáñez et al., 2016).

Les rivières ne réagissent pas de la même façon selon la manière dont le barrage est enlevé. Les petits barrages sont supprimés en une seule fois et la rivière s'ajuste immédiatement. En revanche pour les barrages de grande taille, il est primordial de réaliser la démolition en plusieurs fois car ils ont eu en plus des modifications géomorphologiques tels que l'érosion des conséquences hydrologiques non négligeables (Ollero et al., 2014).

Il ne faut pas qu'avec la force d'écoulement libérée il y ait un apport de sédiments trop important en aval risquant de nuire aux habitats des espaces piscicoles lors de leur transport soudain. Il est également nécessaire de procéder progressivement car si un barrage est présent plus en aval il va retenir lui aussi les sédiments et le problème simplement déplacé.

L'étude granulométrique réalisée pendant le stage porte sur l'arasement d'un petit barrage sur l'Ega et permettra de quantifier l'impact des barrages sur la continuité sédimentaire.

3. Suivi géomorphologique de la démolition du barrage d'Arquijas

3.1 Présentation du contexte et des enjeux du projet sur l'Ega

Le CIREF Centre Ibérique de Restauration fluvial s'est engagé dans un projet de suppression d'anciens barrages non fonctionnels sur la rivière Ega, à la limite de la Navarre avec le moulin d'Arquijas, situé entre Santa Cruz de Campezo et Zuñiga, et celui de Gastiáin, 5km en aval qui lui comporte encore des discussions quant à sa démolition. Le CIREF agit dans le cadre du Programme Open Rivers qui finance l'élimination d'obstacles pour assurer la restauration des écosystèmes fluviaux. Au cours de l'année 2025, la Navarre a déjà effectué la suppression de 15 barrages sur le territoire. Cette démarche vise à rétablir la continuité fluviale et d'améliorer l'état de l'écosystème en restaurant les lits des rivières et en rendant les berges à leur état naturel (CIREF, 2025).

Les objectifs spécifiques de ce projet d'arasement de barrage sont de permettre le flux libre des sédiments, favoriser le passage d'espèces comme le poisson madrilla *Parachondrostoma miegii*, une espèce endémique de l'Ebre, la loutre *Lutra lutra* et le vison d'Europe *Mustela lutreola* espèce menacée d'autant plus que cette partie de l'Ega se trouve dans la réserve naturelle del Barranco de Lasia et d'une Zone spéciale de Conservation Natura 2000. (Lizarra, 2025) Il a aussi pour but de favoriser la dynamique des nutriments du bassin, réduire le risque des inondations, éliminer les zones anaérobiques et restaurer les services écosystémiques (Naturalea).

Le barrage mesurait 68 m de long et 3,5 m de hauteur et a été démoli en novembre 2024 en moins de deux mois car il n'avait plus aucune utilité. Il était abandonné et servait auparavant de barrage hydroélectrique qui alimentait le village. Le projet a demandé des réunions de concertation car les habitants y étaient attachés et appréhendaient au départ un changement du paysage qu'ils connaissent mais ont perçu son bénéfice à l'environnement.

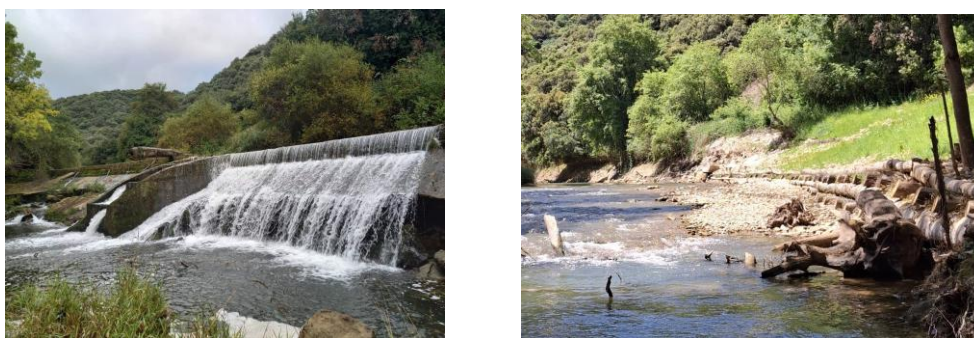


Figure 4 : Photographie pré (CIREF) et post démolition du barrage de Zuñiga

J'ai assisté à la réunion finale du projet de démolition du barrage de l'Ega au village de Zuñiga le 13 mai 2025 où les différents acteurs ont pu constater les résultats de la suppression du barrage. Cela m'a permis de découvrir le site d'étude pour la première fois qui se situe en forêt et de voir comment se déroulent ces événements. A l'emplacement de l'ancien barrage, il reste uniquement des constructions en pierre sur la rive car les habitants ont souhaité conserver une partie de la structure pour son intérêt historique. Par conséquent un aménagement de palissade de Krainer le long des berges a été réalisé pour les soutenir comme on peut le voir à la figure 4 car elles pourraient affecter à long terme la géomorphologie du cours d'eau. Le cours d'eau est plus large qu'auparavant et semble présenter plus de diversité de sédiments et des armures.

L'équipe de recherche travaille donc sur la géomorphologie et réalise une étude granulométrique pour le CIREF.

3.2 Mesures et relevés granulométriques sur le terrain

3.2.1) Echantillonnage terrain sur l'Ega

Afin de déterminer l'évolution de la taille des sédiments après la démolition du barrage, plusieurs zones d'échantillonnage ont été sélectionnées afin d'avoir une meilleure représentativité. Les prélèvements ont été réalisés sur sept barres sédimentaires comme le montre la figure 5, quatre sont localisées en amont (arriba) et trois en aval (abajo) de la zone Arquijas où se situait l'ancien barrage.

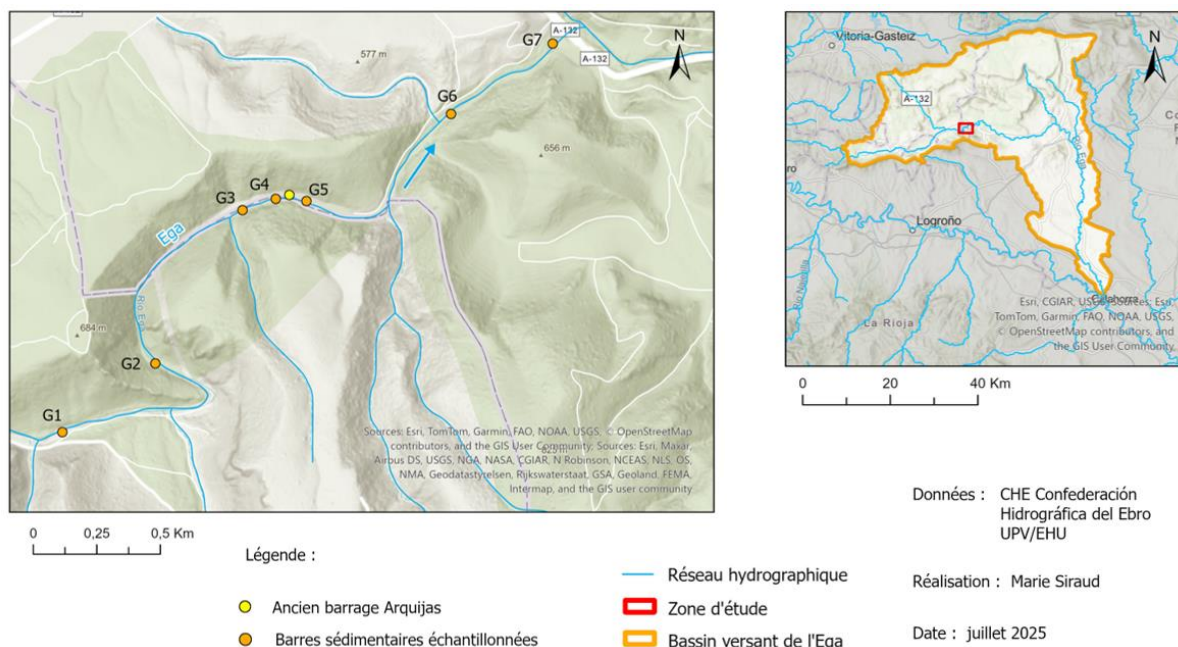


Figure 5 : Localisation des sites de prélèvement des barres sédimentaires sur l'Ega

Des études de sections transversales et des processus géomorphologiques ont déjà été réalisées sur l'Ega avant mon arrivée en stage et la mission d'analyse granulométrique n'avait pas encore commencée. La première campagne de mesure a été réalisée au cours de la démolition du barrage qui a eu lieu en octobre et novembre 2024 et la seconde post démolition s'est tenue en été 2025. Le prélèvement des sédiments de chaque barre a été effectué en deux fois, le 28 mai et le 18 juin car les conditions hydrologiques n'étaient pas favorables pour effectuer l'échantillonnage sur l'Ega. Le courant et la hauteur d'eau étaient en effet trop élevés auparavant pour atteindre les barres sédimentaires qui demandent obligatoirement de se déplacer dans la rivière pour pouvoir y accéder (figure 6).

Il a donc été nécessaire de surveiller régulièrement les données de débit du bassin versant de l'Ebre à partir des données de la SAIH pour savoir quand réaliser le travail de terrain.



Figure 6 : Données de débit de l'Ega récentes visibles sur le SAIH Ebro et évolution du débit en m^3/s de mai à juin 2025 depuis la période de stage à partir de la base de données.

Les prélèvements ont donc eu lieu quand le débit était aux alentours de 2 m³/s.

Le site d'étude se trouve en zone forestière et certaines barres sédimentaires sont plus accessibles que d'autres, il y a des zones où les berges sont plus hautes et avec une profondeur plus importante, certaines barres sont même immergées comme les barres G3 et G4 et vont alors modifier la façon de réaliser l'échantillonnage granulométrique.

En moins d'une année après la démolition du barrage, on constate la génération de nouvelles barres 100 m en aval du barrage et une accumulation de sédiments sur des barres qui étaient auparavant plus petites comme c'est le cas de la barre G5 et cela témoigne de la reprise de continuité sédimentaire. Cela s'explique par la démolition du barrage majoritairement et également par l'accentuation de la force de l'écoulement due aux conditions météorologiques.

D'après le rapport de suivi (Ibisate et al., 2025) et comme on peut le voir sur la figure 7, en amont la barre G1 correspond à un dépôt de contrôle et la barre G2 sur la rive gauche est à la limite de la zone du réservoir générée par le barrage. Les barres G3 et G4 sont apparues lorsque le barrage était en train d'être démantelé mais sont actuellement immergées.

En aval la barre G5, la première après le barrage est adossée à la rive gauche, surélevée et servait auparavant de lit secondaire. Elle était délimitée par une rangée d'aulnes qui a disparu avec un développement d'une connexion de la rive avec le lit. La barre G6 sur la rive droite est dans une zone avec une plus grande retenue d'eau et la barre G7 à côté du pilier de l'ancien pont forme une petite île avec un rapide.



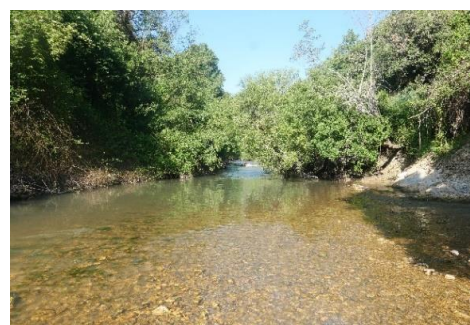
G1 Barra aguas arriba



G2 Barra aguas arriba



G3 Barra lejos presa sumergida (S. García)



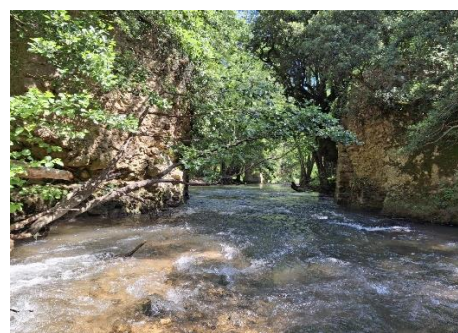
G4 Barra cerca presa sumergida (S. García)



G5 Barra aguas abajo



G6 Barra con nueva acumulación



G7 Barra puente antiguo (barre à gauche et vue en aval avec piles du pont ancien à droite)

Figure 7 : Photographies des barres sédimentaires

Plusieurs techniques ont été réalisées afin de déterminer l'évolution de la taille des sédiments après la démolition du barrage, le protocole de Wolman et l'échantillonnage par quadrat.

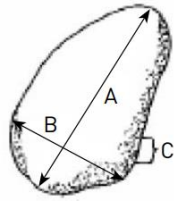
Le protocole de Wolman a été effectué sur chaque barre sédimentaire. La dimension des sédiments est ainsi mesurée aléatoirement le long d'un décimètre qui est déroulé le long de la barre sédimentaire au plus proche de la rivière afin de mesurer la taille de ceux qui sont le plus susceptibles d'être transportés ou déposés.



Figure 8 : Réalisation du protocole de Wolman sur la barre sédimentaire

Les mesures aléatoires de sédiments du protocole de Wolman sont effectuées en fonction de la longueur de la barre pour avoir la meilleure représentation possible sur son ensemble sur les 100 mesures qui doivent être effectuées à la surface de la barre. Par exemple la barre 1 G1 qui mesure environ 200 m présente une mesure tous les 20 cm, celle juste à l'aval du barrage G5 de 500 m tous les 50 cm et celle de la barre G2 tous les 25 cm.

La taille des sédiments relevés n'est pas évaluée à l'aide d'un gabari mais avec un mètre et le paramètre relevé est la largeur du sédiment soit la valeur B sur la figure 9.



Particle axes (from Potyondy and Bunte, 2002).
 A = Longest axis (length)
 B = Intermediate axis (width)
 C = Shortest axis (thickness)

Figure 9 : Schéma de la mesure des particules avec le protocole de Wolman (*Potyondy and Bunte, 2002*)

Ensuite afin d'avoir une meilleure approximation de la granulométrie, la méthode d'échantillonnage par surface est réalisée comme on peut le voir sur la figure 10.

Un quadrat de 40 cm² est réalisé au bord de chaque barre sédimentaire, la zone est ensuite peinte pour séparer les sédiments de surface (coraza) des sédiments sous-jacents (subsuperficial). On mesure la largeur puis la masse des sédiments à l'aide d'une balance, on s'occupe dans un premier temps des sédiments les plus grands (galets et graviers) et les plus fins restants sont terminés d'être mesurés en laboratoire.



Figure 10 : Echantillonnage par quadrat avec les sédiments de surface (à gauche) et les sédiments de subsurface (à droite)

Ensuite on creuse en profondeur et environ 7 à 8 kg de sédiments de subsurface de chaque barre sont extraits, mis dans des sacs et seront tamisés en laboratoire afin de connaître les proportions exactes des différentes classes de taille des sédiments.

3.2.2) Protocole d'analyse granulométrique en laboratoire

L'analyse granulométrique se déroule en plusieurs étapes.

1ere étape : mesure des particules de plus de 2 cm de largeur

Dans un premier temps, on réalise une mesure individuelle avec un mètre et une balance de la taille et de la masse des sédiments de plus grande dimension c'est-à-dire ici dont la taille est supérieure à 2 cm de largeur comme on le voit sur la figure 11.



Figure 11 : Mesure et tamisage des particules de plus de 2 cm de barres sédimentaires

Ensuite la séparation des particules s'effectue par tamisage manuel. Différents tamis sont d'abord utilisés pour extraire les plus grandes tailles de sédiments, >20 mm, 10-20 mm, 2-10 mm et <2 mm et la masse de chaque classe est mesurée ensuite.

2ème étape : filtration des sédiments

Les sédiments de moins de 2mm sont ensuite filtrés « pasados por agua » avec un tamis de 50 μ m afin de récupérer les limons et les argiles. Elles sont plus faciles à extraire par filtration que par tamisage étant donné que les particules les plus fines s'agrégent aux autres de classes supérieures et demanderaient de passer encore plus de temps sans cette étape. La filtration demande de mélanger les sédiments jusqu'à ce que l'eau utilisée pour filtrer devienne claire pour permettre de libérer le plus de sédiments fins possible. Les solutions sont ensuite mises en béccher comme le montre la figure 12. Par exemple pour la barre G2, nous avons obtenu 48 bécchers et pour la barre G5, 26 bécchers et permettent déjà d'extraire une grande partie des sédiments.



Figure 12 : Filtration des sédiments inférieurs à 2mm et élimination de la matière organique

Cette étape peut être réalisée plusieurs fois, on détermine si cela est nécessaire en fonction de la couleur de la solution, si l'eau est plutôt trouble on peut effectuer une deuxième filtration. Il est nécessaire d'éliminer la matière organique lors du second passage avec du peroxyde d'hydrogène qui en réagissant fait remonter à la surface les débris végétaux. Cela permet de limiter le taux d'erreur dans le calcul de masse des classes de sédiments.

Les sédiments mis en solution dans des béchers sont ensuite exposés entre 100 et 150°C au four pendant plusieurs jours afin de leur permettre de sécher après l'étape de filtration et ainsi pouvoir mesurer leur masse sèche, réelle comme on peut le voir à la figure 13.



Figure 13 : Séchage des solutions de sédiments <2mm

3^{ème} étape : tamisage des particules inférieures à 2 mm

Les sédiments restants sont également mis à sécher pour pouvoir effectuer la séparation des classes des sédiments sableux (tableau 1) par tamisage manuel. On effectue chaque séparation de chaque classe l'une après l'autre séparément avec un tamis de 50µm en dessous pour extraire le plus rapidement les particules les plus fines limons et argiles qui n'ont pas été déjà évacuées lors de l'étape de filtration. Enfin, on mesure la masse de chaque classe pour chaque échantillon (figure 14).

Type de sédiment	Taille de sédiments	Mailles des tamis
Bloc (bloque)	>256 mm	>20 mm
Galet (canto)	64 mm > x < 256 mm	
Gravier (grava)	20 mm > x < 64 mm	
Gravillon (gravilla)	10 mm > x < 20 mm	>10 mm
	2 mm > x < 10 mm	>2 mm
Sable (arenas)	1,25-2 mm	
	0,8-1,25 mm	
	0,5-0,8 mm	
	0,4-0,5 mm	
	0,25-0,4 mm	
	0,2-0,25 mm	
	0,15-0,2 mm	
	0,08-0,15 mm	
	0,05-0,08 mm	
Limons et Argiles (limos y arcillas)	<0,05 mm	



Figure 14 : Tamisage de chaque classe de sédiments

Tableau 1 : Taille de classe des sédiments

A la fin de l'étude les sédiments seront remis à la rivière Ega au niveau de chaque barre sédimentaire correspondante.

3.2.3) Analyse des résultats

Une fois tous les résultats des différentes masses de sédiments obtenus, les données ont été traitées sous Excel et on a pu obtenir la mesure du D50 de chaque barre (taille médiane indiquant que 50% des sédiments ont une taille inférieure et 50% une taille supérieure) (annexe 1). J'ai donc pu commencer à comparer son évolution pour chaque barre bien que l'étude ne soit pas encore terminée.

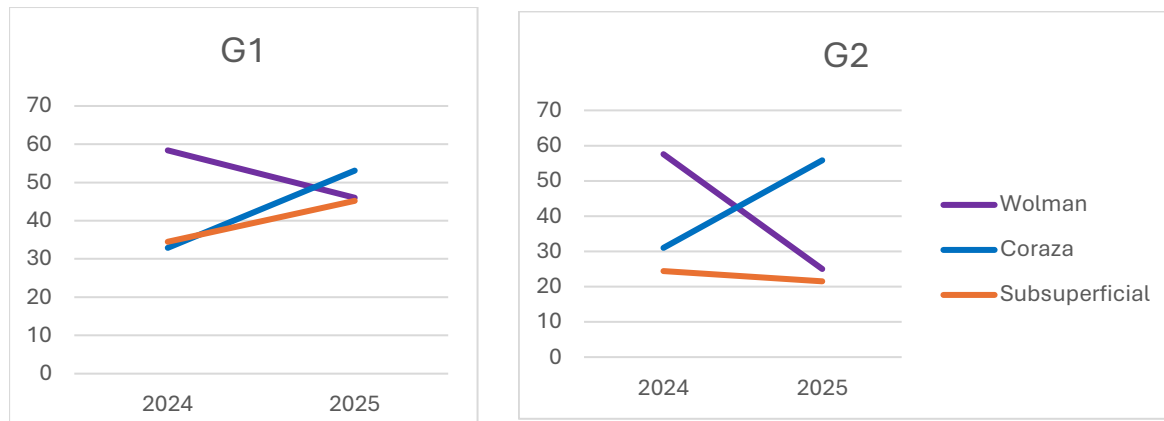


Figure 15 : Evolution du D50 (mm) des barres de contrôle G1 et G2

Les barres G1 et G2 les plus éloignées en amont sont des zones de contrôle et les différences de tendance pour l'évolution de la taille de D50 pour les sédiments de subsurface observées sur la figure 15 s'expliquent par la présence de différents types de matériaux cohésifs.

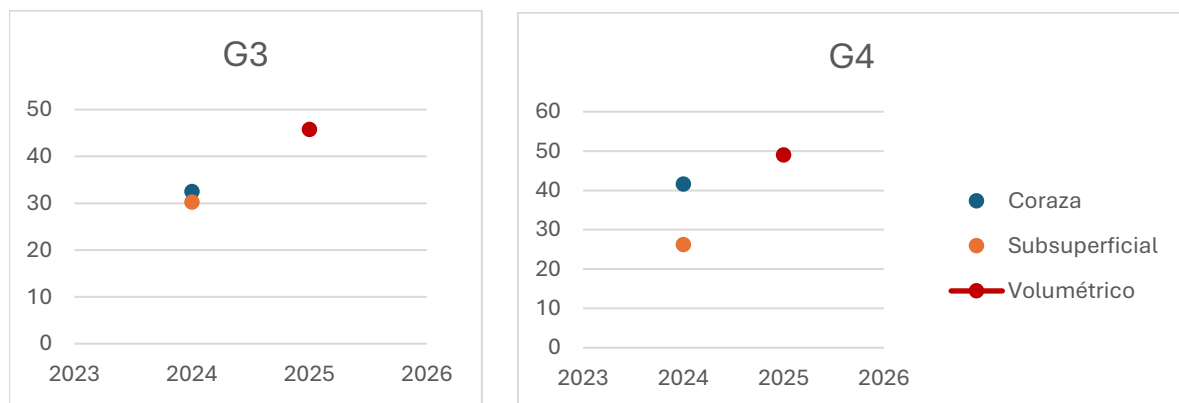


Figure 16 : Evolution du D50 (mm) des barres en amont du barrage G3 et G4

Pour les barres G3 et G4 en amont du barrage, en 2025 seule une mesure volumétrique a pu être réalisée car les barres étant immergées, il n'était pas possible de peindre les sédiments en surface (coraza) et de les distinguer de ceux enfouis. La mesure du D50 de 2025 correspond donc à l'ensemble coraza et subsuperficial que l'on appelle volumétrique.

On constate ici sur la figure 16 que les sédiments de ces barres après l'effacement du barrage ont une taille D50 plus grande qu'auparavant. Elle est passée de 30, 32 à 46 mm pour G3 et de 26, 42 à 49 mm pour G4.

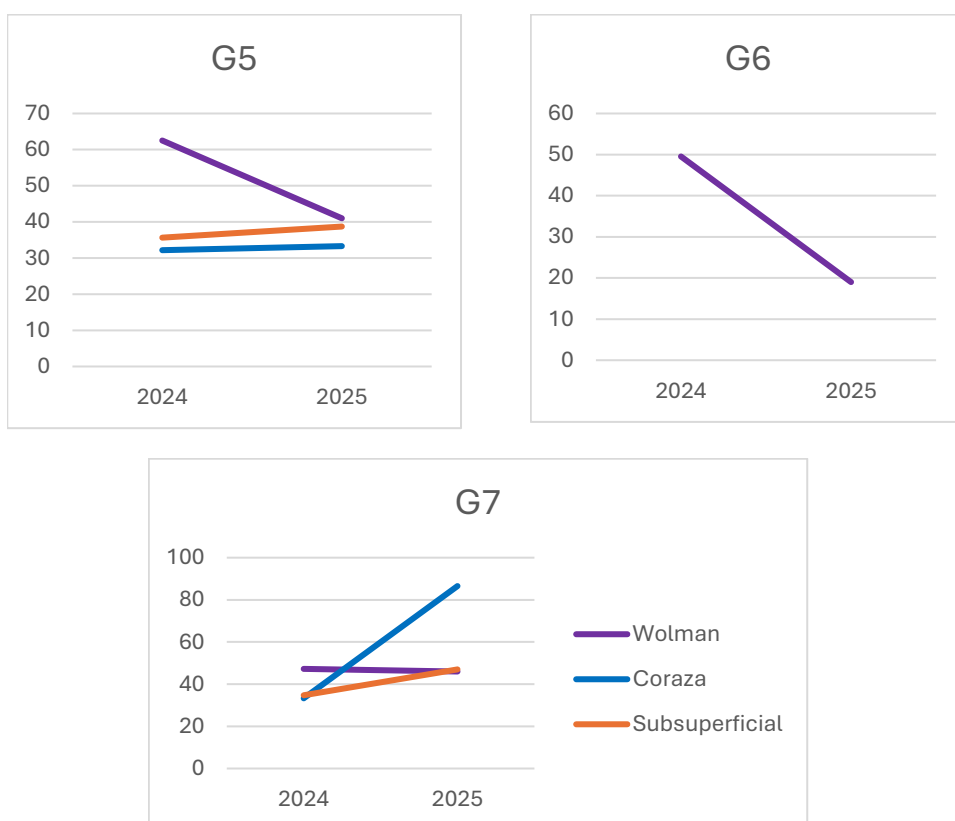


Figure 17 : Evolution du D50 (mm) des barres en aval du barrage G5, G6 et G7

Sur la figure 17 pour les barres G5 et G6 en aval, on constate une diminution importante de la taille des sédiments en surface mesurés avec Wolman (seule méthode appliquée sur la barre G6), on passe de 62 à 41 mm pour G5 et de 49 à 19 mm pour G6. En G7, on observe en revanche une augmentation de la granulométrie de surface de 33 à 86mm et de 34 à 47mm pour ceux de subsurface.

3.2.4) Interprétation des résultats

Du fait de la présence du barrage, le courant est plus faible et alors seuls les sédiments les plus fins, ceux qui nécessitent moins d'énergie de la part de la force d'écoulement sont transportés par le cours d'eau. Ce sont ces sédiments les plus petits accumulés au niveau du barrage qui vont alors être ensuite transportés en aval après la démolition du barrage. Cela explique la diminution du D50 en G5 et G6 entre 2024 et 2025, indiquant qu'il y a plus de particules fines au niveau de la zone du barrage une plus grande proportion de sédiments fins. En G3 et G4, l'augmentation du D50 s'explique alors par le fait que les sédiments restants en amont du barrage sont dans l'ensemble plus grossiers puisque la grande majorité des sédiments les plus fins se sont évacués vers l'aval après l'effacement.

Pour la barre G7, on peut alors supposer que les sédiments de surface et de subsurface ont continué d'être transportés par la rivière et que les sédiments de plus grande taille restants sont devenus majoritaires.

Cela nous permet alors de comprendre l'impact du barrage qui a donc perturbé le bon déroulement du transport sédimentaire comme le montrent les modifications de granulométrie entre les 2 années avec des changements de taille médiane qui augmentent en amont et diminuent fortement en aval. Majoritairement les particules les plus fines étaient auparavant bloquées par la forme de vase du réservoir du barrage. De nouveaux dépôts sédimentaires pourront alors se former en aval et réduire les tendances d'érosion remontante une fois que les sédiments se seront réorganisés dans un nouvel équilibre.

3.3) Suivi du transport des sédiments par RFID Tracking

3.3.1) Le traçage sédimentaire, une méthode de suivi de transport par charriage

L'évolution du transport sédimentaire est également déterminée grâce à la méthode de RFID Tracking (Radio Frequency Identification). Des traceurs GPS ont été insérées dans des sédiments de barres sédimentaires et vont permettre de connaître la distance parcourue par les sédiments depuis 1 an après la démolition du barrage.

Les barres sédimentaires sélectionnées sont certaines de celles où se sont effectuées les analyses granulométriques. Il s'agit des barres G1 en amont (S1) qui représente la zone de contrôle, G2 en amont (S2) dans la zone de vase du réservoir, G5 en aval du barrage (S3) et G7 la plus loin en aval (S4). Les points de mesures où ont été déposés les pit tags se situent où les sédiments sont plutôt grossiers pour pouvoir y insérer les pit tags. Au total 400 sédiments marqués sont déposés, 100 sur chacune des barres et vont être étudiés et représentent la charge de fond.

Ces sédiments ont été préalablement mesurés pour déterminer le D50 à partir de la distribution granulométrique des échantillons prélevés afin d'homogénéiser la taille des sédiments où vont être insérés les traceurs. La taille médiane est comprise entre 45 et 64 cm. Ils ont été ensuite forés, et les traceurs de 27 mm contenus dans un boîtier en silicone y sont insérés et sont recouverts de résine pour rester piégés à l'intérieur du sédiment. Chacun des sédiments marqués possède un code spécifique enregistré sous forme d'étiquette afin de pouvoir être identifié à l'aide d'un capteur. Les données morphométriques de chaque sédiment sont répertoriées (Ibisate et al., 2025).

Ils ont ensuite été placés dans le chenal en novembre 2023 au début de l'année hydrologique et une première campagne a été réalisée en été 2024 à l'étiage et avant la démolition du barrage en automne 2024. La deuxième campagne de recherche des pit tags s'est déroulée cet été 2025. Elle n'est pas encore terminée car les conditions météorologiques et hydrologiques comme vu précédemment ont été très humides et à fort débit même en été et ont empêché d'effectuer complètement le travail de recherche et des zones n'ont donc pas encore été explorées.

3.3.2) Utilisation du capteur

J'ai pu participer à la recherche des pit tags une demi-journée sur environ 400m. En effet la recherche des pit tags demande du temps car il faut parcourir la rivière sur toute sa largeur avec le capteur et des zones du cours d'eau sont plus ou moins faciles à arpenter. Il y a des endroits où le courant était très élevé, le débit moyen était de 1.3 m³/s le 2 juillet comme on peut le voir sur la figure 6 et des zones où la hauteur d'eau est trop importante.



Figure 18 : Appareil de mesure RFID tracking

L'appareil de RFID Tracking est un capteur magnétique qui détecte avec un signal sonore les pit tags et enregistre leur position GPS respective. Sur le terrain, il faut s'assurer que le détecteur soit bien passé sur toute la largeur du cours d'eau, le capteur a une emprise de détection verticale jusqu'à 70 cm de profondeur mais pas horizontale c'est pourquoi il faut de déplacer en formant des arcs de cercle latéralement pour s'assurer de n'oublier aucune zone et obtenir les résultats les plus fiables possible.

Un pit tag peut être détecté plusieurs fois par l'appareil, le lecteur n'est capable de différencier un pit tag déjà enregistré qu'au bout d'une minute et il y a donc des erreurs lectures puisque lors de la recherche dans la rivière, nous pouvons enregistrer plusieurs fois le même pit tag

lors du ratissage de la zone. Par exemple nous avons eu 52 lectures et 45 pit tags ont été réellement identifiés.

Une fois toutes les données extraites de l'appareil, elles doivent être traitées afin d'éliminer ces répétitions de l'information et déterminer l'appartenance des pit tags aux barres correspondantes en les classant selon le code attribué qui commence par la même suite de chiffre spécifique à chaque barre.

3.3.3) Résultats

Cela nous permet alors d'obtenir à partir des données GPS une cartographie des pit tags de chaque barre et de quantifier le déplacement des sédiments en déterminant la distance parcourue par les pit tags (figure 19).

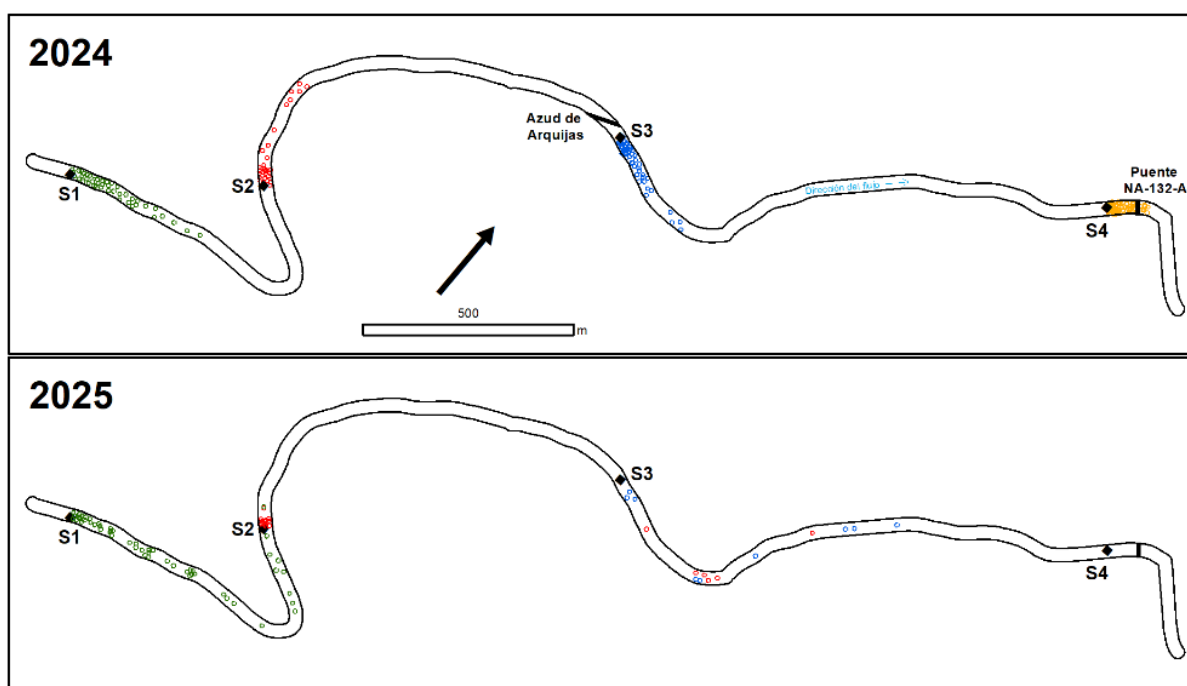


Figure 19 : Emplacement des pit tags des barres sédimentaires à chaque campagne de terrain (Ibisate et al., 2025)

CAMPAÑA	2024		2025	
SEMILLERO	Número encontrados	Distancia máxima recorrida (m)*	Número encontrados	Distancia máxima recorrida (m)
S1	90	343	54	906
S2	48	270	23	1677
S3	75	255	9	794
S4	90	97	-	-
Total	303		86	

Tableau 2 : Données des pit tags retrouvés en 2024 et 2025 (Ibisate et al., 2025)

En 2024, le nombre de traceurs ayant été détectés est très élevé (Tableau 2) plus de ¾ des pit tags ont été retrouvés dont notamment 90% pour les barres S1 (G1) et S4 (G7) soit la barre témoin la plus en amont et celle la plus en aval au niveau du pont ancien. La quantité de pit tags retrouvés pour les barres S2 (G2) et S3 (G5) est plus faible. Cependant les derniers traceurs de S2 qui avaient été repérés

se trouvaient dans une zone de réservoir où l'eau contenue ne permettait d'avancer davantage à cause de la profondeur et il est donc très probable que certains des traceurs s'y soient déposés en continuant leur progression.

Les pit tags non trouvés peuvent également être enfouis sous d'autres sédiments au cours du transport par charriage qui s'effectue et expliquerait pourquoi on ne les retrouve pas tous sans exception. De même la ripisylve dense à certains endroits crée des zones de couverture où le signal satellitaire ne peut pas être perçu et peut induire des erreurs.

En 2024, les distances maximales parcourues par les sédiments étaient les plus importantes pour les barres S1, S2 et S3 aux zones de contrôle amont et au niveau du barrage et celle de la barre S5 la plus en aval est beaucoup plus faible.

La recherche des pit tags de 2025 n'est pas encore terminée puisque la campagne de terrain menée cet été n'a pas pu être aboutir avant la fin du stage en raison des conditions hydrauliques comme vu précédemment. Pour l'instant seul ¼ des pit tags a été retrouvé et cela explique donc les faibles taux de découverte du tableau pour 2025. Il reste encore à parcourir 875 m en aval et des zones entre S2 et S3 n'ont pas encore été parcourues comme en 2024. On peut également émettre l'hypothèse que peu de sédiments de la barre S4 vont être retrouvés car il y a une grande probabilité qu'avec la reprise du transport sédimentaire, ils aient rejoint d'autres cours d'eau.

En revanche, il est primordial de remarquer que les distances de déplacement sont beaucoup plus élevées qu'en 2024 en amont et en aval au pied du barrage. D'après le schéma, on observe par exemple qu'une particule de S2 en amont du barrage a effectué 1677 m et a traversé l'ensemble du bassin du réservoir de l'ancien barrage. La distance parcourue a été multipliée par 8 en 1 an due à l'arasement. Le chemin effectué par les sédiments des autres barres témoin S1 et au niveau du barrage S3 a été multiplié par 3 et a donc aussi augmenté de façon importante.

Par conséquent nous pouvons en déduire que la démolition du barrage a permis de rapidement renouveler le transport des sédiments de l'amont au bout d'un an qui était auparavant bloqué par la zone de réservoir du barrage et vers l'aval restituant ainsi l'écoulement naturel de la rivière.

3.4 Etude hydrologique

J'ai également recherché des données hydrologiques de la SAIH Ebro pour caractériser le site Arquijas. Ces données serviront à l'équipe de recherche dans la poursuite de leur rapport. Il s'agira plus précisément de les mettre en lien avec les informations de distance de transport sédimentaire obtenues avec les pit tags. Les données sont issues de la base de données de la SAIH Ebro (Systema Automático de Información Hidrológica de la Confederación del Ebro) et sont bien représentatives du site d'étude car une station (A328 Ega Arquijas gn) enregistrant le débit et le niveau d'eau se trouve à l'aval de l'ancien barrage à 500 m de la barre G7.

J'ai extrait les débits journaliers, mensuels et annuels et effectué des visualisations plus précises d'octobre 2023 à juillet 2025 afin de constater l'évolution du débit sur les périodes précédentes et succédant la démolition du barrage en novembre 2024. Cela permettra de savoir si la mobilité des sédiments a par exemple été davantage facilitée par le courant. J'ai également calculé les périodes retour de crue à partir des débits maximums de chaque année en utilisant l'équation de Gumbel afin de caractériser encore davantage l'hydrologie du secteur (Annexe 2).

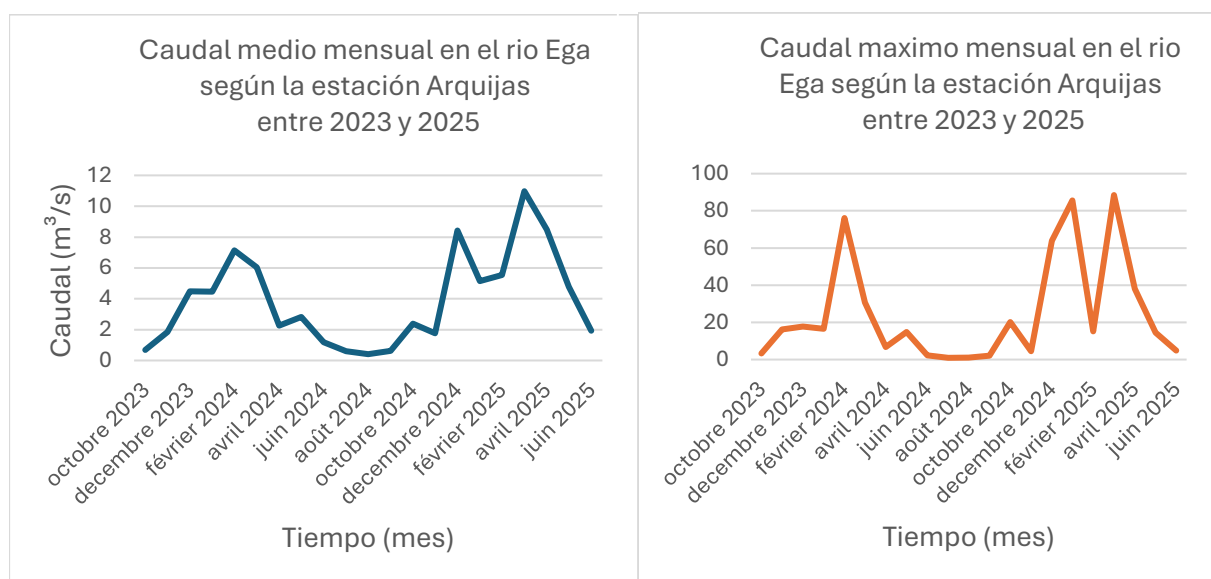


Figure 20 : Débits moyen (bleu) et maximal (orange) mensuels et de la rivière Ega de 2023 à 2025

C'est surtout les débits moyens et maximaux mensuels de 2023 à 2025 auxquels il faut prêter attention car ils permettent de distinguer les périodes de crues et d'étiage lors de la période d'étude.

Avec ces graphiques j'ai pu constater plusieurs pics de débit, une première période de crue de janvier à février 2024 avec des débits moyens de 7 m³/s pouvant jusqu'à presque 80 m³/s puis après la démolition du barrage de décembre à janvier puis mars avril 2025 des débits de 9 à 11 m³/s pouvant atteindre 90 m³/s après la démolition du barrage. Ce sont des valeurs élevées pour ce type de cours d'eau.

On en conclut alors que ces débits majeurs après la démolition en novembre 2024 ont également eu un impact sur la mobilité des sédiments en plus de l'arasement qui est le facteur essentiel du retour de ce transport sédimentaire.

3.5) Modélisation MNT de la zone Arquijas

Le projet de recherche sur l'Ega a également demandé de réaliser un diagnostic sur la rivière et le bassin versant qui a été réalisé préalablement au stage et quelques tâches nécessitaient encore d'être réalisées

J'ai ainsi effectué la modélisation de l'élévation de terrain de la rivière Ega au-dessus du niveau de la mer sur le site du réservoir du barrage là où la profondeur est plus élevée pour pouvoir y accéder. Un nuage de points a été réalisé en 2023 sur la rivière avec une sonde Lidar en kayak par l'entreprise Ebronautas qui a réalisé le prélèvement des coordonnées sur toute la largeur de la rivière au niveau du site du réservoir du barrage (embalse). A partir de ce nuage de points, j'ai alors créé un fichier TIN (annexe 3) puis un Raster (figure 21) que j'ai dû redécouper afin d'obtenir la topographie du cours d'eau.



Figure 21 : MNT de la zone du réservoir représentant la bathymétrie de l'Ega en amont du barrage

On observe d'après les données que l'on a une différence d'amplitude de 5m d'altitude ce qui justifie pourquoi la zone n'est pas accessible pour la recherche des pit tags du RFID tracking. Avec ce modèle on constate bien que la profondeur est de plus en plus importante plus on se rapproche du barrage en aval dans la zone du réservoir au nord-est de la figure comme on peut s'y attendre. C'est sur toute cette zone que les sédiments auront donc pu s'accumuler au cours du temps en étant retenus par le barrage. On remarque également quelques zones plus profondes en amont formant des bassins qui peuvent également retenir des sédiments (annexe 4).

Ces données bathymétriques représentant l'Ega avant la suppression du barrage seront comparées plus tard aux données post démolition du barrage. Cela permettra alors de déterminer l'évolution de la morphologie du fond du lit au cours du temps.

La morphologie plus précise de la rivière peut alors être étudiée comme avec le profil longitudinal de 2023 du réservoir que j'ai créé à partir du MNT la figure 22 suivante et surtout des profils transversaux.

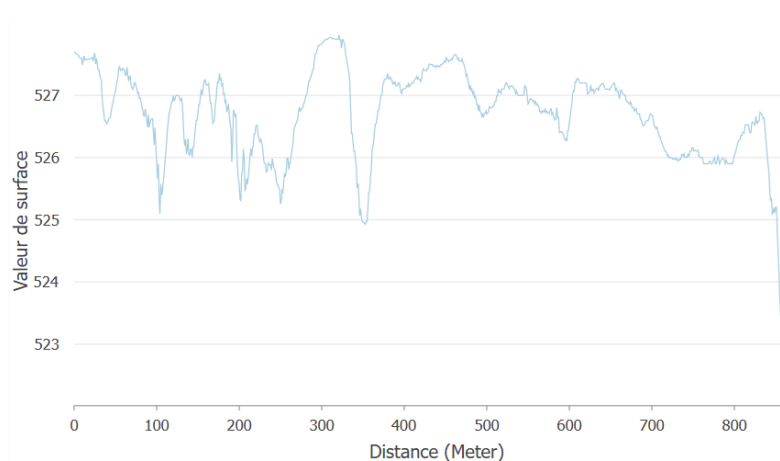


Figure 22 : Profil longitudinal de la zone de réservoir Arquijas

A partir du profil on repère précisément l'évolution de la profondeur du lit de la rivière sur plus de 800m et on peut alors plus facilement identifier les zones de bassins qui peuvent ainsi contenir des sédiments. Les bassins se concentrent en amont de la zone de réservoirs et peuvent s'étendre jusqu'à environ 3m de profondeur en majorité puis finissent par être un peu moins fréquent entre 1 et 2m jusqu'à atteindre le barrage à 5m de profondeur.

Les comparaisons se feront uniquement entre les sections transversales qui auront été modélisées à partir du MNT et celles réalisées directement sur le terrain un peu plus tôt dans l'année par une équipe de recherche d'une autre université travaillant sur le projet.

Il n'y aura pas de nouvelle campagne de mesure bathymétrique compte tenu des conditions topographiques de la rivière qui ont évolué du fait de la démolition du barrage. Elle est désormais plus encaissée et il n'est alors désormais apparemment plus possible de pouvoir réaliser de nouvelles mesures d'élévation sur la zone et donc d'obtenir un nouveau raster. Il faudra alors se contenter de la comparaison de sections transversales. Elles auront alors comme intérêt de savoir si des zones auront subi de l'érosion ou de l'accrétion sédimentaire après la destruction de l'ancien moulin et de quantifier son impact morphologique une fois que les sédiments ont été libérés.

4) Digitalisation des rivières éphémères

4.1) Les problématiques des rivières non permanentes

Les rivières éphémères constituent 50% du réseau fluvial dans le sud de l'Europe et se concentrent en majorité dans les bassins méditerranéens. Au niveau hydrologique, selon le ministère de l'Environnement espagnol en 2008, une rivière éphémère a un débit intermittent, elle ne s'écoule que pendant une période moyenne de moins de 100 jours par an, en particulier après les épisodes de tempête. Ces rivières sont caractérisées par rapport aux rivières pérennes par le fait qu'elles n'ont pas de débit de base. Lorsque le débit direct s'arrête, elles cessent de s'écouler et s'assèchent pendant de longues périodes et cela se produit encore davantage lorsqu'elles se trouvent dans des milieux arides et semi arides comme c'est le cas de celles étudiées. Les eaux de surface sont les seules à circuler car ces rivières sont dans la plupart des cas déconnectées des aquifères. Leur dynamique hydrologique est contrôlée par des crues soudaines avec des débits de pointe marqués.

Ces rivières ne sont cependant pas bien gérées, elles présentent des difficultés de politique de gestion et sont soumises à de nombreux impacts anthropiques. Elles sont détériorées lors d'extraction d'eau souterraine, de déversements d'eaux usées, de passage de canalisation et d'exploitation minière. Elles ne sont pas cartographiées et la population occupe également le chenal, Elle ne les considère pas comme des rivières, en y installant des infrastructures urbaines détruit le territoire fluvial et ne se rend pas compte du risque d'inondation qu'elles représentent (Ollero et al., 2022).

4.2) Le projet d'Etude des rivières éphémères

Différents acteurs participent à cette étude, l'UPV Université du Pays basque, l'USC l'Université de Santiago de Compostelle, le département géographie et Aménagement du Territoire de l'Université de Saragosse et l'Université de Extremadura. Elle s'inscrit dans le cadre d'un plus grand projet, le projet CCAMICEM « Climate Change and geomorphological adjustments in ephemeral rivers : dynamics, geomorphic resilience and action proposals » de 2018 à 2022 de l'Université de Murcia.

L'objectif du projet est d'analyser les processus et fonctionnements géomorphologiques de ces rivières éphémères à partir de l'évolution de leur cartographie. Quatre sites sont étudiés au nord est de la péninsule ibérique, Reajo, Tudela, Cariñena et Valcodo qui se répartissent sur des zones présentant le plus de sécheresse sur le bassin versant de l'Ebre seulement entre 300 et 600mm de précipitations comme le montre la figure 23.

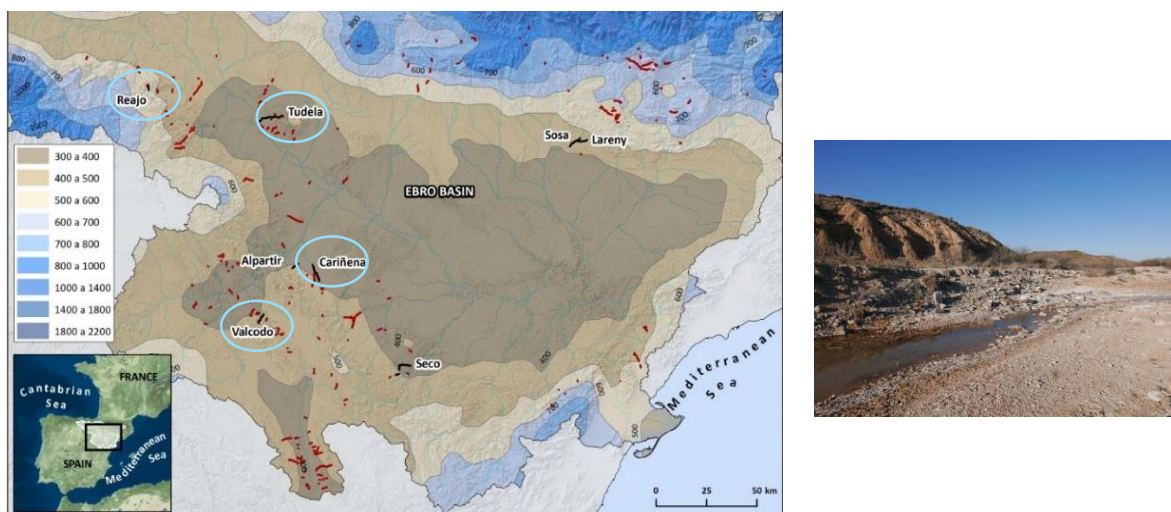


Figure 23 : Carte pluviométrique du bassin versant de l'Ebre et localisation des sites d'étude (2022) et photo de rivière éphémère (A.Saenz)

La cartographie de ces rivières a pour objectif d'en savoir davantage sur leur fonctionnement géomorphologique et compléter le manque d'information des données hydrologiques.

4.3) Méthodologie

La digitalisation des rivières éphémères au cours du temps s'effectue à partir d'orthophotographies historiques issues de l'IGN et obtenues à partir de quatre vols réalisés sur ces zones. En 1956 et 1957, un vol photogrammétrique a été effectué par l'armée américaine sur la péninsule ibérique et de 1980 à 1984 il y a eu un vol interministériel qui ont donné des photographies aériennes en noir et blanc et en 2017 un vol du Plan National d'Orthophotographie Aérienne (PNOA) donnant des orthophotographies couleur. Le vol de 2019 appelé UAV contrairement aux autres a été effectué directement par l'équipe de recherche avec un drone uniquement sur la surface des sites d'étude et possède une meilleure précision avec des photographies pixelisées entre 1 et 4 cm. Les premières cartes ont déjà été créées par l'équipe de recherche d'une autre université partenaire.

J'ai alors effectué la digitalisation finale de l'étude à partir des dernières orthophotographies disponibles du PNOA datant de 2023 pour Reajo et 2024 pour Cariñena, Reajo et Tudela (annexe 5, 6, 7 et 8). Pour digitaliser les différentes parties de la rivière qui sont présentées au tableau 3, j'ai travaillé à l'échelle 1:200 à partir du logiciel Arcgis pro pour que la délimitation de chaque composante soit la plus précise possible.

J'ai également respecté les limites d'étendues des surfaces étudiées des autres cartes en créant mes polygones afin de pouvoir comparer les pourcentages de surfaces entre les différentes bien que la morphologie de la plaine inondable puisse se modifier légèrement aux extrémités et qui dépend comment les personnes les ont fixées auparavant. Avec les pourcentages de superficie, il est alors possible de déterminer l'évolution des rivières éphémères.

Les différents éléments que j'ai pu classifier sur la plaine inondable sont :

	Chenal actif	Zone du chenal activement modifiée par les débits des cours d'eau, principalement lors des crues.
	Principal chemin d'écoulement	Zone principale d'écoulement des eaux définie par les débits de cours d'eau les plus fréquents

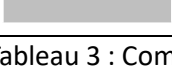
	Cut-off	Présence d'ancien méandre chute cut off ou neck cut off
	Barre peu végétalisée	Barre sédimentaire avec moins de 60% de végétation sur son ensemble
	Barre végétalisée	Barre avec une végétation qui occupe plus de 60% de la surface
	Berge escarpée	Berges verticales avec une inclinaison de plus de 30°
	Rochers	Roches exhumées
	Anthropique	Aménagement humain, chemin

Tableau 3 : Composantes morphologiques identifiées sur la plaine inondable des rivières étudiées

4.4) Résultats de la digitalisation des rivières éphémères

Carineña

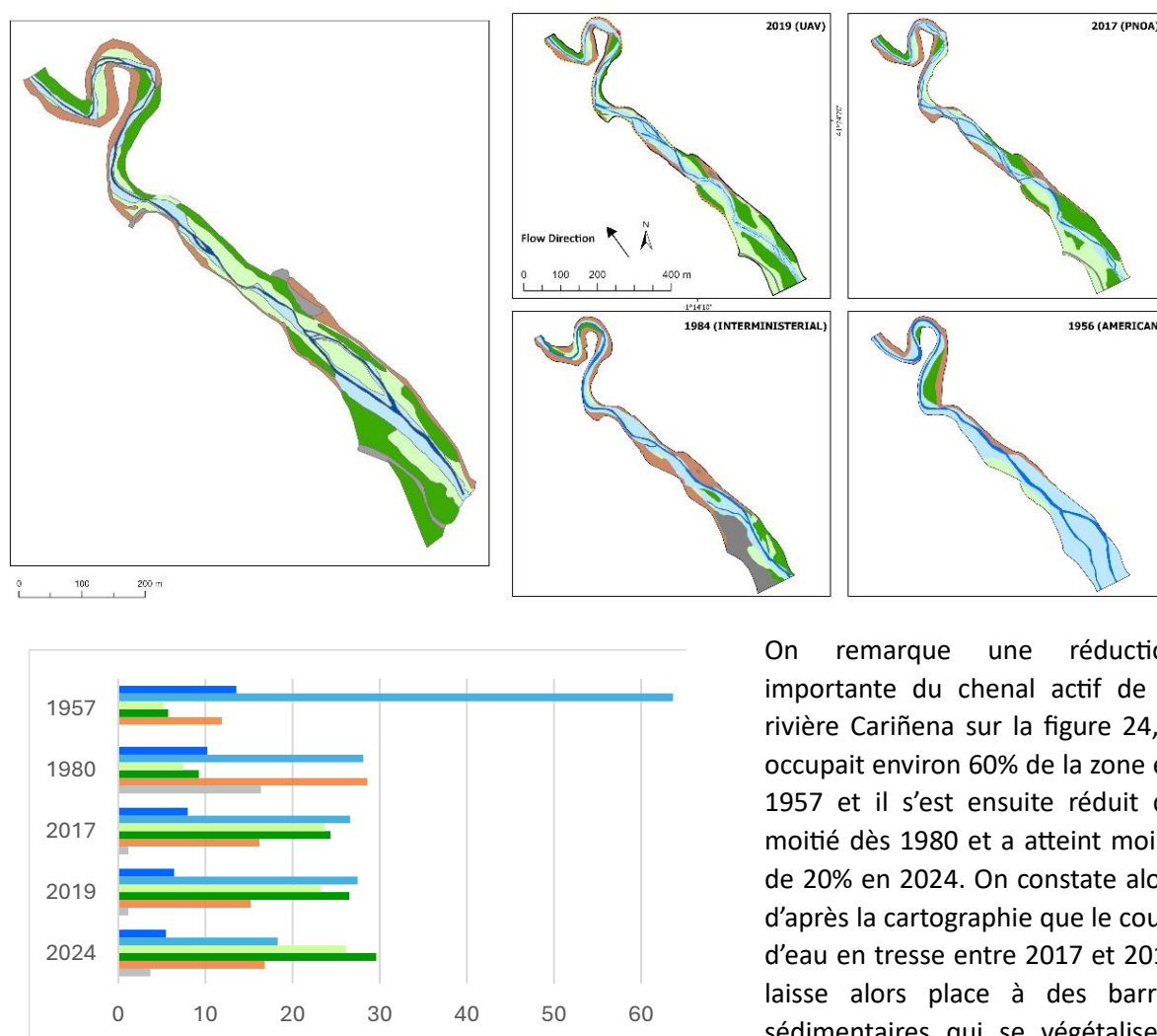


Figure 24 : Digitalisation de la rivière Cariñena et pourcentages surfaciques

On remarque une réduction importante du chenal actif de la rivière Cariñena sur la figure 24, il occupait environ 60% de la zone en 1957 et il s'est ensuite réduit de moitié dès 1980 et a atteint moins de 20% en 2024. On constate alors d'après la cartographie que le cours d'eau en tresse entre 2017 et 2019 laisse alors place à des barres sédimentaires qui se végétalisent davantage. Leur présence a en effet été multipliée par 6 depuis 1980, on passe pour chaque type de barre de 5% en 1957 à 30% à 2024.

Reajo

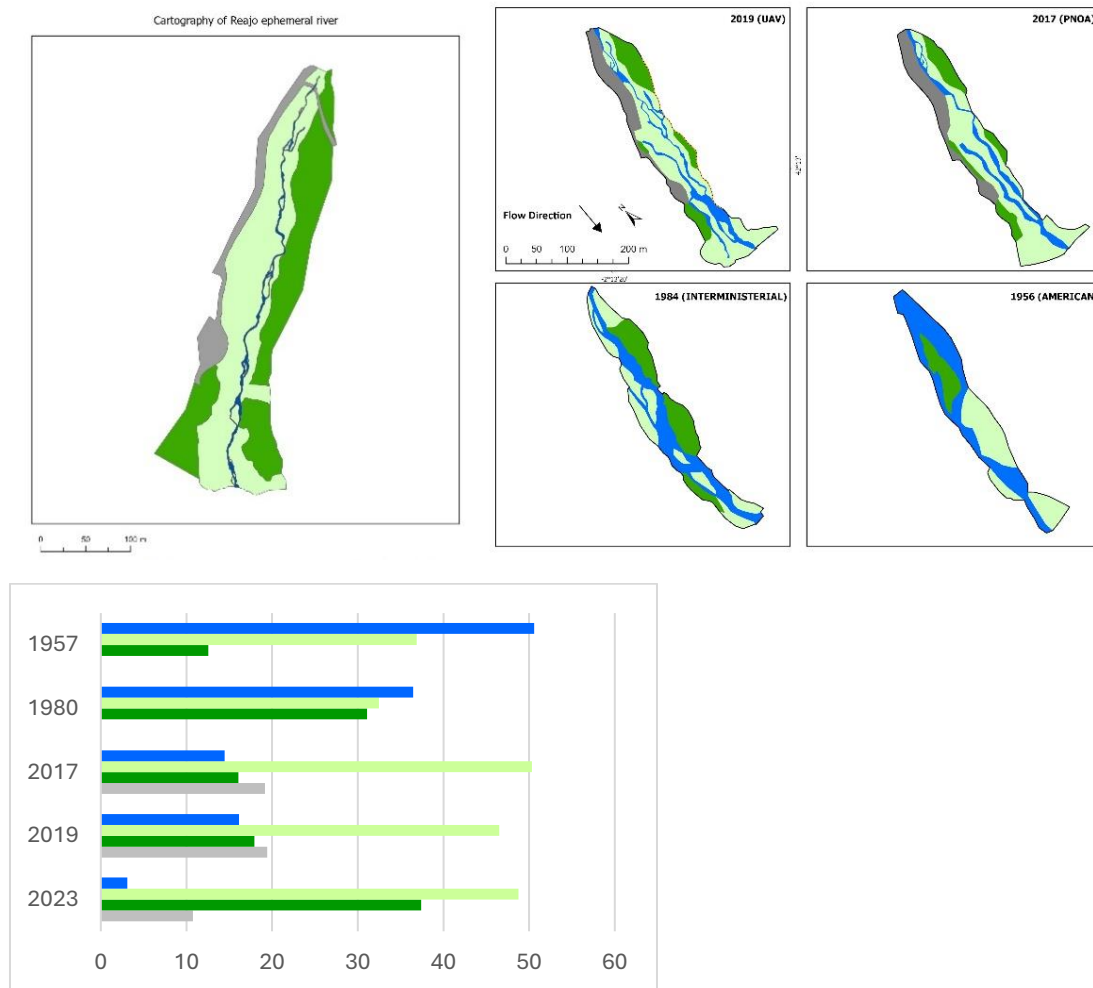


Figure 25 : Digitalisation de la rivière éphémère Reajo et pourcentages surfaciques

On remarque pour la rivière Reajo sur la figure 25 une grande réduction du chenal principal d'écoulement. Sa superficie est divisée par 10, il passe de 50 à 5%, et cela témoigne du changement de sa morphologie. On passe en effet d'un chenal unique très large à un cours d'eau fragmenté plus fin au cours des cinq dernières décennies.

On pourrait émettre l'hypothèse d'une fermeture d'un bras du chenal au milieu de la zone d'étude entre 2017 et 2019 qui disparaît totalement en 2023 or on ne peut pas l'affirmer car l'analyse dépend. Cela pourrait s'expliquer d'après la cartographie par le développement de nouvelles barres sédimentaires et où la végétation continue croître pour les plus anciennes en 2023 les barres occupent désormais environ 90% de la zone étudiée.

On ne peut pas parler de fermeture car dépend aussi du moment où a été prise la photographie, le cours d'eau peut se rejoindre à nouveau vu qu'il s'agit d'une rivière éphémère.

Tudela

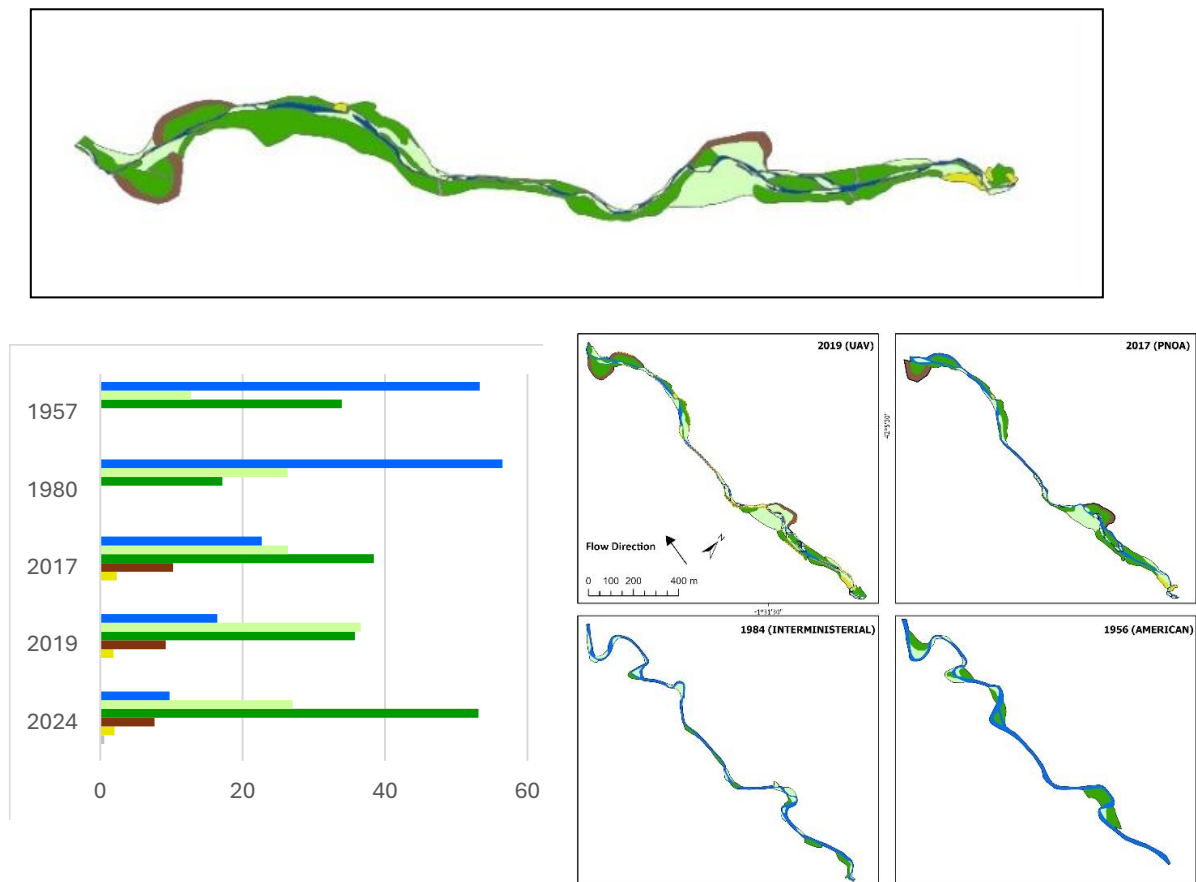


Figure 26 : Digitalisation de la rivière éphémère Tudela et pourcentages surfaciques

Pour la rivière éphémère proche de Tudela à la figure 26, on remarque que le chemin d'écoulement principal diminue fortement on passe de 50% en 1980 à 10% en 2024. Le chenal s'est également transformé morphologiquement depuis 40 ans, il était méandrique jusqu'en 1984 et on remarque désormais qu'il est beaucoup plus rectiligne, beaucoup moins sinueux comme en témoigne la présence de chute cut off.

Les barres végétalisées se sont développées au cours du temps et restent toujours majeures ces dernières années autour de 70%.

Valcodo

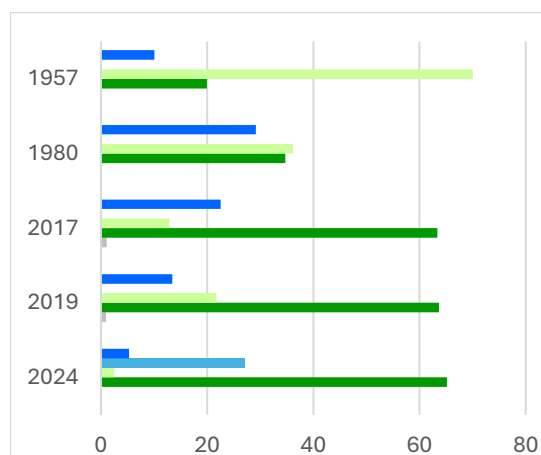
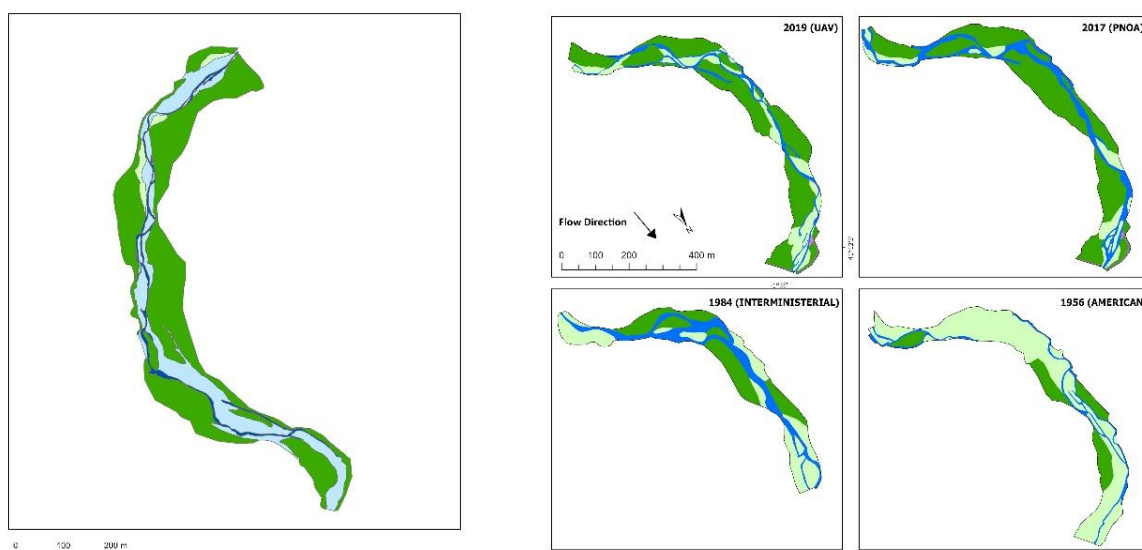


Figure 27 : Digitalisation de la rivière Valcodo et pourcentages surfaciques

On remarque ici pour la rivière Valcodo à la figure 27 que le chemin principal d'écoulement était très fin en 1957 et qu'il a continué à fortement se développer en 1984 en formant des méandres en tresse.

Il a commencé ensuite à se réduire comme on peut le voir en 2017 et 2019 au profit de nouvelles barres sédimentaires. Les barres qui étaient déjà présentes ont continué d'être colonisées par la végétation c'est pourquoi la quantité de barres végétalisées à plus de 60% a doublé depuis 1980, elles occupaient 35% et désormais 65% la superficie de la zone en 2024 et que celles peu végétalisées ont diminué progressivement de 70 à 3% entre 1957 et 2024.

Aussi en 2024, le chemin principal d'écoulement est aussi fin et on remarque le développement d'un chenal actif important mais cela peut dépendre du moment où a été prise la photo s'il s'agit d'une période où le débit était important il est normal de constater une grande évolution de la zone occupée par la rivière.

Ainsi nous pouvons en conclure que les rivières éphémères étudiées ont toutes évolué de façon plus ou moins semblable avec une réduction du chenal actif bien qu'il puisse quelque peu changer et le développement de barres sédimentaires anciennes ou nouvelles avec une colonisation de la végétation qui se stabilise au cours du temps.

5. Identification des impacts et des processus géomorphologiques du fleuve Deba

5.1) Contexte du projet sur le bassin de la rivière Deba

La Diputación Foral de Gipuzkoa, une des provinces des communautés autonomes du Pays basque souhaite disposer d'un inventaire des processus géomorphologiques, des pressions et des impacts sur les rivières présentes sur son territoire.

Le département de Géographie de l'UPV et l'Université de Saragosse ont déjà travaillé sur ce projet en étudiant les fleuves Urumea, Oria et Urola qui est adjacent au fleuve Deba et cherchent à déterminer les conditions de référence pour restaurer la morphologie fluviale du bassin versant étudié. Cette initiative a pour objectif la restauration des masses d'eau comme le veut la Directive cadre sur l'eau 2000/60/CE afin d'améliorer l'état écologique des cours d'eau.

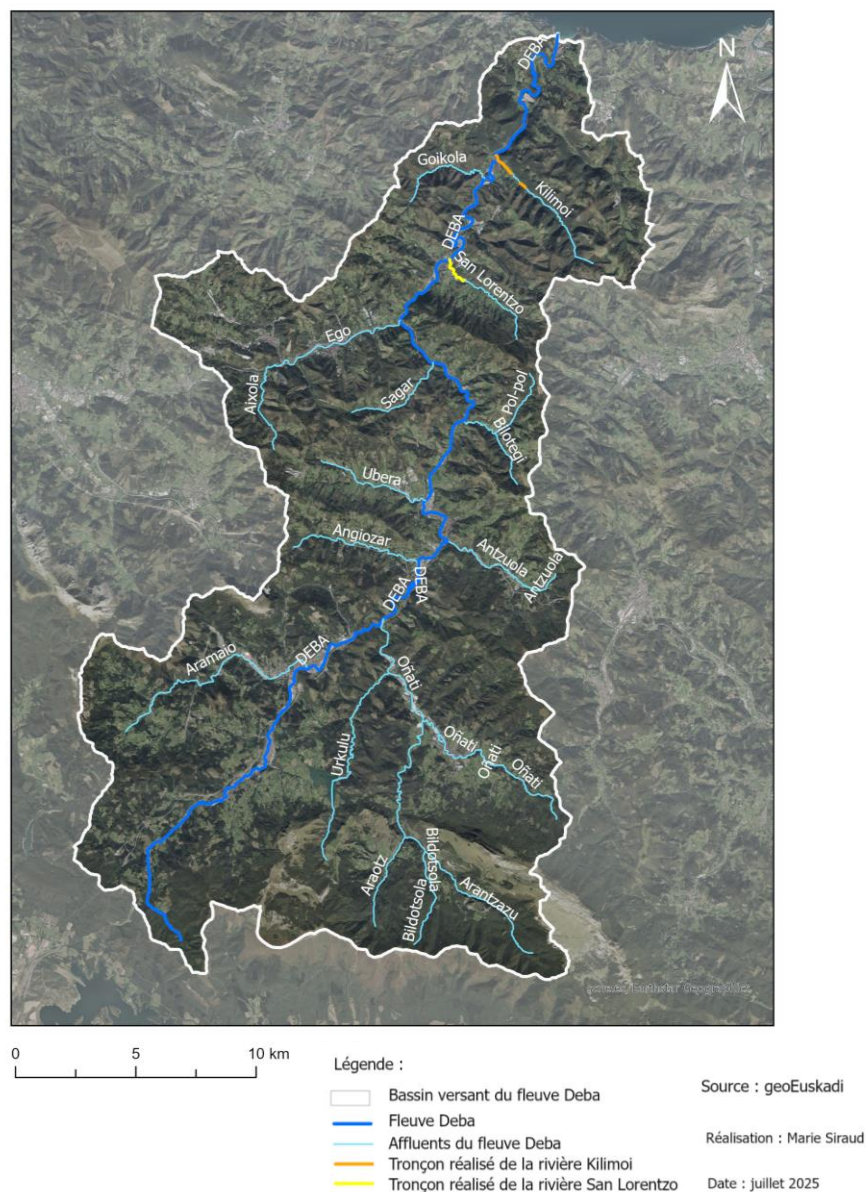
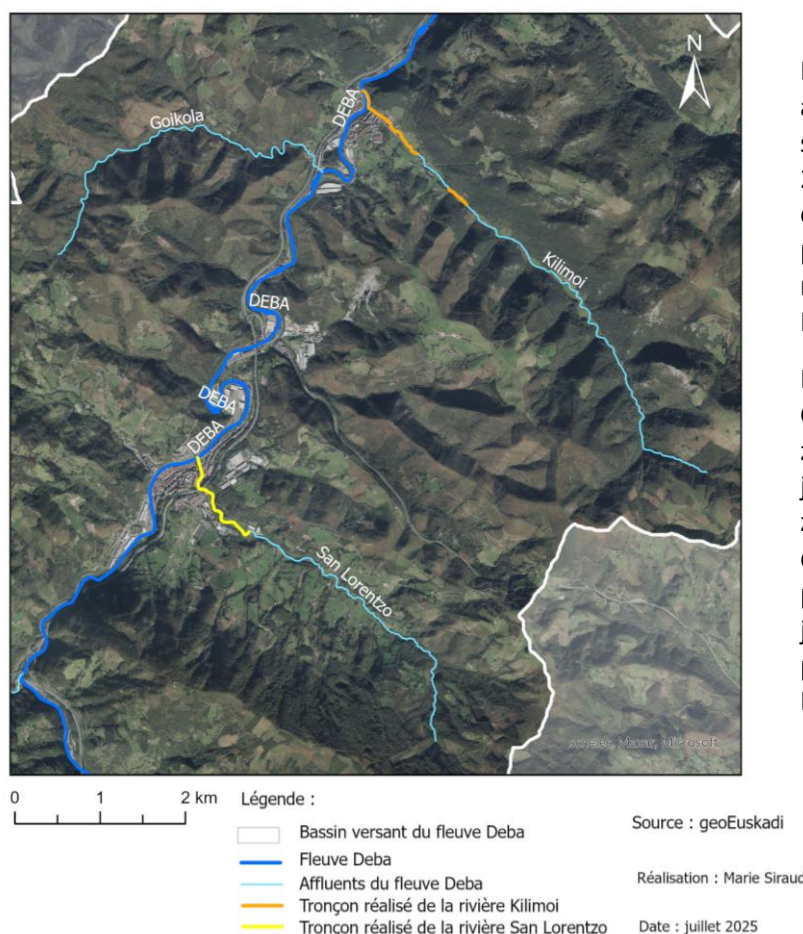


Figure 28 : Bassin versant du fleuve Deba, ses affluents et localisation des tronçons effectués



L'inventaire des impacts anthropiques et des processus sédimentaires est réalisé depuis 2023 et 4 affluents restent encore à être parcourus. J'ai alors pu participer à celui d'une partie de la rivière San Lorentzo et de la rivière Kilimoi.

Les deux autres affluents Sagar et Goikola sont localisés dans des zones extrêmement escarpées et j'ai donc parcouru les rivières de zones urbaines et de plaine bien qu'elles deviennent plus abruptes plus on avance vers l'amont. En une journée sur chaque site, nous avons parcouru 1.4 km pour le San Lorentzo et 1.3 km pour le Kilimoi.

Figure 29 : Localisation des tronçons parcourus des affluents Kilimoi et San Lorentzo du fleuve Deba

Au cours de l'inventaire on distingue les processus géomorphologiques des impacts anthropiques.

Les processus latéraux regroupent, l'expansion du chenal avec une érosion d'une ou deux rives), la contraction du chenal avec une sédimentation d'une ou deux rives, la migration latérale qui donne des rives convexes et concaves et l'accrétion latérale qui constitue une sédimentation des berges donnant des barres sédimentaires.

Les processus verticaux à repérer sont l'incision avec une diminution marquée du niveau du lit et l'aggradation avec un dépôt de sédiment au milieu du chenal. Les affluents et les barrages naturels en font également partie.

Concernant les impacts anthropiques qui affectent la dynamique fluviale, on distingue les impacts ponctuels des impacts linéaires.

Il existe différents impacts ponctuels, accès à la rivière, obstacle transversal (barrage, seuil), infrastructures de défense, prélèvements et zone de captation d'eau, canaux de dérivation, débris, occupation des berges, fossés ou canalisation restituant les eaux, talus artificiels, ponts, rives dégradées, anciens bâtiments, passage à gué, blocs, murs, rampes de restauration.

Les impacts linéaires se développent sur une plus grande partie du cours d'eau. On compte l'artificialisation du lit de la rivière (béton), les canaux artificiels, les conduites, les murs de défense (en béton ou blocs reposant sur les berges), l'occupation du chenal par des barrière ou des routes qui limitent la capacité de mouvement du système fluvial, les buses et eaux enterrées et les chemins qui artificialisent les berges, les terrasses ou encore la plaine inondable (Ibisate et al.).

5.2) Méthodologie de l'identification sur le terrain

Pour réaliser l'inventaire, on parcourt la rivière en waders de l'aval vers l'amont et les différents processus géomorphologiques repérés sont répertoriés afin de connaître le fonctionnement hydrogéologique des différentes sections du cours d'eau et de déterminer les processus dominants.

Des photographies de chaque processus et de chaque impact sont prises et leur numéro est annoté avec l'impact ou le processus observé correspondant. Des points GPS sont pris régulièrement au cours de l'inventaire pour les repérer et savoir notre évolution sur la rivière et connaître notre progression pour reprendre l'inventaire la fois suivante. Toutes les informations sont retranscrites dans un carnet sous forme de croquis détaillé pour pouvoir ensuite les cartographier sous SIG et obtenir une représentation d'ensemble des différents processus.

Pour repérer les processus géomorphologiques il faut se référer à la forme des unités morphologiques c'est-à-dire la variation de la forme du chenal, des berges avec l'observation de racines et du lit en particulier. Les modifications de vitesses d'écoulement sont également des indicateurs de ce différents processus (Ibáñez et al.).

5.3) Constatations et utilisation future

Au cours de mes inventaires de terrain j'ai pu identifier différents impacts et processus (tableaux 4 et 5), apprendre à les reconnaître et comprendre les liens qui existent entre eux.

San Lorenzo

		
Processus d'Incision	Processus d'affleurement du lit	Impact rétrécissement du cours d'eau avec le béton
		
Processus d'accrétion latérale	Impact plantes envahissantes	Impacts obstacles artificiel et naturel

		
Impact occupation de la plaine d'inondation par des jardins	Processus d'érosion latérale	Impact passage et captation d'eau

Tableau 4 : Représentation d'impacts et de processus de la rivière San Lorentzo

Kilimoi

		
Impact linéaire mur qui sépare le Kilimoi et le Deba pour lutter contre les inondations	Impacts ponctuels seuils et conduites non fonctionnelles sur les murs	Impacts et processus ponts et accrétion, dépôts latéraux recouverts par la végétation
		
Impact et processus artificialisation avec un rétrécissement du lit et dépôt en dessous du pont bétonné	Processus de dépôt et colonisation de la végétation	Processus de dépôt et incision causée par un rejet

		
Processus blocs modifications de la vitesse d'écoulement	Impact passerelle pour bétail	Impact Petit barrage, réservoir

Tableau 5 : Représentation d'impacts et de processus de la rivière Kilimoi

5.3) Premières constatations et utilisation future

Au niveau des zones urbaines, la ville d'Eilgóibar pour la rivière San Lorenzo et Mendaro pour la rivière Kilimoi, j'ai pu constater qu'il y a beaucoup d'éléments à répertorier étant donné que l'urbanisation a conduit à des modifications importantes sur le cours d'eau. On remarque notamment des rejets et la présence de seuils, la rivière est plus étroite et est entourée de murs et de digues. Ensuite plus on s'éloigne à la campagne moins on remarque d'impacts humains et davantage de processus d'évolution géomorphologique comme l'érosion. De même l'occupation non réglementée de la plaine inondable en périphérie peut modifier la morphologie du chenal. On note également que la rivière n'est plus en eau sur certaines trames et laisse seulement place à des affleurement karstiques et présente des perturbations pour la continuité de son écoulement

La cartographie des différents processus sera ensuite effectuée mais à un autre moment de l'année une fois tout le cours d'eau parcouru car le travail de terrain est privilégié en été pour les conditions d'étiage et car il est très chronophage. Les photos prises sur tout le cours d'eau ne doivent pas laisser de section de la rivière inconnue car on doit être capable d'identifier le substrat, les berges et leurs changements. Des vues amont et aval sont donc prises afin de pouvoir caractériser la dynamique fluviale du Deba.

Un diagnostic semblable à celui du réseau d'évaluation des habitats REH sera réalisé en calculant l'indice IHG índice de valoración hidrogeomorfológica. Il s'appuie sur trois paramètres, la qualité fonctionnelle du système (débit, disponibilité des sédiments, fonctionnalité de la plaine inondable), la qualité du lit et des berges. Des trames en meilleur, moyen et mauvais état seront déterminées et permettront d'établir les plans d'actions à mettre en place sur la rivière.

Cependant même si on constate le plus d'obstacle au niveau des zones urbaines, il est peu probable que des actions y soient réalisées à l'avenir car on ne peut pas modifier les ponts et les digues qui structurent la ville au-dessus de la rivière.

Conclusion

Au cours de mon stage j'ai effectué différentes tâches diversifiées, du travail de prélèvement sur le terrain, des mesures granulométriques, des analyses des données obtenues, des interprétations de résultats, de la cartographie sous SIG, du traitement d'information et des inventaires de terrain. Cela m'a permis de mettre en application mes connaissances apprises à Polytech en Ingénierie des Milieux Aquatiques. J'ai pu en effet travailler sur l'ensemble des domaines étudiés, sur le transport sédimentaire et la géomorphologie, la restauration fluviale, les diagnostics écologique de rivière, la modélisation raster et l'hydrologie.

J'ai pu en apprendre davantage sur l'arasement de barrage notamment avec l'étude de la démolition du barrage Arquijas de la rivière Ega même si elle n'est pas encore terminée. J'ai ainsi pu constater l'impact négatif des barrages sur la continuité du cours d'eau à travers la modification de la distribution des classes granulométriques en amont et en aval une fois la démolition effectuée avec la libération des sédiments plus fins. L'arasement de barrage est donc efficace pour assurer le bon fonctionnement du transport sédimentaire et par conséquent de l'écosystème fluvial.

J'ai ainsi pu voir que le suivi du transport sédimentaire peut s'effectuer de différentes manières par des échantillonnages granulométriques ou alors par traçage de sédiments qui permet de visualiser de manière concrète le déplacement des sédiments transportés et que les données hydrologiques sont indispensables pour comprendre entièrement la mobilité des sédiments avec les phénomènes de crues.

Aussi concernant le projet de l'Ega j'ai eu la chance et l'opportunité de pouvoir assister à la réunion de fin de projet, événements médiatiques où étaient réunis tous les chercheurs impliqués et les personnes directement concernées par la démolition.

La réalisation de mon stage en Espagne m'a également permis de découvrir des cours d'eau de territoires particuliers avec les rivières éphémères en milieu aride et les rivières de plaine et de montagne.

J'ai pu percevoir quelques différences dans la méthodologie entre l'Espagne et la France bien qu'il s'agisse des mêmes principes et des mêmes objectifs dans leur réalisation. Par exemple pour effectuer les analyses granulométriques, certains appareils de mesures ne peuvent pas être utilisés comme le BTMA Bedload Transport Meter Arnhem pour les cours d'eau d'Espagne méditerranéen à blocs par rapport à la Loire rivière atlantique sableuse car elles ne sont pas de même nature.

De même les bases de données sous SIG ne s'organisent pas de la même façon en Espagne, l'ensemble des données d'environnement, hydrographiques, géologiques, d'urbanisme et d'orthophotographies est accessible directement sur le site des communautés autonomes de l'Espagne (geoportal de navarra, geoeuskadi) ou sur le site du bassin versant (Portal CHEbro) et ne demande pas de rechercher spécifiquement chaque type de données. De plus nous ne travaillons pas avec le même référentiel de coordonnées géographiques (référence européenne ETRS89 en Espagne et la référence mondiale WGS 1984 pour mes études en France).

J'ai également remarqué dans la méthodologie d'inventaire de diagnostic de terrain que la caractérisation de l'état des berges et du lit en étant réalisé après le travail de terrain à partir des photographies peut permettre d'avoir une meilleure vision du réel état de la rivière en pouvant comparer avec les images plutôt qu'en attribuant ces caractéristiques sur le terrain sans bénéficier de la vision globale de l'ensemble de la rivière. Cela m'a permis de voir les évolutions que je pourrai apporter à mes propres méthodes.

Aussi mon stage à l'étranger m'a permis de pratiquer l'espagnol au quotidien ce qui a renforcé ma maîtrise de la langue.

Bibliographie :

Basque Lands. Basque Country, an autonomous community in Spain, with capital Vitoria-Gasteiz, in orange color. The historic Basque area in Spain and France, in orange and yellow color.

Ollero, A., Ibistae, A., Granado, D., Real de Asua, R., 2015. Channel Responses to Global Change and Local Impacts: Perspectives and Tools for Floodplain Management, Ebro River and Tributaries, NE Spain. *In* : Hudson, P., Middelkoop, H., Geomorphic approaches to integrated floodplain management of lowland fluvial systems in North America and Europe, Springer New York, Chapter 3, pp.27-52.

Ibistae, A., García, H., Vázquez-Tarrío, D., Sánchez-Pinto, I., Herrero, X., Sáenz de Olazagoitia, A., Ollero, A., 2025. Bedload response to dam removal: Results from a 6-year particle tracking survey in the Leizaran River (Basque Country). *In* : Geomorphology, ScienceDirect, Volume 470.

Congreso ibérico de restauración fluvial Restaura Rios 2015. Seminario final del proyecto life + territorio vison, 9, 10 y 11 de junio 2015, Pamplona Navarra (España)

Ibistae, A., Ollero, A., Ballarín, D., Horacio, J., Mora, D., Mesanza, A., Ferrer-Boix, C., Acín, V., Granado, D., Martín-Vide, J.P., 2016. Geomorphic monitoring and response to two dam removals: rivers Urumea and Leizaran (Basque Country, Spain). *In* : Earth Surface Processes and Landforms, Volume 41, Issue 15, pp. 2239-2255.

Ollero, A., Ibistae, A., Acín, V., Ballarín, D., Besne, P., Díaz, E., Ferrer-Boix, C., Granado, D., Herrero, X., Horacio, J., Martín-Vide, J.P., Mesanza, A., Mora, D., Sánchez, I., 2014. Geomorfología y restauración fluvial : seguimiento del derribo de presas en Gipuzkoa. *In* : Cuadernos de Investigación Geográfica, 40, pp.67-68.

CIREF. El Ega fluye libre en la Reserva Natural del Barranco de Lasia [en ligne]. Disponible sur : <https://cirefluvial.com/el-ega-fluye-libre-en-la-reserva-natural-del-barranco-de-lasia/> (14 mayo 2025)

Lizarra, E., Noticias de Navarra. El Ega fluye mejor tras la eliminación de la presa del molino de Arquijas en Zúñiga [en ligne]. Disponible sur : <https://www.noticiasdenavarra.com/navarra/2025/05/13/ega-fluye-mejor-eliminacion-presa-9630175.html> (13 mayo 2025)

Naturalea. Informe de proyecto redactado Proyecto técnico de la demolición de la presa de Arquijas. Rapport. 5p.

Universidad del País Vasco (UPV/EHU): Ibistae, A., Sáenz de Olazagoitia, A., García Rodríguez, S., Díaz Bea, E., Sánchez Pinto, I., MASTERGEO: Ballarín, D., Mora, D., Universidad de Zaragoza: Ollero. A Universitat Politècnica de Catalunya: Ferrer Boix, C., Universidad de Santiago de Compostela: Jesús Horacio, J. Université du Tours: Siraud, M., 2025. Seguimiento geomorfológico del derribo del azud del molino de Zúñiga en el río Ega – Programa Open rivers. Rapport, 57 p.

Potyondy and Bunte, 2002. Illustration of the intermediate axis used to determine sediment size in Urbanization and its Effects on Channel Morphology Cody James McCann, B.

Ollero, A., Conesa-García, C., Rosario Vidale-Abarca, M., 2022. A guide to good practices for the management and restoration of mediterranean ephemeral streams: resilience and adaptation to climate change. Universidad de Murcia.

Ibistae, A., Acín, V., Granado, D., Sáenz de Olazagoitia, A., Herrero, X., Ortiz Martínez de Lahidalga, J., Ollero, A., Beltran de Lubiano Ortiz de Zárate, J., Determinación de las condiciones de referencia para la restauración de la morfología fluvial en la cuenca del río Urola. Universidad del País Vasco y Universidad de Zaragoza.

Annexes

Annexe 1 : Tailles médiane et moyenne des sédiments de chaque barre sédimentaire

G1		Wolman	Coraza	Subsuperficial
2024	D _m (mm)	41,57	24,83	13,98
	D ₅₀ (mm)	58,39	32,9	34,49
2025	D _m (mm)	40,82	57,47	25,59
	D ₅₀ (mm)	46	53,1	45,19

G2		Wolman	Coraza	Subsuperficial
2024	D _m (mm)	36,5	20,89	8,55
	D ₅₀ (mm)	57,57	30,99	24,41
2025	D _m (mm)	25,69	59,73	7,45
	D ₅₀ (mm)	25	55,83	21,5

G3		Wolman	Coraza	Subsuperficial	Volumétrico
2024	D _m (mm)		24,1	10,71	
	D ₅₀ (mm)		32,52	30,25	
2025	D _m (mm)				48
	D ₅₀ (mm)				45,75

G4		Wolman	Coraza	Subsuperficial	Volumétrico
2024	D _m (mm)		41,2	9,5	
	D ₅₀ (mm)		41,58	26,25	
2025	D _m (mm)				52,36
	D ₅₀ (mm)				49,03

G5		Wolman	Coraza	Subsuperficial
2024	D _m (mm)	39,43	23,42	13,05
	D ₅₀ (mm)	62,52	32,18	35,65
2025	D _m (mm)	40,19	25,59	27,6
	D ₅₀ (mm)	41	33,3	38,72

G6		Wolman
2024	D _m (mm)	40,49
	D ₅₀ (mm)	49,55
2025	D _m (mm)	18,62
	D ₅₀ (mm)	19

G7		Wolman	Coraza	Subsuperficial
2024	D _m (mm)	40,26	24,83	20,37
	D ₅₀ (mm)	47,25	33,29	34,74
2025	D _m (mm)	43,38	71,15	21,43
	D ₅₀ (mm)	46	86,53	47

Annexe 2 : Calculs de débits en fonction des périodes de retour

FECHA	MAXIMO (m³/s)
1998	22,46
1999	27,82
2000	17,74
2001	49,07
2002	58,1
2003	244,8
2004	35,52
2005	50,23
2006	72,62
2007	141
2008	90,72
2009	87,73
2010	72,62
2011	41,79
2012	22,04
2013	83,31
2014	70,55
2015	147,56
2016	63,21
2017	62,56
2018	85,37
2019	69,87
2020	46,78
2021	124,56
2022	68,44
2023	31,09
2024	76,12
2025	88,48

Calculadora para Gumbel

Número de datos de la muestra: **28** (<300)

Escribir solamente las celdas **en verde**

Si se ha cambiado el nº de datos, picar este botón: **Calcular μ_y σ_y**

Media aritmética de la muestra= **73,29143**

Desviación típica de la muestra= **47,14746**

Variación= **0,64**

Coeficientes que dependen del tamaño de la muestra μ_y σ_y

μ_y	σ_y
0,5343	1,1047

Dada una probabilidad (o el periodo de retorno), calcular el valor

Periodo de retorno= **1000** años

Probabilidad de que se supere= 0,001

Probabilidad de que NO se supere= 0,999 =F(x)

Resultados para la Ley de Gumbel

α = 42,6789 fórmula (4)

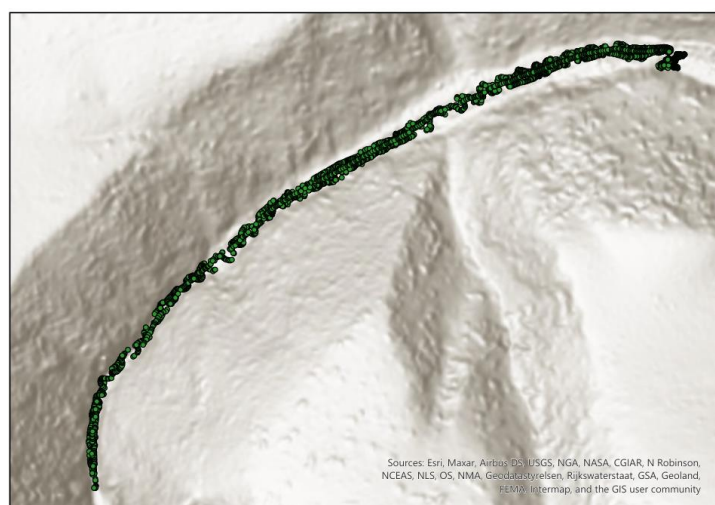
u = 50,490 fórmula (5)

Valor que será superado= **345,3** fórmula (6)

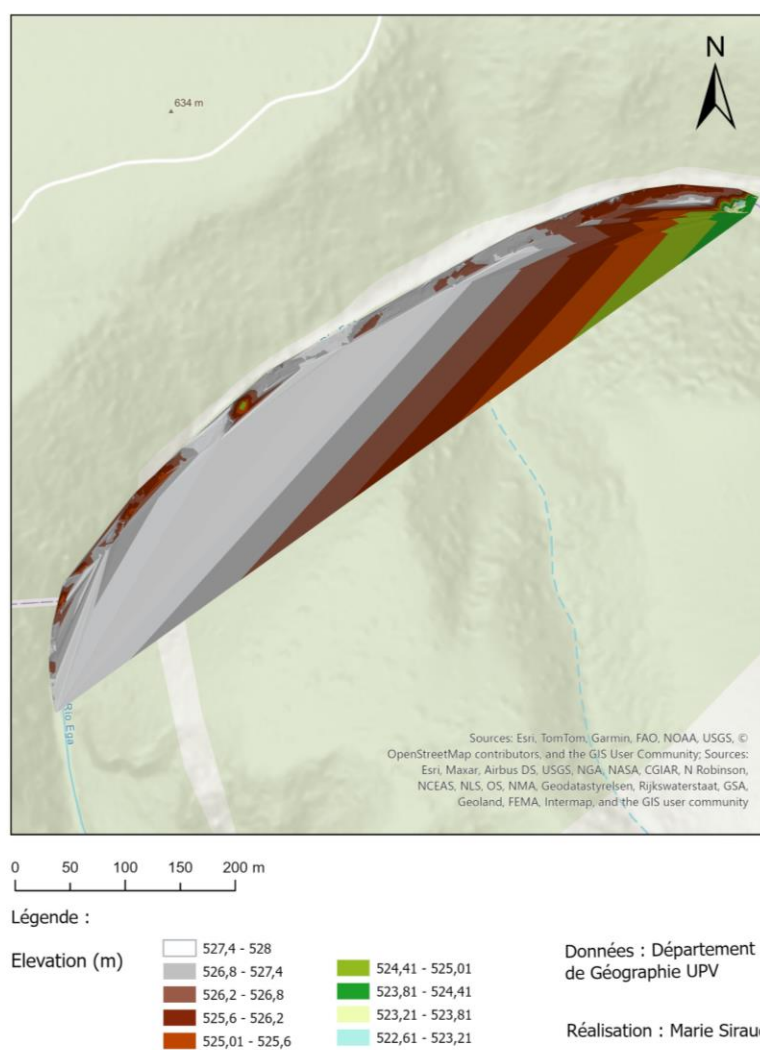
<http://hidrologia.usal.es/>

Periodo de retorno (año)	Caudal (m³/s) Gumbel
2	66,13
5	114,51
10	146,53
20	177,25
50	217,02
100	246,82
200	276,51
500	315,68
1000	345,28

Annexe 3 : Etapes de modélisation pour la bathymétrie de l'Ega

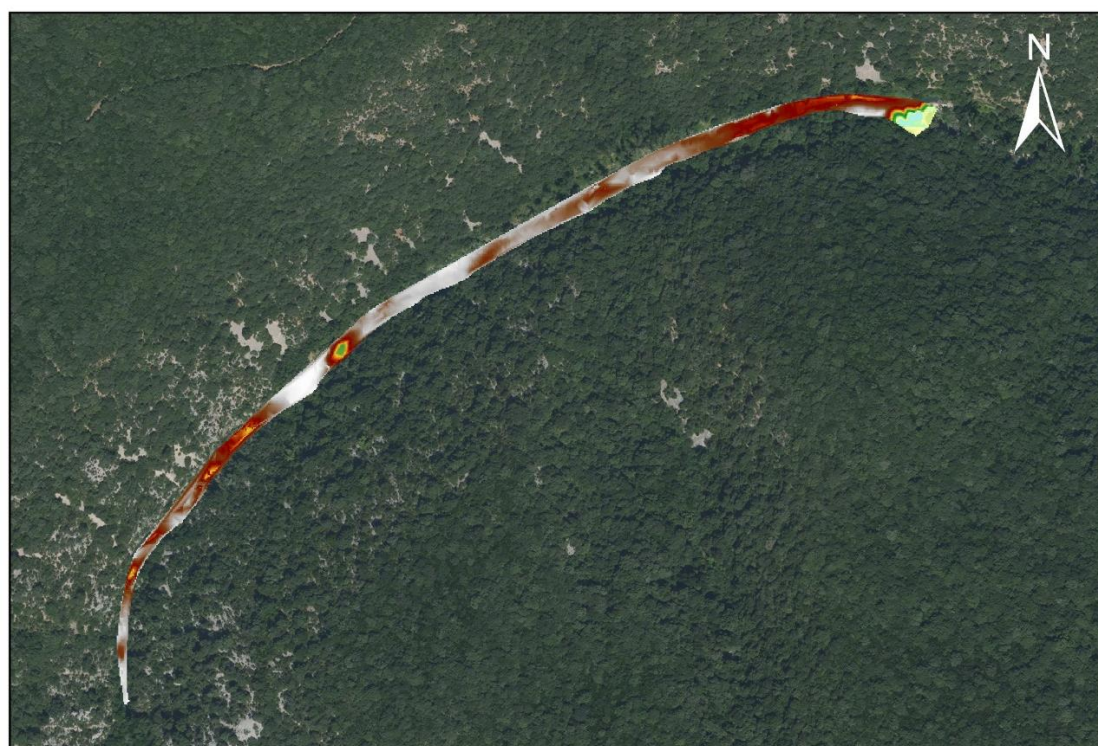


Nuages de points sur la zone amont du barrage d'Arquijs

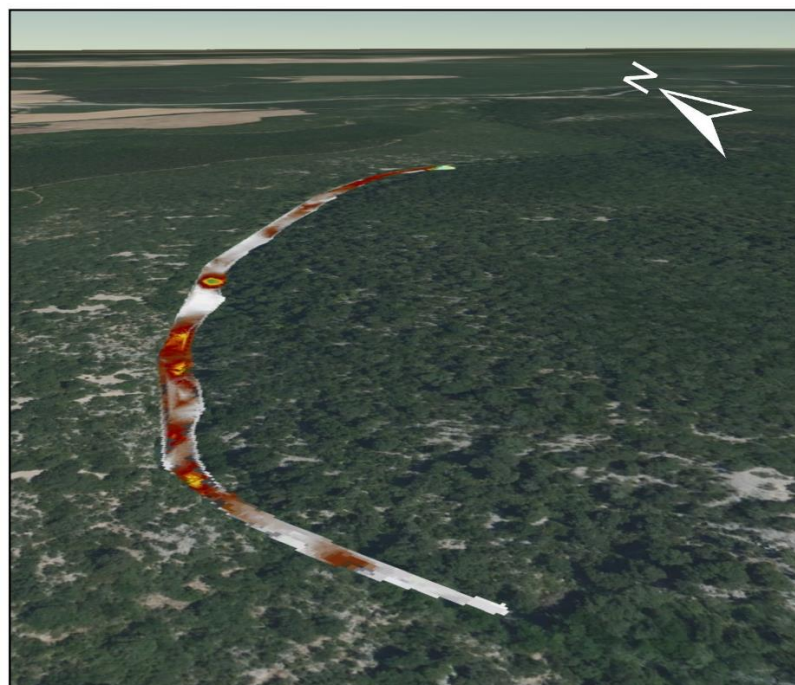


Fichier TIN de l'élévation de la rivière Ega

Annexe 4 : Cartographie bathymétrique dans la zone de réservoir de l'Ega au site Arquijas



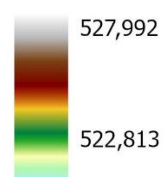
0 100 200 m



0 10 20 m

Légende du MNT :

Altitude (m)



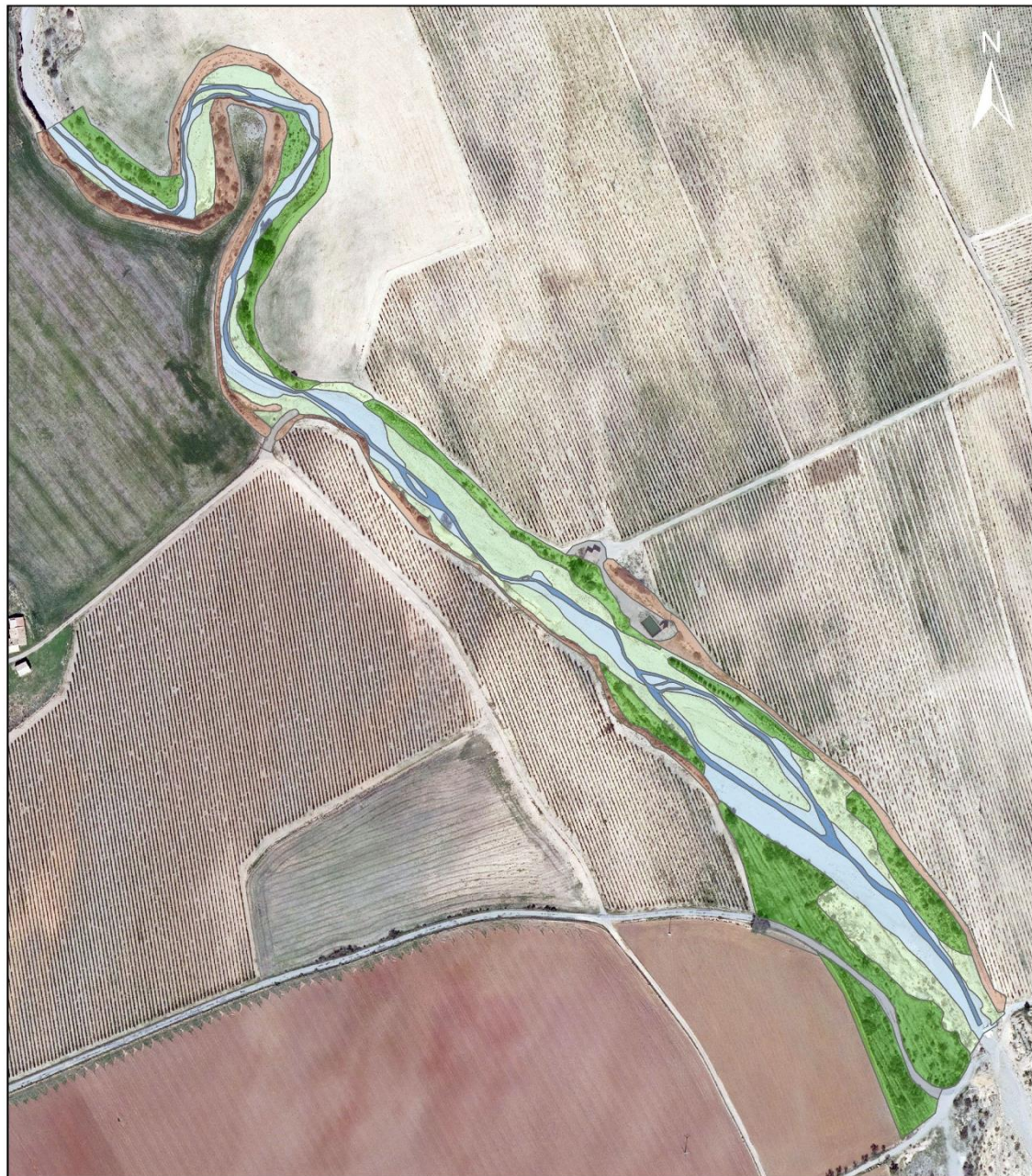
Données : Département
de Géographie UPV

Réalisation : Marie Siraud

Date : 10/07/2025

Annexe 5 : Cartographie de la digitalisation de la rivière éphémère Cariñena

Cartography of Cariñena ephemeral river



0 100 200 m

Geomorphological legend :

- | | | |
|--|---|---|
|  Active channel |  Vegetated bar |  Scarp |
|  Main flow path |  Scant vegetated bar |  Anthropic |

Source : IGN PNOA (2024)

Realization : Marie Siraud

Date : 08/07/2025

Annexe 6 : Cartographie de la digitalisation de la rivière éphémère Reajo

Cartography of Reajo ephemeral river



0 50 100 m

Geomorphological legend :

■ Main flow path
■ Anthropic

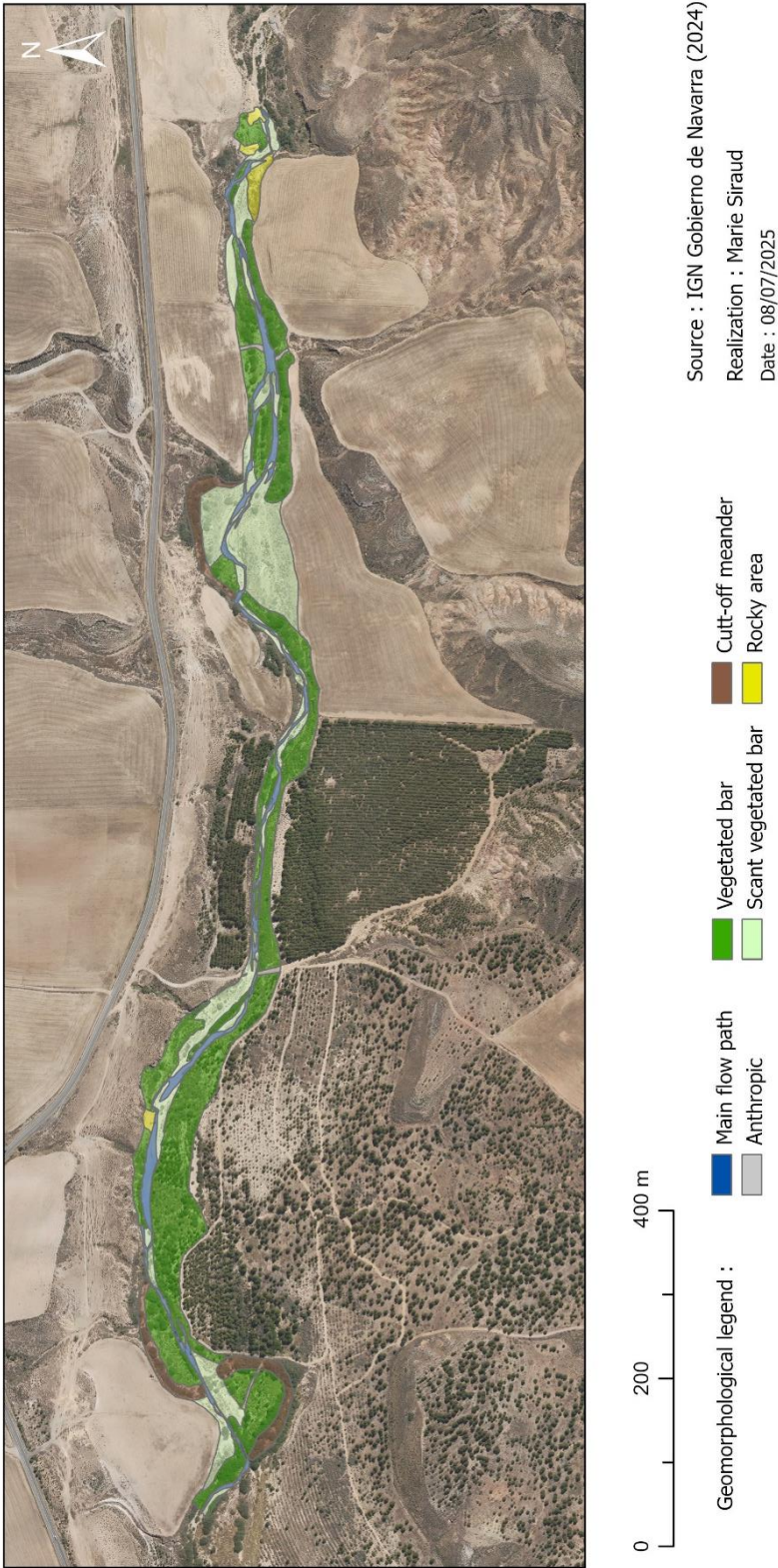
■ Vegetated bar
■ Scant vegetated bar

Source : IGN, PNOA (2023)

Realization : Marie Siraud

Date : 08/07/2025

Cartography of Tudela ephemeral river



Annexe 8 : Cartographie de la digitalisation de la rivière éphémère Valcodo

Cartography of Valcodo ephemeral river



0 100 200 m

Geomorphological legend :

Active channel
Main flow path

Vegetated bar
Scant vegetated bar

Source : IGN PNOA (2024)

Realization : Marie Siraud

Date : 08/07/2025



POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Marie Siraud
2024-2025

Titre: Fluvial geomorphology and river restoration

Résumé :

Grain-size analyses and monitoring of sedimentary continuity following the removal of the Arquijas dam within the Ebro river watershed to restore the Ega river to its natural state.

Mapping of ephemeral rivers through the digitalization of orthophotographs to assess their evolution from the 1950s to the present day.

Identification of geomorphological processes and anthropogenic impacts on lowland and mountain tributaries to the Deba river.

Mots Clés :

geomorphology, dam removal, tracking, diagnosis, ephemeral rivers

Universidad del País Vasco

Tomas y Valiente s/n 01006 Vitoria-Gasteiz Espagne

Tuteur entreprise :

Askoa Ibisate

Enseignante chercheuse en géographie

Tuteur académique :

Stéphane Rodrigues