
Rapport de stage

Tanguy Grandmougin

5ème année

**Etude de faisabilité de restauration d'annexes
hydrauliques sur le Rhône et la Durance**

Fédération de Pêche et de Protection des Milieux
Aquatiques du Vaucluse

575 Chemin des Fontanelles, 84800 L'Isle-sur-la-Sorgue



Tuteur entreprise :

Julie Fayet

Tuteur académique :

Catherine Boisneau

Tanguy Grandmougin

IMA

2020-2021

Table des matières

1 Introduction :	1
1.1 Contexte d'étude :	2
1.1.1 Le Rhône	2
1.1.2 La Durance	2
1.2 Le brochet une espèce repère	3
1.2.1 Pourquoi étudier le brochet ?	3
Une espèce vulnérable :	3
Les intérêts économiques et écologiques :	3
1.2.2 La biologie du brochet.	4
Présentation de l'espèce :	4
Son régime alimentaire :	4
Exigences écologiques du brochet	5
1.3 Reproduction :	5
Un migrateur holobiotique :	5
Cycle biologique	6
Exigences écologiques pour la reproduction :	7
2. Matériels et méthodes :	8
2.1 Localisation des annexes.	8
Etude diachronique	8
2.2 Fiche terrain	10
2.3 L'hydrologie du cours d'eau :	11
2.3.1 Détermination des débits de référence	11
2.3.2 Relation débit / hauteur d'eau	13
2.4 La topographie	13
2.5 Relevé de végétation	14
3 Diagnostic	15
3.1 Fonctionnalité des frayères	15
Choix des annexes	17
3.2 Hydrologie	17
3.3 Topographie	19
DR05 :	19
Pont saint Esprit	20
DR02	21
3.4 Végétation	22
Espèces envahissantes	22

Pont Saint-Esprit.....	22
DR02 et DR05	23
4 Restauration	25
DR05	25
Pont Saint-Esprit.....	26
DR02	28
Autres propositions	28
5 Analyses critiques et limites	29
6 Conclusion	30
Résumé.....	31
Abstract	31
Bibliographie :.....	32
Annexes	34
Présentation de la structure d'accueil	34
Présentation du déroulé de la mission.....	34
Présentation des livrables de la mission	35
Projection dans un futur métier	35

1 Introduction :

Les rivières forment des corridors écologiques faisant intervenir des interactions complexes et variées entre les composantes abiotiques et biotiques (Pierson, 2017). Les mécanismes d'évolution peuvent être latéraux, longitudinaux ou verticaux (Amoros and Petts, 1993). En effet, la plaine alluviale d'un cours d'eau est l'une des composantes de la dimension latérale, elle est formée par le dépôt d'alluvions et peut subir des inondations. Cette zone possède des zones humides connectées de façon périodique ou en permanence au lit mineur. Ces zones spécifiques sont appelées des annexes hydrauliques ou fluviales (Pierson, 2017) et peuvent être définies comme : « l'ensemble des zones humides du lit majeur en relation permanente ou temporaire avec le milieu courant (lit mineur) par des connexions soit superficielles soit souterraines : îles, bancs alluviaux, bras morts, prairies inondables, forêts alluviales et rivières phréatiques » (Eaufrance, n.d.). Elles jouent un rôle majeur dans la fonctionnalité des milieux aquatiques :

- En participant au maintien et au développement d'une diversité faunistique et floristique importante (Ward, 1989).
- En régulant et stockant l'eau lors des crues puis en la restituant lors des périodes d'étiages (Pierson, 2017).
- En faisant office de « zones tampons » en épurant les eaux du bassin versant (Pierson, 2017).

Le terme de fonctionnalité peut être décrit comme « l'ensemble des fonctions écologiques nécessaires à la permanence des composantes d'un écosystème ou d'un habitat » (Aten, 1998). De ce fait, les communautés biologiques dépendent de fonctions écologiques nécessaires à leur survie, leur développement, leur reproduction et ainsi qu'au maintien de leurs habitats (Pierson, 2017).

Durant ces dernières décennies, les différents aménagements de l'Homme sur les cours d'eau ont entraîné une perte de fonctionnalité et une destruction des annexes hydrauliques, ce qui constitue l'une des principales menaces affectant les poissons d'eau douce (UICN, 2019). En effet, la faune piscicole apparaît comme l'une des plus touchées, notamment en raison de l'inaccessibilité et la disparition de ses sites de fraie (Pierson, 2017). Le nombre d'espèces de poissons menacées en France ne fait qu'augmenter, au total 39% de ces espèces sont désormais menacées ou quasi menacées en 2019 contre 30% en 2010 (UICN, 2019). C'est notamment le cas du brochet qui est classé comme espèce vulnérable sur la liste rouge de l'UICN. Ainsi, la protection de cette faune passe donc par l'étude, la conservation et la restauration de la fonctionnalité de ces milieux.

Le brochet (*Esox lucius*) est une espèce repère qui joue le rôle d'espèces bioindicatrices (Chancerel, 2003). En effet, dans le domaine cyprinicole, ce poisson exigeant est une espèce à cycle complexe qui représente à la fois l'état de la diversité des milieux et de la chaîne alimentaire. La disparition du brochet reflète tout particulièrement la diminution des zones humides et habitats intermédiaires ou latéraux (Chancerel, 2003). De ce fait, les populations de brochet sont donc de bons descripteurs de la qualité écologique du domaine cyprinicole. En effet, il est considéré comme une espèce repère ou parapluie, c'est-à-dire : « Une espèce dont l'habitat doit être sauvegardé pour que soient conservées d'autres espèces, parmi lesquelles certaines sont rares et menacées » (Actu-environnement, n.d.). Par conséquent, protéger le brochet et ses habitats permet de sauvegarder les milliers d'autres espèces qui vivent en interaction avec, comme les poissons, les micro-organismes, les algues et d'autres espèces (Prévost, 2020). C'est donc pour ces différentes raisons qu'il représente l'espèce cible de cette étude.

Au niveau national, les Fédérations Départementales des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques (FDAPPMA), sont chargées de la protection, de la surveillance et la

mise en valeur de la faune piscicole et de ses habitats. C'est dans ce cadre que la FDAPPMA du Vaucluse souhaite réaliser une étude globale des annexes hydrauliques sur le Rhône et la Durance. En effet, La FDAPPMA du Vaucluse intervient pour remplir ces missions dans le cadre du PDGD (Plan Départemental de Protection des milieux aquatiques et de Gestion des ressources piscicoles) et la protection des zones de reproduction des espèces repères est un axe important dans ce plan en lien avec les orientations définies par la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) et le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Rhône -Méditerranée. Ainsi, cette étude a pour objectif d'effectuer un état des lieux global des différentes zones de frayères présentes sur ces deux cours d'eau, de les recenser puis de les analyser pour proposer d'éventuelles pistes de restauration. C'est dans cet objectif que s'inscrit le présent rapport.

1.1 Contexte d'étude :

1.1.1 Le Rhône

Le Rhône est un fleuve traversant le département du Vaucluse sur 63 kilomètres et qui constitue évidemment une exception parmi les grands cours d'eau français (Plan Rhône, 2015). Ce cours d'eau puissant est depuis l'antiquité un axe majeur de développement et de circulation, sa vallée occupe une place stratégique tant au plan européen, que national ou local (CPIER, 2015). Le Rhône est un fleuve dit « domestiqué », en effet, il a fait l'objet de deux périodes d'aménagements importants : des endiguements réalisés au XIX^{ème} siècle pour faciliter la navigation et des aménagements pour développer la production d'électricité, l'irrigation et la navigation (CNR, 2017). Face aux besoins de navigabilité, des ouvrages dits « Girardon » ont été construits afin de concentrer les eaux d'étiage en un lit fluvial unique. De ce fait, la bande active de ce fleuve a été réduite de 180 mètres en moyenne sur chaque berge. Il s'en est accompagné d'importantes modifications, notamment la déconnexion de la plaine alluviale par une augmentation de la hauteur des berges par effet de sédimentation (CNR, 2017). En effet, d'après la CNR les deux principales problématiques sur le Rhône sont le transport sédimentaire (déconnexion des annexes) et l'hydrologie avec des variations de débits importants (lâchers industriels) et des crues dévastatrices. De ce fait, avant de lancer un projet, il est nécessaire d'effectuer des analyses poussées ce qui entraîne des phases d'études et de travaux souvent très coûteux (plusieurs millions d'euros).

Depuis les années 1990, un programme de restauration hydraulique et écologique du Rhône a été mis en œuvre et les différents partenaires ont souhaité aborder une étape nouvelle de l'aménagement du fleuve en s'appuyant sur son patrimoine et son identité en créant le Plan Rhône (Plan Rhône, 2015). Différents objectifs sont fixés sur 5 ans suivant différents secteurs (écologiques, économiques, prévention des risques inondation). Pour le Plan Rhône 2015-2020, l'objectif était d'avoir 400 hectares minimums de zones humides en meilleur état de fonctionnement, tout un volet est consacré à la qualité des eaux, ressource et biodiversité (Plan Rhône, 2015). Ainsi la restauration d'annexes hydrauliques notamment des lônes sur le Rhône représente des actions totalement en lien avec le Plan Rhône.

1.1.2 La Durance

La Durance traverse le sud du département du Vaucluse avant de se jeter dans le Rhône. C'est la rivière la plus importante de Provence, redoutée auparavant pour ses crues dévastatrices. Comme le Rhône elle a subi de nombreux aménagements (barrages) à des fins hydrauliques et hydroélectriques (Laurenceau and Molle, 2019). A cause de ces modifications, elle est classée comme « Masse d'Eau Fortement Modifiée » (MEFM) dans le SDAGE car ces débits sont régulés par des barrages et des vannes. De plus, la dérivation de la majeure partie de l'eau de la Durance dans les canaux usiniers ne laisse que 1/20 du débit naturel en moyenne Durance (Europeanwater, 2017). Les conséquences sur

l'environnement sont multiples : étiages sèbres, altération de la continuité écologique avec une perte de la biodiversité, recharge insuffisante des nappes alluviales (Europeanwater, 2017).

1.2 Le brochet une espèce repère

1.2.1 Pourquoi étudier le brochet ?

Une espèce vulnérable :

Les facteurs limitants de la population sont directement liés à la qualité de ses habitats (Chancerel, 2003). En effet, si la végétation aquatique diminue, le nombre de brochet diminue lui aussi et est remplacé petit à petit par d'autres carnassiers. Ainsi, les processus d'eutrophisation qui peuvent entraîner d'importants développements algaux au détriment des macrophytes, entraînent une diminution du nombre de brochet (Chancerel, 2003).

De plus, les cours d'eau modifiés sont aussi un fléau pour les populations de brochets. C'est le cas principalement du Rhône et le Durance, les différents ouvrages ont engendré un enfouissement du lit mineur et des dépôts dans des secteurs protégés par les digues. Cet endiguement a contribué à l'assèchement de la plupart des bras secondaires, en diminuant de 80% entre 1850 et 1960 la surface en eaux des bras morts (Cottet and Piégay, 2013). La chenalisation, l'artificialisation des berges et des niveaux d'eaux provoquent la disparition des zones humides nécessaires à la reproduction (FDAAPPMA33, 2009). Ainsi la continuité latérale et longitudinale est rompue par les différents aménagements comme les barrages et seuils et par la difficulté du brochet à les franchir.

De ce fait, face à la dégradation des milieux, les populations de brochets ont diminué et il est maintenant classé comme espèce vulnérable sur la liste rouge des poissons d'eau douce menacés de France métropolitaine (UICN, 2019). Ainsi le brochet est protégé par la réglementation :

- Arrêté du 8 décembre 1988 fixant la liste des espèces de poissons protégées sur l'ensemble du territoire national (Legifrance, 1988)
- Arrêté du 23 avril 2008, fixant la liste des espèces de poissons et de crustacés et la granulométrie caractéristique des frayères en application de l'article R. 432-1 du code de l'environnement (Legifrance, 2008)

Les intérêts économiques et écologiques :

Avec ses attaques fulgurantes et ses mensurations, le brochet attire de nombreux pêcheurs amateurs depuis que cette pratique existe. Le pêcheur de carnassiers représente en France 18% du total des pêcheurs et recherche avant tout le brochet (Keith *et al.*, 2011). Ainsi, il y a un intérêt économique qui entoure cette pêche sportive, notamment avec la vente du matériel de pêche et les guidages de pêche. De plus, dans certains lieux ou pays, des activités touristiques sont basées autour de la traque du brochet et entraînent des retombées économiques (FDAAPPMA03, 2018).

Le brochet est un poisson carnassier qui permet de réguler le développement d'autres espèces et notamment les Cyprinidés, il contribue donc de manière efficace à l'équilibre des peuplements piscicoles et, d'une manière plus large, à celui du fonctionnement des milieux aquatiques (Keith *et al.*, 2011). D'après la typologie de Verneaux, il est largement réparti sur l'échelle typologique des cours d'eau, en partant de la zone à Ombre (B6) à la zone à Brème (B9) ainsi qu'en plan d'eau (Verneaux, 1981).

Tous ces paramètres font que le brochet est une espèce repère retenue dans le PDPG pour la caractérisation des contextes cyprinicoles.

1.2.2 La biologie du brochet.

Présentation de l'espèce :

Le brochet (*Esox lucius*) est un poisson d'eau douce appartenant à l'ordre des Esociformes et à la famille des Esocidae. Le brochet est présent dans la plupart des régions de l'Hémisphère Nord, en Europe, en Amérique et en Asie. Il fait partie en France des poissons emblématiques de nos cours de plaines, lacs et plan d'eau (Keith *et al.*, 2011).

Le brochet peut mesurer plus d'un mètre de longueur, peser plus de 15 kg et a une durée de vie d'environ 15 ans, ce qui en fait un super prédateur placé tout en haut de la chaîne alimentaire de nos cours d'eau (Chancerel, 2003). Malgré ses attaques fulgurantes, le brochet est peu apte à la nage soutenue sur de longues distances et il affectionne donc des zones à faibles courants. Il a une robe variée avec une coloration de vert au jaune ; le dos est foncé souvent brun vert, le ventre est plus clair et les flancs sont marbrés avec parfois des bandes transversales bien marquées (Figure 1).



Figure 1 : Image de brochet adulte (<https://www.bienpublic.com/a-propos/2018/04/24/le-1er-mai-c-est-l-ouverture-de-la-peche-du-brochet>)

Son régime alimentaire :

Durant les premiers jours de sa vie, c'est-à-dire tout juste sortie de l'œuf, le brochet va consommer ses réserves contenues dans sa vésicule vitelline (Franklin and Smith, 1963). A la suite de son développement, les alevins sont planctonophages jusqu'à atteindre une taille d'environ 25 mm. Les brochetons vont ensuite se mettre à la recherche d'espèces zooplanctoniques puis de macroinvertébrés, c'est seulement à partir de 50 mm qu'ils deviennent ichtyophages (Keith *et al.*, 2011). Le brochet naît de manière plus précoce que les autres alevins notamment ceux de cyprinidés, ce qui lui permet de prédater les petits alevins et donc de se développer. Le cannibalisme est fréquemment observé chez les brochetons au premier printemps à partir d'une taille de 30 à 50 mm et s'exerce sur les individus de la même taille ou plus petite (Keith *et al.*, 2011). La croissance du brochet est rapide durant les premiers stades de vie, les jeunes brochets peuvent atteindre une taille de 20 à 30 cm en un an.

Une fois adulte le brochet est un super prédateur en haut de la chaîne alimentaire. Il est principalement ichtyophage mais reste opportuniste, s'attaquant à des grenouilles, écrevisses, et à des jeunes oiseaux (Lanoiselee *et al.*, 1986). Certaines populations de brochets peuvent se nourrir en partie de leur propre production. Cependant les zones de nurserie et de croissance des jeunes brochets sont souvent peu accessibles aux adultes, ce qui permet de réduire significativement ce cannibalisme (Keith *et al.*, 2011).

Exigences écologiques du brochet

Le brochet a des exigences écologiques, qui varient selon les âges (figure 2). La première zone pour les alevins est la zone de reproduction : ce sont des zones d'inondations avec de la végétation terrestre submergée et de faible profondeur. En grandissant pour échapper à la prédation et au cannibalisme, les brochets de l'année vont aller dans des zones de nurseries peu profondes pour se développer, pour ensuite, une fois le stade subadulte atteint aller dans des zones de croissances, donc des milieux plus profonds et plus vastes avec encore d'autres types de végétation (Figure 2). En effet, d'après Chancerel (2003) : « pour le brochet l'adéquation des habitats aux exigences de chaque stade de développement est particulièrement importante même pour les stades intermédiaires ».

<u>Age</u>	<u>Stade de Développement</u>	<u>Habitats</u>	<u>Exigences écologiques</u>
3 ans	Géniteurs >40 cm	Zone de croissance Végétation aquatique : potamot nageant, myriophylle en épis, nénuphar jaune	- Présence d'une végétation adaptée - Abondance et taille des proies adaptées - Accès facile aux frayères et retour au cours d'eau - Température eau < 25°C - Support de ponte de qualité : couvert herbacé dense, court, restant dressé - Profondeur suffisante (en moyenne, 10 fois la longueur du poisson)
1 an	Adultes		
	Subadultes		
Mi-Mai	Juveniles 0+ Brochetons migrants	Zone de nurserie : Peu profonde (0,5 à 2m) Végétation hydrophytes : plantain d'eau, sagittaire, jonc des chaisiers	-Présence d'une végétation aquatique qui va servir de cache et de réserve en nourriture, diminuer le cannibalisme et la prédation excessive par les oiseaux. -Abondance et taille des proies adaptées
220°J	Alevins nageant	Zone de reproduction : Zone d'inondation avec de la végétation terrestre : carex, jonc, phalaris, glycérie, agrostis	-Niveau d'eau constant sur une période de 40 à 60 jours
120°J	Alevins fixes		- Milieu ouvert pour le rayonnement solaire avec un réchauffement rapide et une production de zooplancton importante
Février	Œufs		
Mars			

Figure 2 : Les différents habitats et exigences écologiques en lien avec les stades de développement. Inspiré de (Chancerel, 2003) (FDAAPPMA54, 2018)

1.3 Reproduction :

Un migrateur holobiotique :

En France, la période de reproduction commence généralement en février jusqu'à la fin mars (Figure 2) et jusqu'en avril dans les régions méridionales (Keith *et al.*, 2011). Les frayères sont des milieux humides nécessitant certaines particularités. On peut les définir comme des milieux en eau, accessibles, calmes, peu profonds, se réchauffant vite et riches en végétation. Ces milieux doivent servir pour la ponte mais aussi pour la protection des alevins et des juvéniles contre les différents prédateurs, et avoir des ressources alimentaires suffisantes en favorisant le développement de plancton (Chancerel, 2003). Il existe différents types de frayères :

- Des prairies basses, des dépressions naturelles et marais connexes.
- Des annexes hydrauliques, boires, lônes, noues, les fossés de ceintures des fonds de vallée
- Les basses vallées alluviales pouvant occuper des surfaces importantes en zone de confluence.

Le brochet est un migrateur holobiotique transversal c'est-à-dire qu'il réalise une migration en restant dans un milieu d'eau douce en migrant du lit mineur vers le lit majeur (Puissauve, 2012). Cette migration est déclenchée principalement par une élévation du niveau et un réchauffement de l'eau (Machniak *et al.*, 1975) mais aussi grâce à son sens olfactif qui lui permet de repérer des zones submergées à plusieurs kilomètres (Chancerel, 2003). D'après Dubost et Vauclin (2004), 72% des brochets ont une amplitude de déplacement de moins de 5 km et 10% se déplacent sur une zone de plus de 10 km. Une corrélation positive a été faite entre la taille des brochets et la distance parcourue, c'est-à-dire que les brochets de taille moyenne à grande se déplacent plus que ceux de plus petite taille (Dubost and Vauclin, 2004). Le brochet a tendance à retourner sur les mêmes sites lorsque les lieux de reproduction sont proches cependant, il y a des différences de comportement en fonction des individus (Philippart, 2003).

La première difficulté des brochets pour effectuer sa migration dans les zones de frayères sont les ouvrages, barrages et autres obstacles à l'écoulement. D'après Chancerel (2003), le brochet n'a pas ou très peu de comportement de saut. Les obstacles verticaux de plus de 20 cm sont donc infranchissables. Le franchissement des obstacles va aussi dépendre de nombreux facteurs et caractéristiques du milieu au moment de la migration comme : la hauteur d'eau, la vitesse du courant, la température et la nature et la direction des turbulences (Philippart, 2003) (Dubost and Vauclin, 2004). De plus, les géniteurs vont utiliser les crues pour accéder à leur site de fraie, donc les périodes de montées des eaux sont très importantes pour la reproduction des brochets (Masters *et al.*, 2002).

Cycle biologique

L'âge de la maturité sexuelle est de 1 à 2 ans pour les mâles, et de 2 ou 3 ans pour les femelles, ce qui correspond à une taille d'environ 40 cm pour un poids variant de 0,5 kg à 1 kg (Manelphe, 1989). D'après Chancerel (2003), la reproduction est plutôt déterminée par la taille que par l'âge, et cette croissance dépend de nombreux facteurs : la température moyenne annuelle, la disponibilité en nourriture, la vitesse de croissance durant le stade juvénile. Dans un milieu naturel fonctionnel de bonne qualité, le taux de survie de la ponte au bout de 3 ans est de 0,1% cependant dans un milieu dégradé ou peu favorable elle est inférieure à 0,005% (annexe 1) (Chancerel, 2003).

La ponte est déclenchée par plusieurs facteurs environnementaux (Chancerel, 2003) :

- Végétation fraîchement submergée
- Le réchauffement de l'eau (6 à 12°C), avec un optimum entre 8 et 11°C.
- L'élévation du niveau d'eau

Elle a lieu souvent de début février à fin mars et celle-ci varie ordinairement de 16 000 à 28 000 ovules par kg de poids correspond généralement à 25% de la masse corporelle de la femelle, donc plus la femelle est grosse et plus il y aura d'œufs (Chancerel, 2003). La période est de 120 degrés-jour soit 12 jours pour 10°C (Figure 3).

L'alevin est ensuite fixé à la végétation par une ventouse pendant 100 degrés-jour. Il devient ensuite nageant, une fois la vésicule résorbée au bout de 80 jours (Chancerel, 2003).

Exigences écologiques pour la reproduction :

Le brochet est un poisson exigeant au niveau de la reproduction, ainsi il existe différents paramètres qui sont essentiels à prendre en compte pour aménager une bonne frayère à brochet :

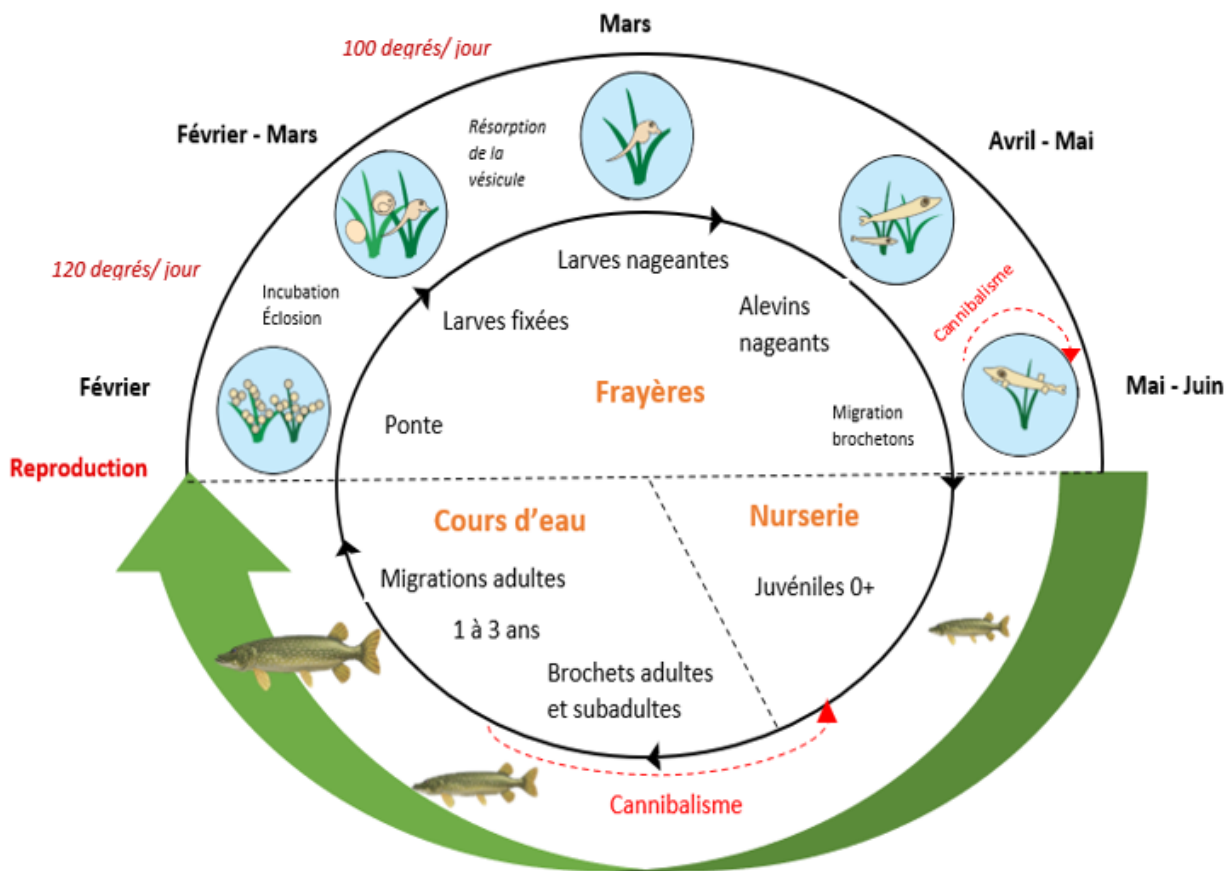


Figure 3 : Cycle biologique du brochet. Inspiré de Chancerel (2003)

1) Une bonne connectivité avec le cours d'eau : pour que les géniteurs puissent en février effectuer une migration vers les zones de frai, et permettre la dévalaison des alevins en avril-mai (FDAAPPMA54, 2018).

2) Une zone calme (vitesse de courant < 5 cm/s) et de faible profondeur : idéalement la profondeur doit se situer entre 20 cm et 1 m durant au moins 40 jours consécutifs (Chancerel, 2003). La surface de frai potentiel, doit être entre 1000 m² à 2000 m² par femelle, car une femelle fractionne sa ponte (60 ovules / 100 m²) (Chancerel, 2003). Cependant, les sites de petites tailles ne sont pas à négliger car dans certaines circonstances hydrauliques défavorables, ils peuvent maintenir une population ou une classe d'âge (Chancerel, 2003). La pente doit être douce (<10%) pour un bon développement de la végétation et donc avoir de bon support de ponte (Chancerel, 2003).

3) Des paramètres physico-chimiques adaptés pour le développement des œufs et des alevins : Les paramètres physico-chimiques les plus importants pour assurer une bonne reproduction sont :

- Une température entre 6 et 12°C avec un optimum entre 8 et 10°C pendant la période de ponte (Chancerel, 2003).
- Un pH entre 5 et 9 (Chancerel, 2003).
- Une concentration en oxygène dissout supérieur à 3 mg/L (Wisconsin *et al.*, 1976) et inférieur à 7 mg/L.
- Une transparence de l'eau supérieure à 0,7 m (Chancerel, 2003).

4) **Une végétation adaptée** : utilisée comme support de ponte, le brochet pond sur un substrat de type herbacée (carex, jonc, phalaris, glycérie ou agrostis). Ce genre de plante constitue une couverture herbacée dense, courte et dressée sous l'eau qui est parfaite pour la ponte du brochet (FNPF, 2014). La végétation va également jouer un rôle de nurserie pour les jeunes brochets (< 1 an) qui se cantonnent dans ces zones de végétation dressée ou immergée peu accessibles aux adultes. En effet d'après Chancerel (2003), ces différentes plantes sont des lieux qui permettent aussi un bon développement de la biodiversité, et donc permet d'abriter des invertébrés nécessaires au bon développement des brochetons. Elles permettent aussi aux subadultes de chasser à l'affût dans ces zones peu profondes, et elles protègent l'espèce d'une prédation excessive par les oiseaux (Chancerel, 2003). Il existe une relation aussi entre le pourcentage de recouvrement par la végétation aquatique et le nombre de brochets. En effet, d'après GRIMM (1996), les capacités d'accueil sont optimales lorsque 25 à 75% des surfaces sont occupées en période estivale par la végétation (dressée, flottante, submergée, embâcles et accrus). Un optimum en biomasse de brochets est atteint avec 60% de recouvrement par la végétation aquatique en période estivale (Chancerel, 2003).

5) **Un milieu ouvert au rayonnement lumineux** : afin de réchauffer rapidement les eaux et atteindre des températures optimales pour l'éclosion et le développement des alevins. De plus, de manière générale, un milieu ouvert est favorable aux plantes herbacées nécessaire au cycle biologique du brochet, comme cité précédemment, car les plantes ligneuses ont tendance à diminuer la lumière et donc à limiter la photosynthèse. Il est donc important que le milieu puisse rapidement se réchauffer dès les premiers rayons du soleil printaniers notamment grâce à son ouverture et à sa faible profondeur. De plus le réchauffement rapide de l'eau et l'absence de turbidité, de dépôts, de sédimentation, de développement d'algues sont les facteurs favorisant la production de plancton, source principale de nourriture des alevins (Chancerel, 2003).

6) **En eau 2 ou 3 années sur 5 afin de limiter les phénomènes de cannibalisme** : pour permettre une submersion et permettre une prolifération végétale plus importante, ainsi qu'atténuer le phénomène de cannibalisme qui est amplifié en milieu clos (étang) (FNPF, 2014).

Un tableau récapitulatif des exigences écologiques du brochet a été créé afin de faciliter les recherches (Annexe 2).

2. Matériels et méthodes :

2.1 Localisation des annexes.

Etude diachronique

Avant d'aller sur le terrain, un travail en amont a été réalisé afin d'identifier des zones potentielles. La première étape consiste à effectuer une étude diachronique, c'est-à-dire à comparer deux périodes différentes et voir l'évolution du cours d'eau. Le but est d'identifier l'ancien lit de la rivière et d'y repérer des bras morts, îlots, prairies humides déconnectés ou non et ainsi de pré-localiser des sites d'études. Il est vrai qu'à partir de processus géodynamiques (sédimentation), écologiques (végétalisation) ou anthropiques certaines zones ont tendance à se déconnecter. Cette comparaison se fait sur le site de l'IGN (Institut Géographique National) dans l'onglet « remonter le temps » qui permet de comparer deux cartes. Ainsi, la carte de l'état-major (1820-1866) est comparée avec des photographies aériennes récentes afin d'identifier ces zones potentielles. Sur les figures 4 et 5, des bras morts ou isolés en eau sont présents sur la carte de l'état-major, cependant, sur les photographies aériennes récentes, seuls les anciens tracés de ces bras sont présents, ils sont maintenant déconnectés.

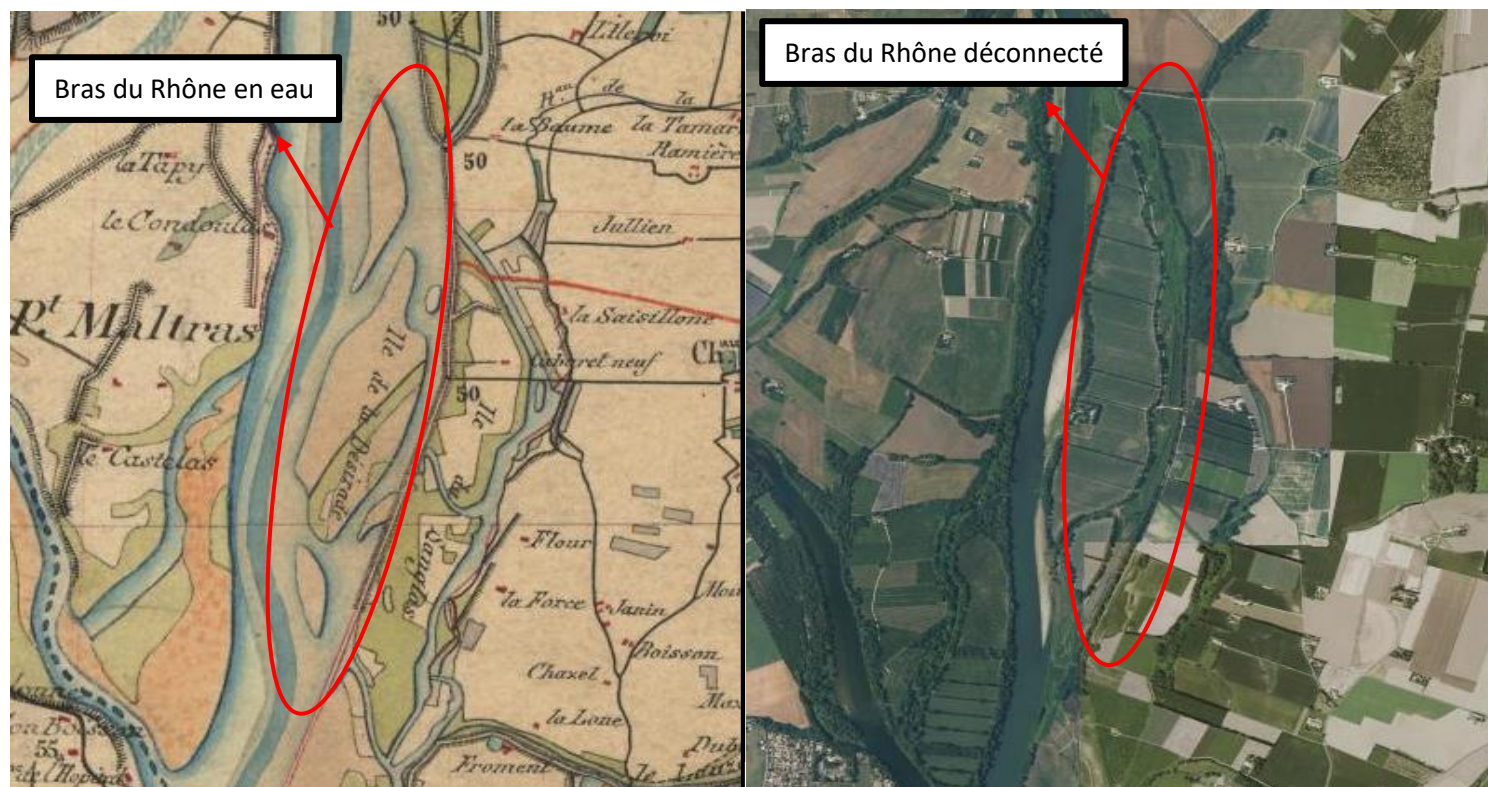


Figure 4 : Comparaison de la carte de l'état-major avec des photographies aériennes récentes afin de voir l'évolution au cours du temps de l'annexe de L'île de la Désirade (IGN)

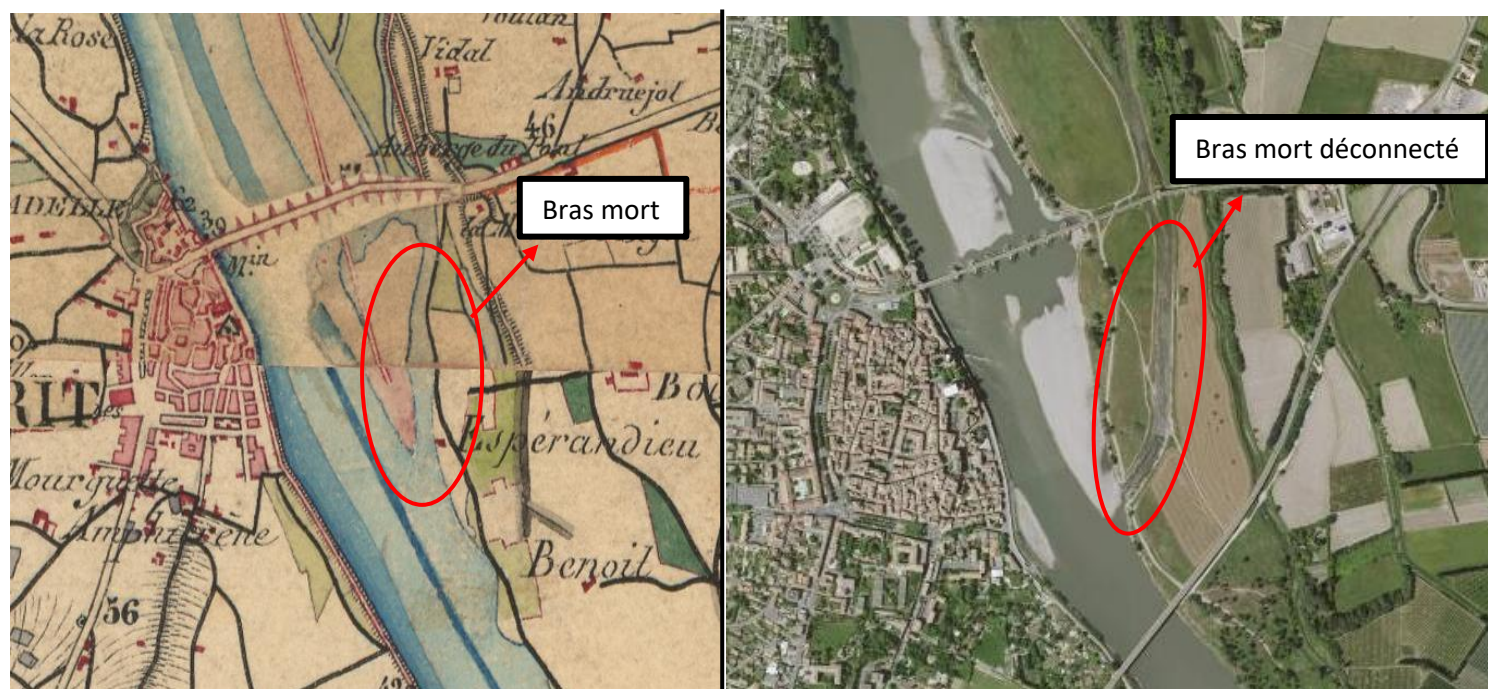


Figure 5 : Comparaison de la carte de l'état-major avec des photographies aériennes récentes afin de voir l'évolution au cours du temps de l'annexe de l'île de la Désirade (IGN)

En comparant ces deux cartes, des différences importantes et problématiques peuvent déjà être constatées :

- Déconnexion des annexes hydrauliques.
- Création de canaux.
- Diminution du miroir d'eau.

Une fois identifiées, les points GPS de ces zones potentielles sont nommés et inscrits sur l'application « my maps » afin de les identifier et de les retrouver plus facilement lors des sorties terrain. A partir de cette méthode, 15 annexes ont été recensées sur la Durance et 10 sur le Rhône.

2.2 Fiche terrain

Afin de pouvoir classer la fonctionnalité et de voir le potentiel de restauration de chaque annexe, une fiche terrain a été créée (Annexe 3) en fonction des critères d'exigences écologiques de reproduction du brochet. Cette fiche comprend des éléments d'identification du site, sa localisation, sa typologie, le pourcentage d'occupation des végétaux mais surtout deux notes qui vont faire un total de 27 points :

- **Note de fonctionnalité (22 points)** : correspond aux critères écologiques pour la reproduction du brochet. Le nombre de points attribués à chaque critère est pondéré en fonction de son importance dans la fraie du brochet, ainsi la connexion du site à la rivière ou le recouvrement en végétaux sont notés sur 4 points alors que d'autres paramètres moins importants sur 2 points (Annexe 3). Plus la note de fonctionnalité est haute et plus les critères de reproduction sont présents dans l'annexe.
- **Note de coûts de restauration (5 points)** : correspond à une note de coûts de restauration pour estimer la faisabilité de la restauration. En effet, certaines annexes sont inaccessibles ou nécessitent un terrassement important. Ainsi, la note diminue lorsque les accès ou les interventions sont compliqués (Annexe 3).

Les annexes hydrauliques sont ensuite réparties en quatre classes suivant la moyenne des notes qu'elles ont obtenues (Tableau 1) :

Tableau 1 : Classes de fonctionnalité des annexes hydrauliques

Note	Fonctionnalité
$19 \geq x \leq 22$	Forte
$15 \geq x < 19$	Moyenne
$10 \geq x < 15$	Faible
$1 \geq x < 10$	Mauvaise

Des observations complémentaires peuvent être ajoutées sur cette fiche terrain notamment sur la faune et la flore observée et les pressions sur le site (Annexe 3).

La prospection des zones se fait durant la période de reproduction du brochet donc de février à mars et idéalement en période de crue. En effet, en période de hautes eaux, une observation fine permet de voir d'éventuels dysfonctionnements du site et de mettre en relation le débit du cours d'eau et les surfaces inondées à un instant t (Chancerel, 2003). Une fois sur place, si la zone présente un intérêt, la fiche terrain est remplie au mieux selon un avis subjectif de l'observateur. Cette phase a duré jusqu'au mois d'avril (fin de période de reproduction du brochet) et toutes les données sont ensuite rentrées sur un fichier Excel afin de classer chaque annexe (Annexe 4). Ce travail de prospection et de notation

reste le travail le plus important, en effet, la plupart des annexes sur le Rhône et la Durance se trouvent à des distances éloignées et sont pour la plupart très difficile d'accès.

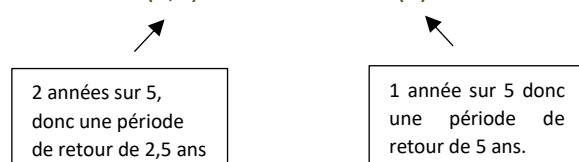
2.3 L'hydrologie du cours d'eau :

D'après le guide technique de la restauration des frayères à brochet (FNPF, 2014), la topographie et l'hydrologie sont des éléments essentiels à considérer.

Pour une bonne reproduction il faut avant tout avoir une submersion durable et stable de la zone de frayère. En effet, comme vu précédemment, d'après Chancerel (2003) : « une frayère fonctionnelle est une zone inondable sous 20 cm à 1 m d'eau durant une période d'au moins 40 jours consécutifs et avec un optimum de 60 jours entre fin février et début mai ». De plus, afin d'éviter le cannibalisme elle doit être en eau uniquement 2 à 3 années sur 5. La fréquence de préférence est de 1 à 2 années sur 5 pour une durée de 50 à 60 jours avec une durée de 40 à 50 jours garantie tous les ans. Pour cela, il faut calculer le QCXn(T) donc le débit journalier dépassé pendant une période continue de n jours, pour une période de retour T exprimée en années. Par exemple pour QCX40 (1) c'est le débit maximum qui est garantie tous les ans sur une période de 40 jours consécutifs.

Les conditions de durée d'immersion et de temps de retour peuvent être résumés ainsi :

- $QCX50 (1) \leq Q_{ref} \leq QCX40 (1)$
- $QCX60 (2,5) \leq Q_{ref} \leq QCX50 (5)$



2.3.1 Détermination des débits de référence

Afin de trouver le Q_{ref} , Il est nécessaire de calculer les différents QCXn avec les temps de retour correspondant aux conditions de durée d'immersion comme vu précédemment. Ils sont calculés entre février et avril des 10 ou 20 dernières années. Ceci permet d'avoir une vision globale et prendre en compte les potentiels évolutions dues au changement climatique. Les différents débits journaliers pour pouvoir calculer les différents QCXn sont obtenus sur le site la « Banque Hydro ».

Pour le Rhône deux stations hydrométriques (V4571010 et V4570010) sont utilisées : une au-dessus de la confluence avec le Rhône et l'Ardèche et une en dessous. En effet, l'Ardèche étant une rivière importante, les débits du Rhône diffèrent entre l'amont et l'aval de sa confluence. La première station est à Bourg Saint-Andéol (84840) et se situe à moins de 10 kilomètres des sites à l'amont de la confluence avec l'Ardèche. La deuxième station se situe à Pont Saint-Esprit (30130), et va être la station de référence pour tous les sites en aval de la confluence avec l'Ardèche. Pour la Durance, la station hydrométrique de Cavaillon (X3310010) est utilisée.

A partir de ces données, le QCXn de chaque année a été déterminé en regardant le débit seuil maximal pendant une durée de n jours. Il est calculé grâce à la loi de Gumbel qui est un cas particulier de la loi GEV (Generalized Extreme Value) et qui permet de prédire des événements extrêmes comme par exemple le niveau des crues d'un fleuve. Afin d'effectuer des calculs de manière rapide sur différentes stations, une macro sous VBA EXCEL a été mise au point (FDAAPPMA54, 2018). Elle permet d'ouvrir un fichier de la banque hydro et de calculer directement les QCXn entre février et avril puis de faire la moyenne de tous ces QCXn pour avoir le Q_{ref} (Tableaux 2,3 et 4) et de calculer les temps d'immersion ainsi que la période de retour :

$$QCXn(T) = x_0 + s \left(-\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right)$$

Après calcul, il en ressort les différents QCX et Qref suivant (Tableaux 2, 3, et 4) :

- Le Rhône à Bourg-Saint-Andéol : $59.06 \text{ m}^3.\text{s}^{-1} < Q_{\text{ref}} < 65.83 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.
- Le Rhône à Pont Saint-Esprit : $96.24 \text{ m}^3.\text{s}^{-1} < Q_{\text{ref}} < 115,34 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$
- La Durance à Cavaillon : $39,21 \text{ m}^3.\text{s}^{-1} < Q_{\text{ref}} < 69.22 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

Tableau 2 : Loi de Gumbel appliqué au QCXn, Bourg Saint-Andéol, 2004-2020

Bourg-Saint-Andéol		
Nombre de jours	Période de retour (année)	QCXn (T) ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)
40	1	60.92
50	1	59.06
	5	83.11
60	2.5	65.83

Tableau 3 : Loi de Gumbel appliqué au QCXn, Pont Saint-Esprit, 2006-2020

Pont Saint-Esprit		
Nombre de jours	Période de retour (année)	QCXn(T) ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)
40	1	101.60
50	1	96.24
	5	155.7
60	2,5	115.34

Tableau 4 : Loi de Gumbel appliqué au QCXn, Cavaillon, 2010-2020

Cavaillon		
Nombre de jours	Période de retour (année)	QCXn(T) ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)
40	1	40.16
50	1	39.21
	5	110.60
60	2,5	69.22

Tous les résultats obtenus ont été ensuite vérifiés manuellement, pour éviter tous type d'erreurs.

2.3.2 Relation débit / hauteur d'eau

La seconde étape consiste à établir une corrélation entre les débits de la station hydrométrique la plus proche et les hauteurs d'eau dans l'annexe étudiée. Le but est d'étudier la variation des hauteurs d'eau à différents débits pour déterminer dans quelle plage de débits les supports de pont sont immergés (Figure 6). Différents repères gradués créés sur place (ou échelles limnimétriques) ont été mis afin de voir la différence de hauteur d'eau dans l'annexe en fonction des débits. Les relevés d'hauteur d'eau ont été saisis sur le terrain pendant les relevés topographiques et le suivi de la végétation. Cette relation est possible que dans le cas où l'annexe est en eau lors des relevés.

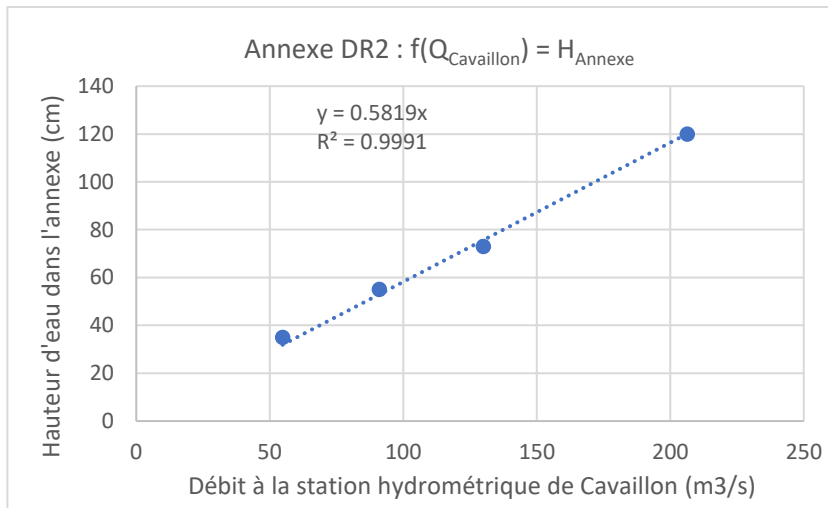


Figure 6 : Hauteur d'eau de l'annexe DR2 en fonction du débit à Cavaillon

2.4 La topographie

Les relevés topographiques sont réalisés de préférence en période de basses eaux et avant l'été pour ne pas que la végétation devienne trop encombrante. Grâce à un niveau de chantier, une échelle limnimétrique et un décimètre, les mesures topographiques sont effectuées. A partir d'un point de début choisi (point 1 de la figure 7), le niveau de chantier est mis à niveau et l'altitude ainsi que la distance au point d'origine sont relevées à chaque changement (points altimétriques, figure 7). Une fois le premier transect réalisé, une lecture avant (L_{av}) est réalisée sur le point 2 pour connaître la distance et l'altitude par rapport au premier point. Ensuite, le niveau de chantier est déplacé sur le point 2 afin de réaliser une lecture arrière (L_{ar}) sur le point 1. Une fois cette étape terminée, le transect 2 est ensuite réalisé. Pour les autres points suivants, seules des mesures avant sont nécessaires.

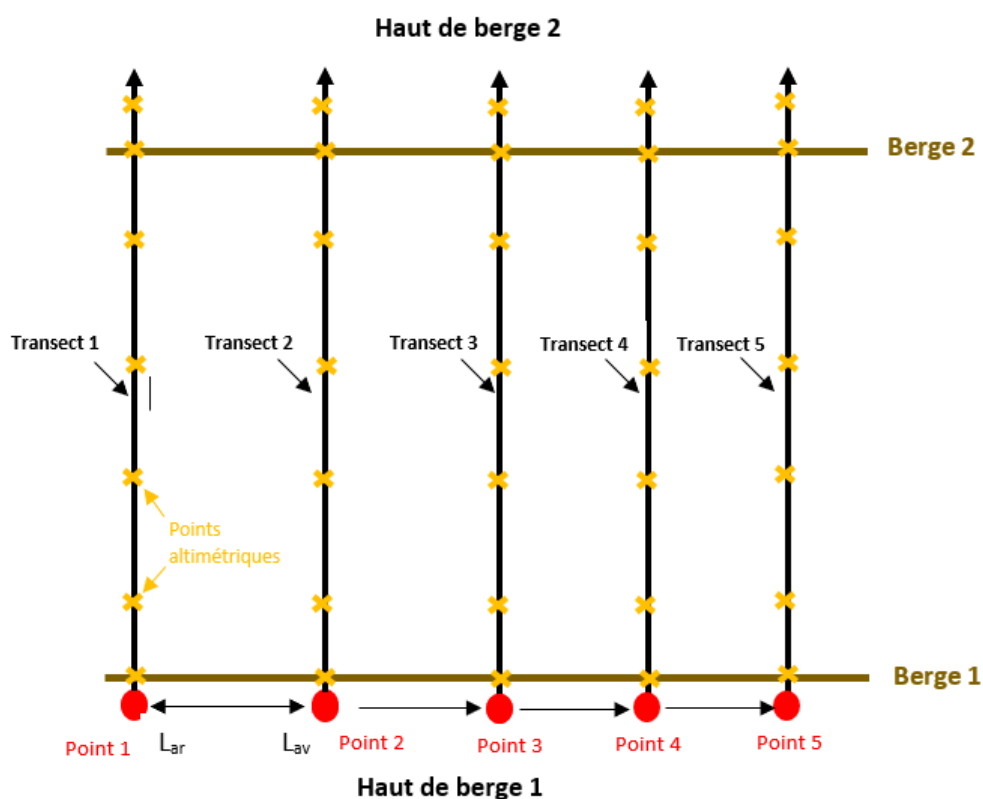


Figure 7 : Méthode de relevé des points altimétriques

Les données sont ensuite traitées sur Excel et rentrées sous le logiciel HECRAS afin de modéliser les différentes annexes (partie 3.3 Topographie).

2.5 Relevé de végétation

La végétation étant l'un des critères les plus importants dans le cycle de vie du brochet (Chancerel, 2003). Les sites étudiés ont été prospectés afin de caractériser la diversité végétale notamment vis-à-vis de la reproduction du brochet mais aussi pour identifier et prendre en compte les espèces d'intérêts patrimoniales ou au contraire les espèces envahissantes.

L'objectif est de relever de façon rapide et reproductible les groupements de végétaux afin d'avoir une idée de la strate dominante (herbacée, arbustive ou arborée) et des espèces présentes. La végétation aquatique, terrestre et ligneuse sont identifiées à partir du mois de juin afin que les espèces soient suffisamment développées pour les identifier. Les sites sont prospectés avec des transects recouvrant la largeur totale de l'annexe et espacés de 10 mètres de large chacun. Le relevé de la végétation se fait à l'aide d'un GPS afin de référencer toutes les espèces et pouvoir ensuite les cartographier (Figures 14,15 et 16). L'identification est effectuée jusqu'au genre ou la famille dans le but d'avoir un aperçu global de la végétation.

3 Diagnostic

Après identification, prospection et notation, 9 annexes ont été notées sur le Rhône et 11 sur la Durance. Ensuite, un choix des annexes est réalisé afin de choisir lesquelles peuvent éventuellement faire l'objet d'une restauration (Figure 8).

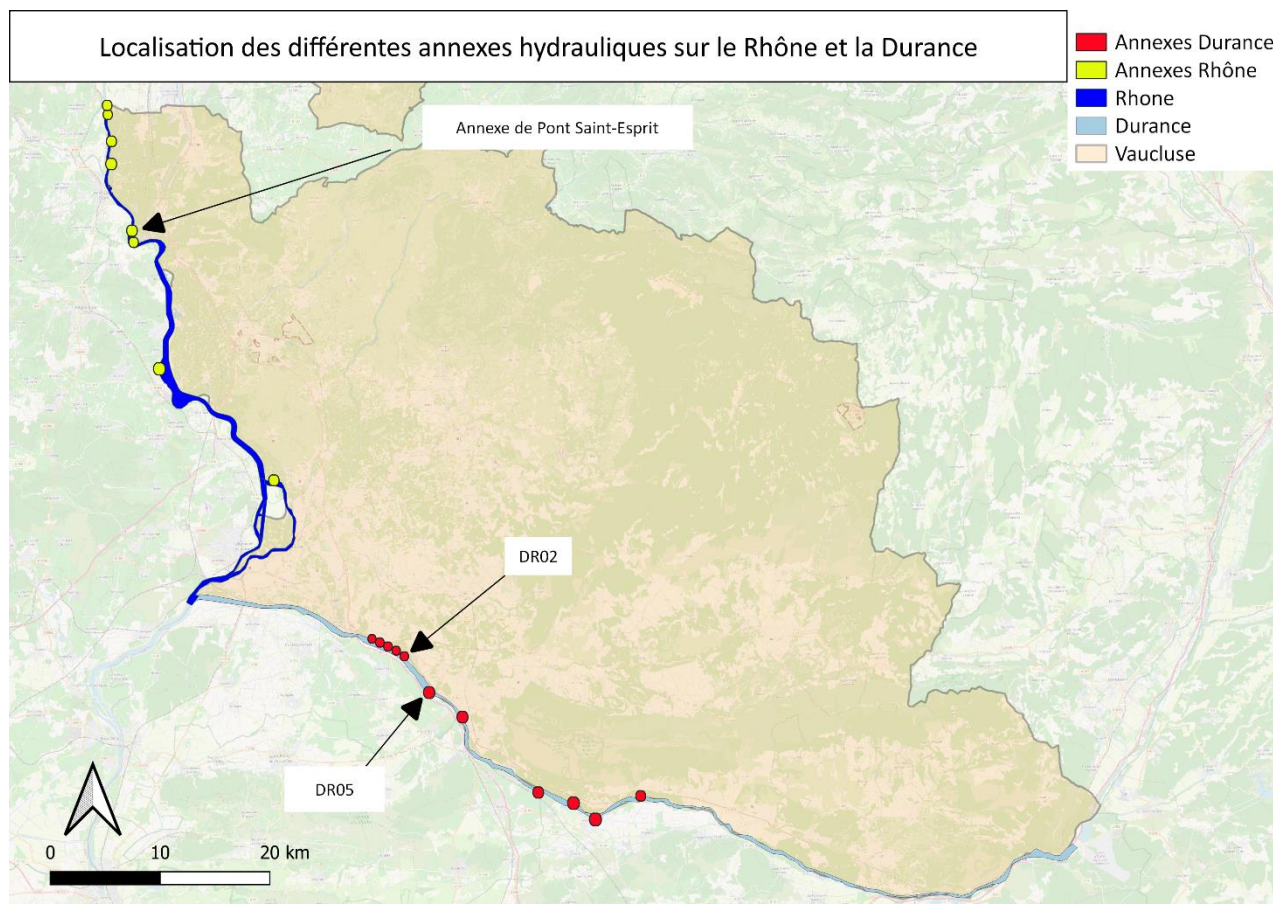


Figure 8 : Localisation des différentes annexes sur le Rhône et la Durance et des 3 annexes étudiées

3.1 Fonctionnalité des frayères

Deux tableaux sont créés pour résumer les différentes notes pour chaque annexe (Tableaux 5 et 6). Globalement les annexes notées sur le terrain pour les deux cours d'eau ont une faible fonctionnalité avec une moyenne de 13,22 pour le Rhône et 12,45 pour la Durance. Seulement une annexe sur le Rhône et une sur la Durance ont une forte fonctionnalité ce qui peut sembler relativement faible pour la distance de prospection (environ 30 km de berges pour chacun des cours d'eau).

Tableau 5 : Notation des différentes annexes sur le Rhône

Annexes Rhône	Typologie	Note fonctionnalité / 22	Note restauration /5
Banc rouge Amont	Bras isolé ou morte	15	3
Banc Rouge Aval	Bras isolé ou morte	12	2
Ile de la Désirade Amont	Bras isolé ou morte	10	2
Ile de la Désirade Aval	Bras isolé ou morte	12	3
Annexe Rhône barrage	Bras mort	20	3
Casier Ile Vieille	Casier du Rhône	14	0
Annexe passe à poisson	Bras isolé ou morte	7	0
Annexe Rhône aval ile vieille	Bras mort	15	2
Pont Saint-Esprit	Bras mort	14	4
Moyenne		13.22	

Tableau 6 : Notation des différentes annexes sur la Durance

N° fiche	Typologie	Note fonctionnalité / 22	Note restauration /5
DR01	Bras mort	16	3
DR02	Bras mort	11	0
DR03	Bras mort	12	4
DR04	Bras isolé	7	3
DR05	Bras mort	13	4
DR06	Bras mort	14	4
DR07	Bras mort	12	2
DR08	Bras mort	10	3
DR09	Bras mort	20	4
DR10	Bras mort	10	3
DR11	Bras mort	12	1
Moyenne		12,45	

Choix des annexes

Suite à la notation, il est nécessaire de faire un choix parmi les annexes pour les étudier plus en détails. Les annexes sont sélectionnées selon leur note de fonctionnalité et de restauration. En effet, il est plus intéressant de travailler sur des sites dont la fonctionnalité est évaluée comme faible ou moyenne que sur ceux où la fonctionnalité est déjà mauvaise ou forte. En effet, pour celles qui ont une très mauvaise fonctionnalité, les actions de restaurations sont bien souvent trop lourdes et trop coûteuses. Si l'annexe a déjà une forte fonctionnalité alors il n'est pas nécessaire de faire des actions sur celle-ci mais plutôt de se concentrer sur celle qui en ont le plus besoin. Ainsi, c'est la comparaison du potentiel de restauration (accès, travaux sur la végétation, terrassement) qui permet de choisir un site. Cependant, le Rhône et la Durance sont des cours d'eau complexes, et le choix des annexes s'est effectué aussi selon d'autres critères comme la distance par rapport aux ouvrages hydrauliques et leurs dimensions. En effet, la plupart des annexes ne pouvaient pas être étudiées car le matériel à disposition n'est pas fait pour étudier des zones de cette taille (profondeur trop importante, plusieurs kilomètres de long, accès dangereux...)

Suivant ces différents critères, une annexe sur le Rhône (Pont Saint-Esprit) et deux sur la Durance (DR2 et DR5) ont été choisies (Tableau 7). Ce sont tous les 3 des bras morts qui sont plus ou moins déconnectés. L'annexe de Pont-Saint-Esprit, est un ancien site qui a déjà été restauré en 2009 par la CNR afin de créer une zone humide et limiter les inondations, cependant avec le temps il s'est déconnecté. Les annexes DR02 et DR05 ont été choisies car ce sont deux annexes sur lesquelles un diagnostic complet est possible en plus d'avoir le plus grand potentiel en termes de restauration suivant les exigences écologiques du brochet (Tableau 7).

Tableau 7 : Choix des annexes

Nom des annexes	Typologie	Note de fonctionnalité /22	Note de restauration /5
Pont Saint-Esprit (Rhône)	Bras mort	14	4
DR02 (Durance)	Bras mort	11	0
DR05 (Durance)	Bras mort	13	4

3.2 Hydrologie

Selon les calculs le Qref de la Durance se situe entre $39,21 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ et $69,22 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Cependant, la moyenne des débits journaliers sur le mois de février et mars sur 10 ans est de $143,91 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. L'écart entre la moyenne des débits et le Qref est donc très important. En effet, comme vu précédemment, la Durance est un cours d'eau qui a été profondément modifié (Laurenceau and Molle, 2019). Ainsi la Durance est régulée par les barrages à des fins hydrauliques et modifiant son débit en fonction de l'ouverture ou la fermeture des vannes. La figure 9 montre bien cette différence de débits que l'on peut avoir d'une année à l'autre et sur des périodes de temps très courtes. En 2012, le débit au 16 mars était de $9,33 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ alors qu'en 2013 il était de $274 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ soit 31 fois supérieur. Ces grandes variations d'une année à l'autre de débits peuvent aussi varier fortement d'une semaine à une autre, ou d'un jour à un autre (Figure 9), entraînant des variations de hauteurs d'eau tout au long de l'année, là encore sur de courte période. Ce phénomène d'origine anthropique est défavorable pour la reproduction du brochet car il faut entre 20 cm et 1m d'eau pendant au moins 40 jours consécutifs de février à fin mars pour espérer avoir une bonne reproduction (Chancerel, 2003)

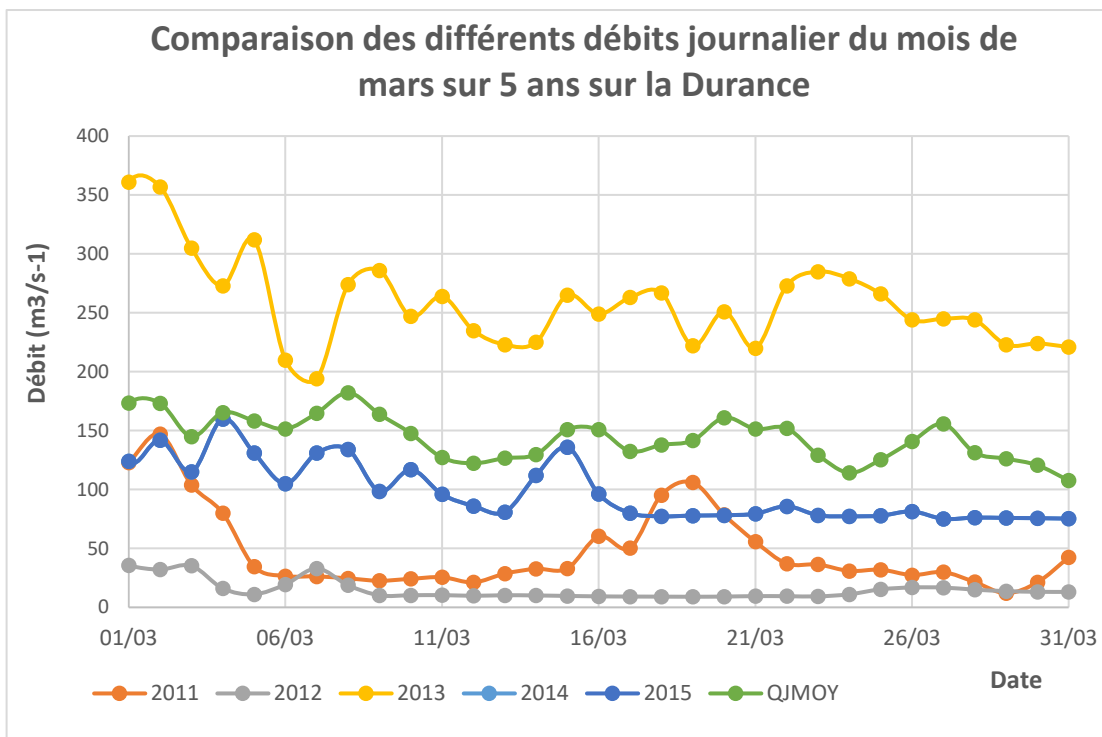


Figure 9 : Comparaison des différents débits au mois du mars sur 5 ans

Pour le Rhône, les débits sont moins dépendants des barrages et semblent plus être en lien avec les « cycles naturels » de l'eau même si des lâchers industriels sont toujours très présents (Figure 10). Cependant, ce fleuve n'a pratiquement plus de plaine d'expansion d'inondation, de ce fait, les crues sont parfois dévastatrices ce qui fait qu'il faut étudier minutieusement l'hydrologie.

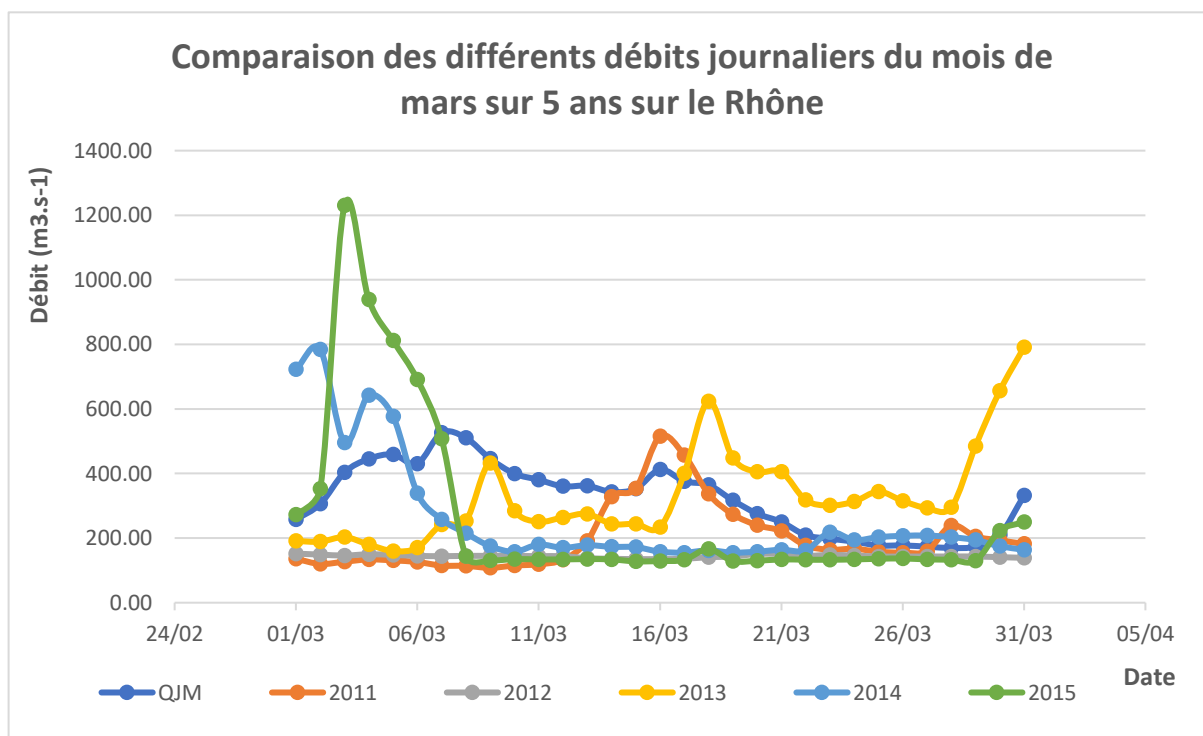


Figure 10: Comparaison des différents débits au mois de mars sur 5 ans sur le Rhône

3.3 Topographie

DR05 :

Les relevés topographiques ont été réalisés pendant le Qref afin de voir les hauteurs d'eau au débit de référence. Pour l'annexe DR05, la ligne d'eau de ces relevés correspond à un débit de $59 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, seul le transect 12 avait une petite partie en eau (Figure 11). Cette ligne d'eau permet de savoir la hauteur d'eau pour le Qref afin de pouvoir ensuite savoir quelle quantité de sédiment enlever dans la partie restauration pour que l'annexe soit totalement connectée. La cause de cette déconnexion est l'accumulation de sédiments grossiers lors des différentes crues, bien visible sur la figure 12.

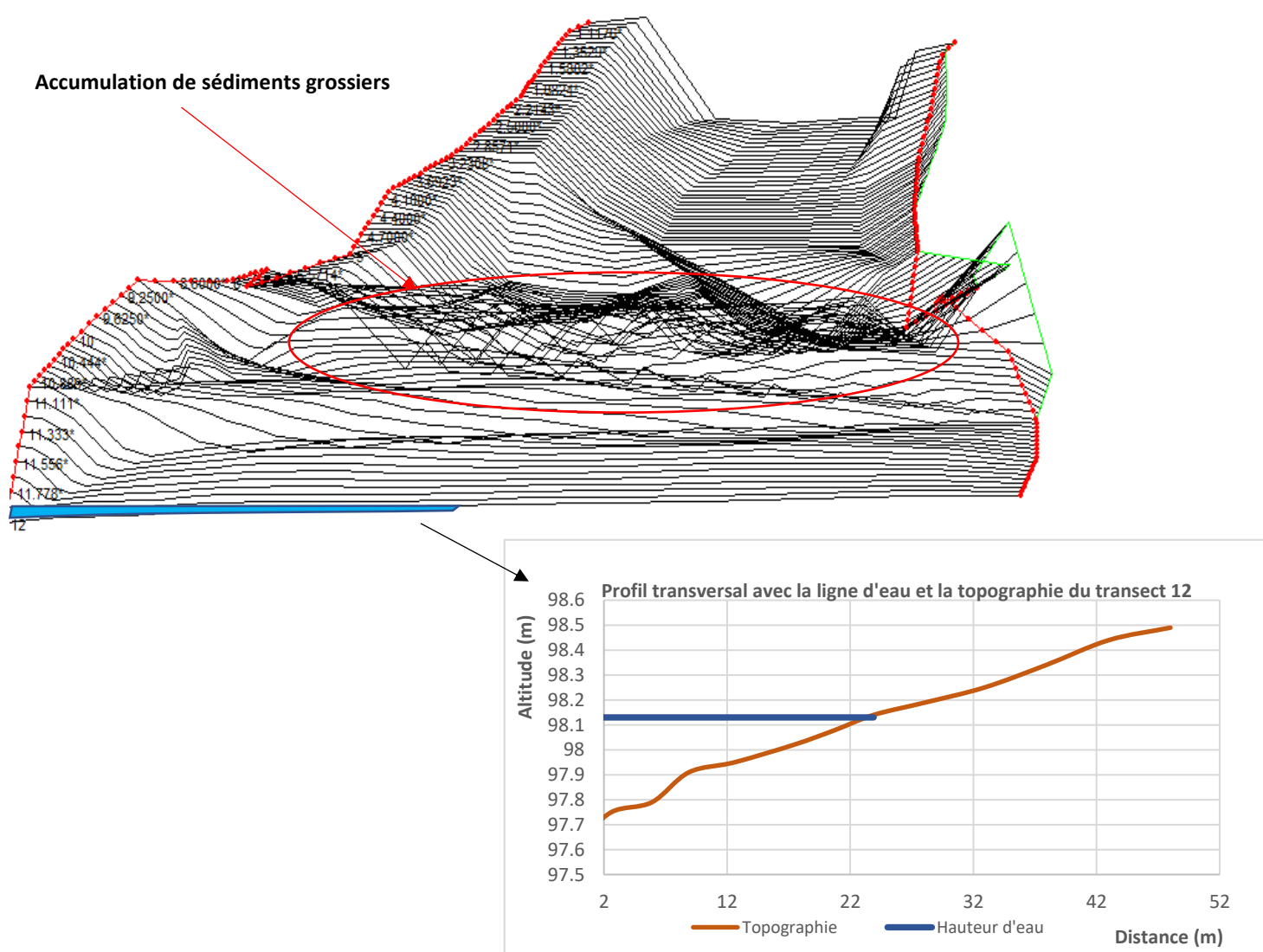


Figure 11 : Topographie de l'annexe DR05 (HEC-ras) et profil transversal du transect 12 (Excel)

Pont saint Esprit

Les relevés topographiques pour cette annexe sur le Rhône ont été réalisés pendant le Qref ($103.2 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) (Figure 12). Ici, seul une partie d'eau était présente au niveau de la connexion avec le Rhône sur le transect 1. Différentes hauteurs d'eau ont été mesurées avec différents débits sur ce transect et une corrélation entre débits et hauteur permet de savoir à quel débit l'annexe est connectée (Figure 13). En effet, dans cette zone, il y a une importante sédimentation qui a entraîné au fil des années un comblement de l'annexe (Figure 12). La hauteur de sédiment a été calculée grâce aux différentes données altimétriques et une différence de 1.6 mètres de hauteur est présente entre le transect 1 et les transects 4 et 5.

Selon la figure 13, il est possible de calculer le débit nécessaire pour que la hauteur d'eau augmente de 1,6 mètres soit 160 cm et ainsi que l'annexe soit connectée. La relation entre débits et hauteurs d'eau donne l'équation : $y = 0.12x - 2.086$.

Ainsi pour $y = 160$, $x = (160 + 2.086) / 0.12 = 1350,7 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Donc pour un débit de $1350 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, l'annexe est connectée soit plus de 10 fois supérieur au Qref.

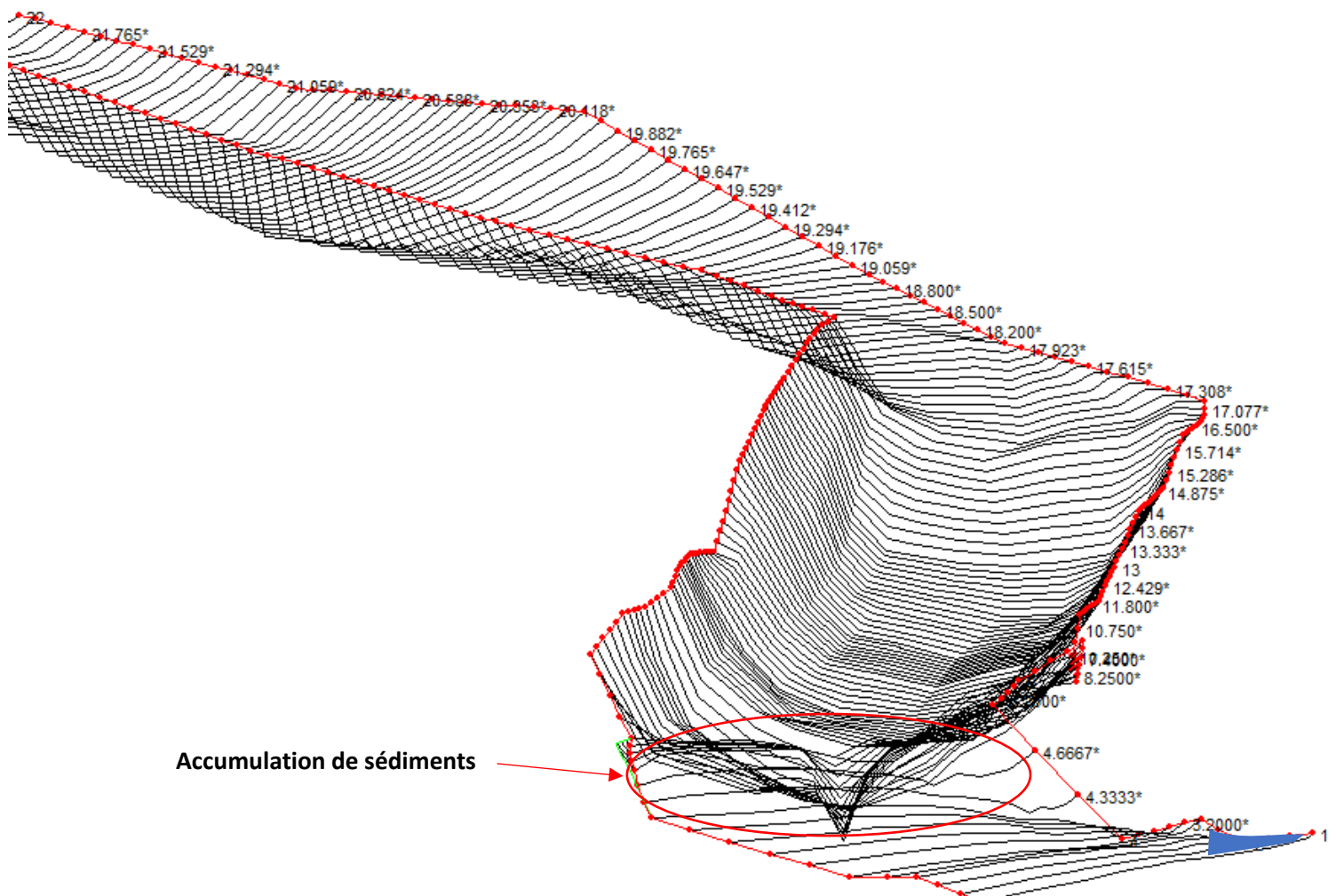


Figure 12 : Topographie de l'annexe "Pont saint esprit "(HEC-ras)

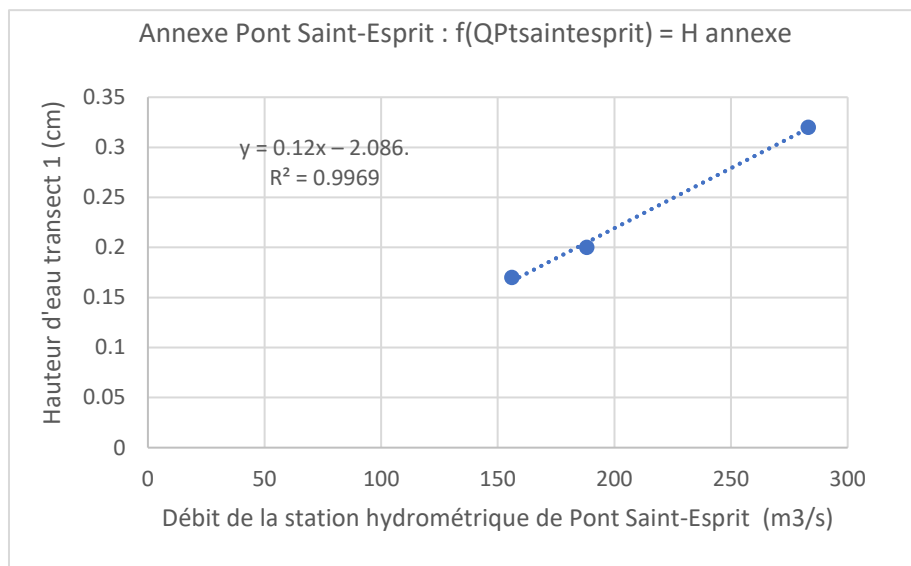


Figure 13 : Hauteur d'eau dans l'annexe au niveau du transect 1 en fonction des débits à la station de Pont Saint-Esprit

DR02

Les relevés topographiques ont été réalisés au Q_{ref} ($54.8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), et sur chaque transect les hauteurs d'eau sont prises afin de réaliser une modélisation sous HECRAS (Figure 14). Cette annexe n'a pas de problèmes spécifiques pour la connexion puisqu'une bonne hauteur d'eau est présente au Q_{ref} .

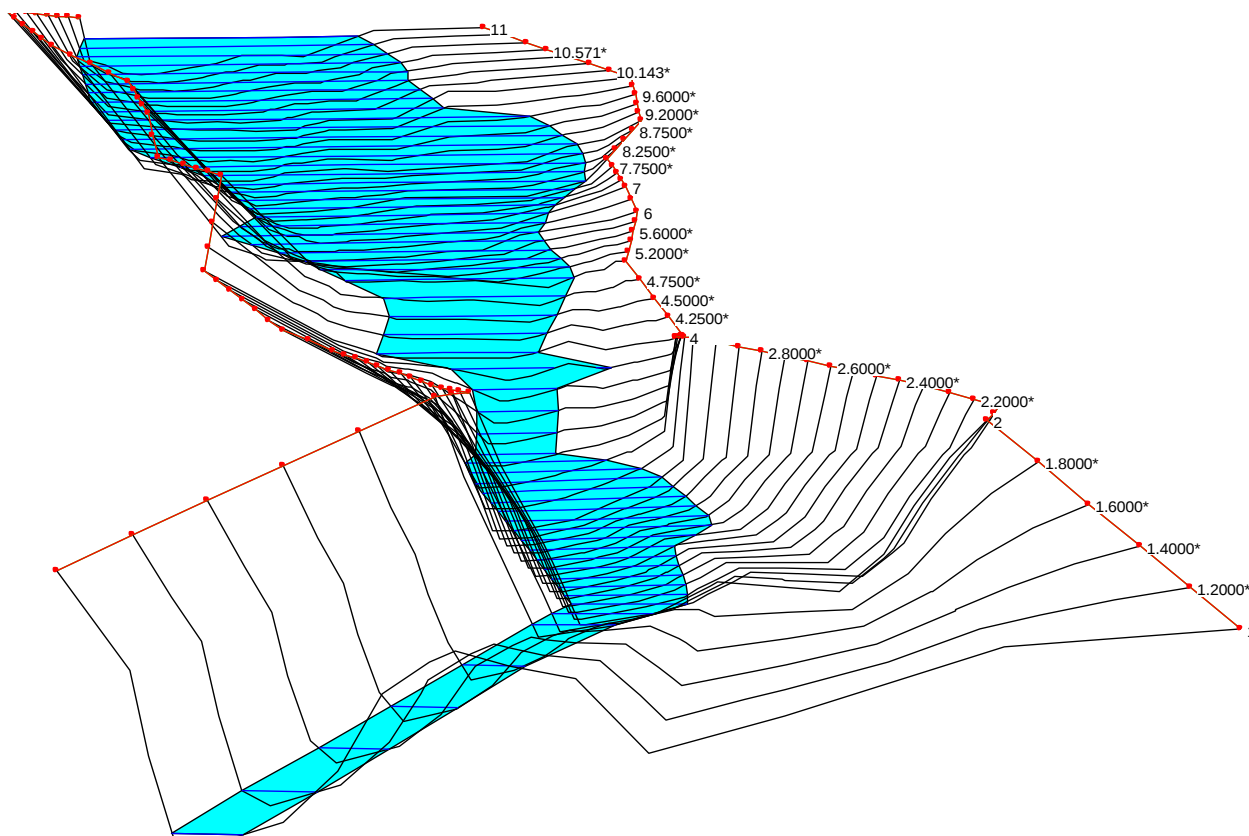


Figure 14 : Topographie de l'annexe DR02 (HEC-ras)

3.4 Végétation

Espèces envahissantes

D'après le recensement des espèces végétales, aucune espèce protégée n'a été identifiée. Cependant une espèce exotique envahissante (EEE) est très présente sur l'annexe de Pont Saint-Esprit : l'amorpha buissonnante (*Amorpha fruticosa*).

L'amorpha ou Faux-indigo est un arbuste pouvant atteindre 6 mètres de haut vivant dans les milieux anthropisés mais peut envahir aussi des milieux naturels moins perturbés (CDR EEE, 2016). Elle constitue une perturbation en rentrant en concurrence les semis d'arbres indigènes et de ce fait contraint la régénération naturelle des forêts alluviales. De plus, elle provoque de grandes modifications au niveau de la composition de la flore et de la ripisylve en favorisant des espèces rudérales nitrophiles (CDR EEE, 2016). Elle pourrait aussi entraîner des modifications du régime hydraulique et des processus de sédimentation et d'érosion le long des berges (Fried, 2012).

Cette plante est très présente sur les berges du Rhône et pose de véritables problèmes, c'est pourquoi des actions de lutte contre sa propagation sont mises en place. Un nouveau procédé a été appliqué par la CNR avec un taux de mortalité de 90% des faux indigos sans utiliser de pesticides (CNR, 2020). Ce procédé consiste à appliquer un mélange de substance salino-acides d'origine naturelle sous forme de « patch » au pied de chaque tige des arbustes avec un écorçage préalable. L'objectif est d'empêcher la circulation de la sève et de dérégler la connexion entre les racines et les organes de croissance (tiges/feuilles) (CNR, 2020).

A partir de l'identification des espèces présentes sur le site, il est possible d'en définir une cartographie pour les 3 annexes (Figures 15, 16 et 17).

Pont Saint-Esprit

Pour l'annexe de Pont Saint-Esprit (Figure 15), la végétation sur les bords est plutôt de type terrestre : plantain (*Plantago sp*), oseille (*Rumex acetosa*), luzerne (*Medicago sativa*) avec quelques espèces ligneuses : saule (*Salix sp*) et peuplier (*Populus sp*). L'amorpha (*Amorpha fruticosa*) est une plante invasive très présente sur cette annexe (6 transects / 11), ce qui peut entraîner des problèmes sur le long terme. Au niveau de la connexion avec le Rhône, une accumulation de sédiment entraîne un milieu moins humide avec un grand développement d'espèces ligneuses. Cependant, en s'éloignant de la connexion, et au milieu de l'annexe on y trouve de nombreux individus de roseaux commun (*Phragmites australis*), dû à une petite dépression où de l'eau a été observé en période de déconnexion. Ainsi, sur cette annexe la végétation semble intéressante pour le brochet en vue du nombre d'espèces terrestres et d'hélophytes, cependant le plus gros problème reste sa communication avec le cours d'eau qui entraîne un comblement de l'annexe au fur et à mesure et une connexion très limitée sur des périodes courtes.

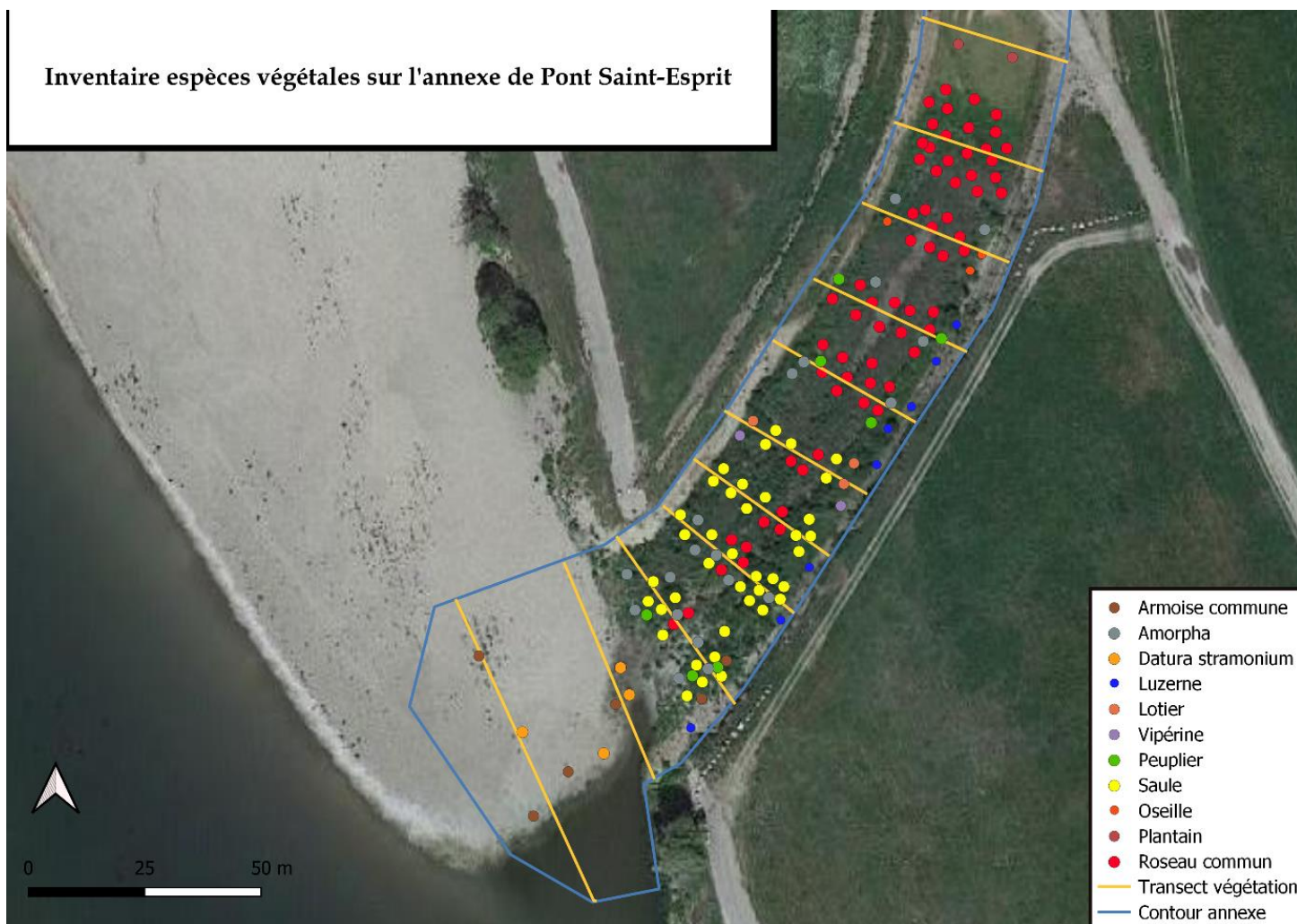


Figure 15 : Inventaire des différentes espèces végétales sur l'annexe de Pont Saint-Esprit

DR02 et DR05

Pour ces deux annexes, la végétation est totalement différente par rapport à celle de Pont Saint-Esprit. En effet, ces deux annexes ont un point commun, la ripisylve est dense et principalement constituée d'espèces ligneuses (saules, peupliers) (Figures 16 et 17). Cependant, les deux annexes ont une végétation différente dans leurs chenaux principaux, notamment du fait de leur hydrologie différente. L'annexe DR02 contient aucune végétation de type hydrophyte, bien qu'en eau une majeure partie de l'année, la végétation reste très pauvre et majoritairement peuplée d'espèces ligneuses en bordure. En effet, les berges très abruptes entraînent une végétation non adaptée avec principalement des espèces ligneuses en bordures.

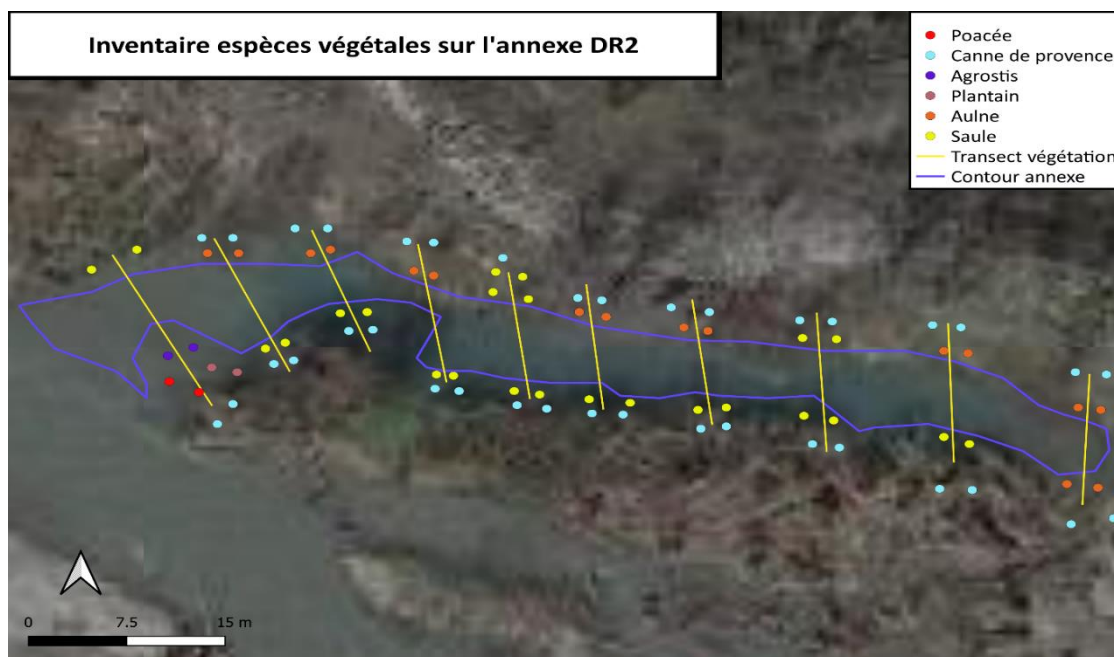


Figure 16 : Inventaire espèces végétales sur DR02

Pour DR05, qui est rarement connecté, une végétation de type herbacée s'est installée sur certaines zones comme le chiendent (*Elymus repens*), l'agrostis (*Agrostis stolonifera*), le sorgho d'Alep (*Sorghum halepense*), la vipérine commune (*Echium vulgare*) ce qui peut être intéressant pour le brochet. La majorité des plantes se situent au niveau de l'accumulation de sédiments car ce sont des parties qui restent moins longtemps immergées que les autres.

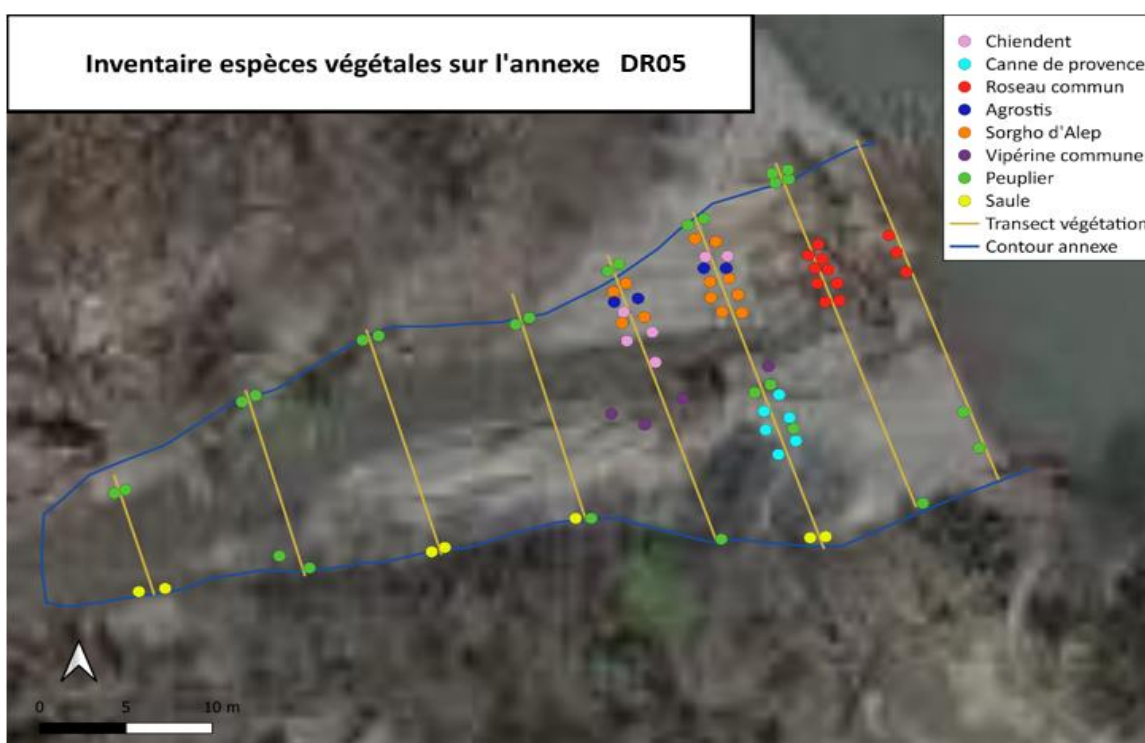


Figure 17 : Inventaire espèces végétales sur DR05

4 Restauration

DR05

Terrassement :

Suite au diagnostic, des propositions d'aménagements ont été étudiées. L'annexe DR05 a des pentes très abruptes (>20%) et une hauteur de sédiment trop importante pour être en eau au Qref. Ainsi un terrassement pour enlever le surplus de sédiments peut être envisagé. Pour ce faire un modèle de restauration est effectué sous HECRAS avec des hauteurs d'eau correspondant au Qref et des pentes douces (<10%). Les différents points sont abaissés pour avoir une hauteur d'eau d'environ 45 cm à la connexion avec la Durance et sur les derniers transects une hauteur d'environ 20 cm au Qref (Figure 18). Ainsi, une différence est obtenue entre les transects originaux et ceux restaurés. Afin d'avoir le volume de sédiment à mobiliser lors des travaux, l'aire de différence d'altitude entre chaque transect est calculée. Pour ce faire, les points de chaque transect sont rentrés sous ZWCAD et l'outil « Aire » permet de calculer une différence d'aire en superposant les transects avant et après restauration (Annexe 5). Chaque aire pour chaque transect est multipliée par sa longueur, puis additionnée afin d'obtenir une aire totale (m³) (Tableau 8).

Tableau 8 : Calcul de l'aire totale de sédiments à enlever pour l'annexe DR05

Transects	Différence d'aire (m ²)	Aire (m ³)	Aire totale (m ³)
Transect 1	24,21	145,26	4537,58
Transect 2	21,42	344,86	
Transect 3	23,85	319,59	
Transect 4	20,15	259,9	
Transect 5	29,56	295,6	
Transect 6	35,62	227,97	
Transect 7	45,66	187,21	
Transect 8	83,46	534,12	
Transect 9	72,14	353,49	
Transect 10	65,35	470,52	
Transect 11	105,2	874,21	
Transect 12	126,47	524,85	

En moyenne le prix d'un déblais/remblais est compris entre 5 et 9 le m³ (tarifartisan, 2020). En prenant le prix le plus avantageux (5€ le m³), le prix de revenu pour effectuer un terrassement de l'annexe DR05 est de 22 687,90€. Les travaux devront être effectués en période de basses eaux pour ne pas avoir de problèmes avec des hauteurs d'eau trop importante dans l'annexe.

Végétation :

L'annexe a une ouverture suffisante, ce qui est très important pour les végétaux et réchauffer l'eau pour la reproduction, donc les différents ligneux en bordure peuvent être laissés. Cependant, un des gros problèmes de cette annexe est le manque de végétation adaptée. Pour pallier à ce problème, des végétaux de type herbacée, notamment des semis terrestres comme des carex, glycérie ou autre peuvent être plantés au niveau de la pente douce. Des héliophytes peuvent être aussi implantés entre les semis terrestres et l'eau et des hydrophytes au milieu de l'annexe (Figure 18). Le prix des semis terrestres est de 1,5€/m². Sachant que l'annexe mesure 973 m² et que la pente douce avec semis terrestres représente environ ¼ de la surface totale, soit environ 250 m², le coût pour les semis terrestres est donc de 375€. Pour le prix des héliophytes il est d'environ 2€/u, la densité est de deux

hélophytes par m² (IIBSN, 2012) en prenant ¼ de la surface pour les hélophytes, environ 500 hélophytes peuvent être planté sur 250 m². Ce qui fait un total de 1000€ pour les hélophytes. Pour les hydrophytes, une dizaine d'individu adultes comme des nénuphars (*Nymphaea alba*) peuvent être implantés pour un coût proche des 100€ (IIBSN, 2012). Ainsi le coût total pour la végétation reviendrait à 1475 €.

La pente douce, le terrassement et la plantation de végétaux vont permettre d'avoir une annexe en eau pendant au moins 40 à 60 jours consécutifs avec des hauteurs d'eau suffisante et une végétation adaptée (Figure 17). Les plantations peuvent être effectuées de mars à début août. Le coût total pour les travaux de restauration reviendrait à 24 162, 90€

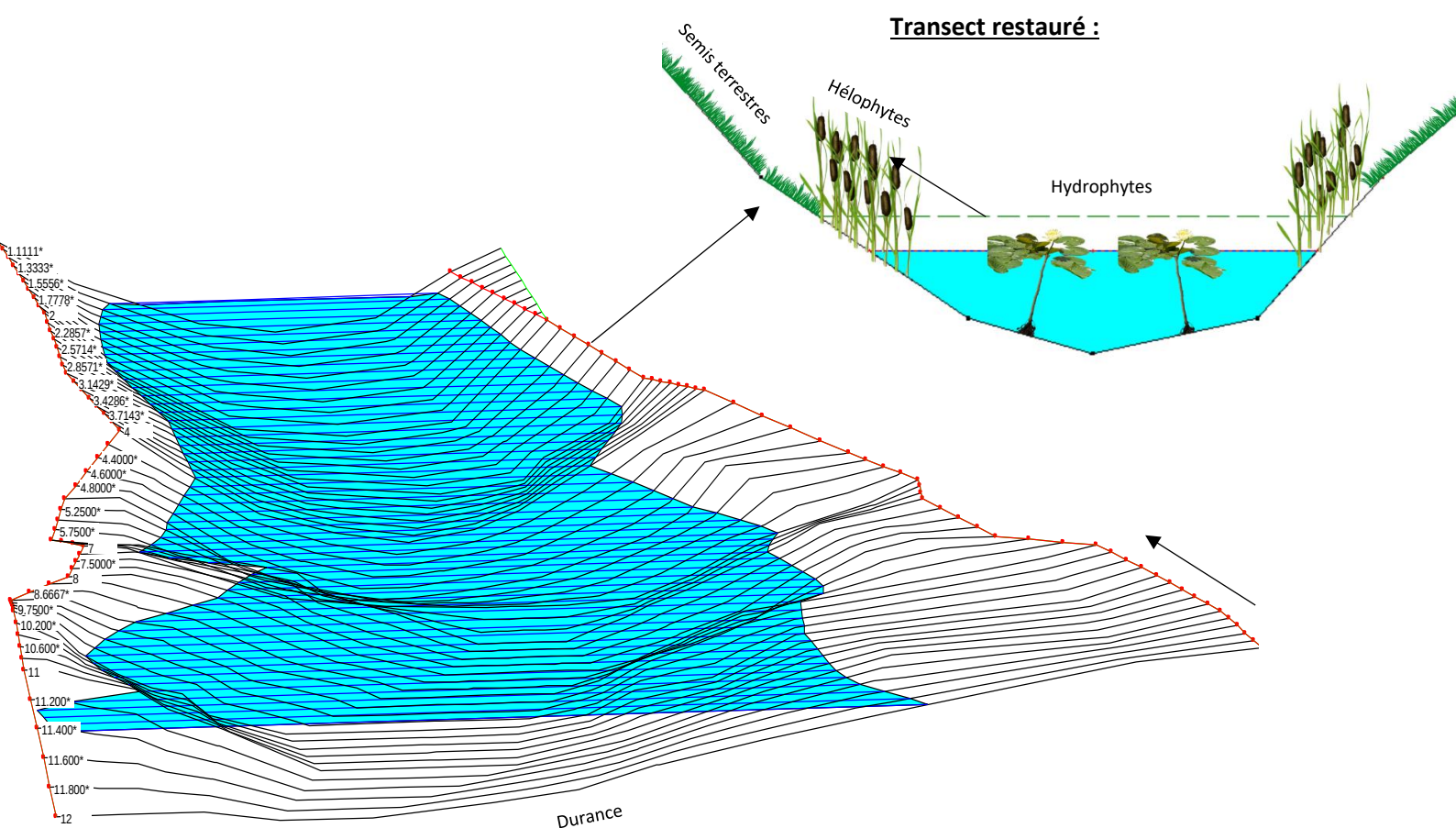


Figure 18 : Annexe DR05 après restauration avec une hauteur d'eau correspond au Qref, et un exemple de transect restauré

Pont Saint-Esprit

Terrassement :

Le problème est le même que l'annexe DR05. En effet, il y a une accumulation de sédiments à la connexion avec le Rhône. D'après les calculs et la relation existante entre les débits du Rhône et les hauteurs d'eau dans l'annexe (Figure 13), il faudrait avoir environ un débit de 1350 m³.s⁻¹ pour que l'annexe soit connectée. De ce fait, il peut être judicieux d'effectuer un terrassement afin de reconnecter l'annexe. La même méthode est utilisée pour cette annexe avec HECRAS et ZWCAD. Les transects 16 à 22 de cette annexe ont été enlevés car ils sont totalement identiques et cela simplifie la

modélisation. Le terrassement se situera majoritairement sur les premiers transects (1 à 7), là où se situe le plus de sédiments bloquant la connexion. Ainsi d'après la modélisation créée sous HECRAS, à partir du transect 13, il n'y a plus besoin de creuser car la hauteur d'eau est déjà suffisante (20 cm en moyenne) (Tableau 9).

Tableau 9 : Calcul de l'aire totale de sédiments à enlever pour l'annexe de Pont Saint-Esprit

Transects	Différence d'aire (m ²)	Aire (m ³)	Aire totale (m ³)
Transect 1	155,25	504,56	20005.91
Transect 2	198.55	1389,85	
Transect 3	227,10	1362,6	
Transect 4	310, 26	4588,74	
Transect 5	520,3	4162,4	
Transect 6	228,3	2372,03	
Transect 7	179,37	2118,36	
Transect 8	135,2	1757,6	
Transect 9	102,74	1027,4	
Transect 10	56,34	540,86	
Transect 11	17,82	167,508	
Transect 12	2	14	
Transect 13	0	0	
Transect 14	0	0	
Transect 15	0	0	

En prenant le prix le plus avantageux (5€ le m³), le prix de revenu pour effectuer un terrassement de l'annexe de Pont Saint-Esprit est de 100 029,54€ (Tableau 9).

Végétation :

Il sera nécessaire d'apporter une attention particulière à l'amorphe buissonnante (*Amorpha fruticosa*) car c'est une espèce exotique envahissante. C'est pourquoi si des travaux se font des précautions doivent être prises afin d'éviter sa dissémination. Les pelles doivent être nettoyées après être rentrées en contact avec. Il sera peut-être nécessaire de traiter cette plante en lien avec la CNR grâce à une substance salino-acide qui reste actuellement la technique la plus efficace afin d'enlever un maximum d'individus (en moyenne 90% de mortalité) (CNR, 2020).

D'après les relevés de végétation, de nombreuses espèces intéressantes restent présentes comme des plantes terrestres et des hélophytes (Figure 16). Donc lors des travaux, il serait judicieux de recréer cette structure de végétation sur les transects qui vont être reprofilés (Figure 19). La surface d'implantation des semis terrestres est de 3000 m² donc reviendrait à 4500€. Pour les hélophytes, la surface est de 1000 m² donc le coût reviendrait à 4000€.

Ainsi le coût total pour cette annexe reviendrait à 108 529,54€.

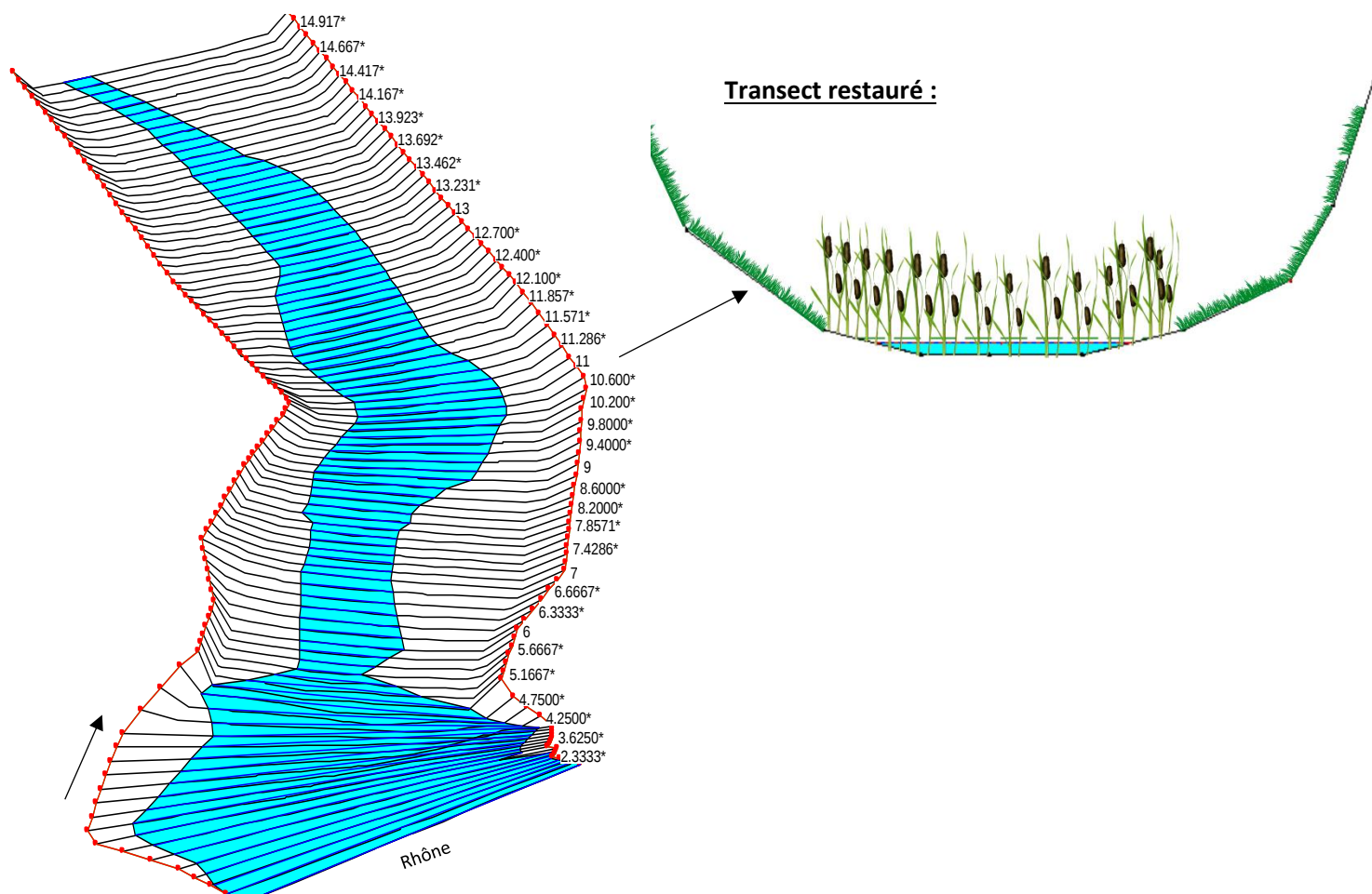


Figure 19 : Annexe de Pont Saint-Espirit après restauration avec une hauteur d'eau correspond au Qref, et un exemple de transect restauré

DRO2

Pour cette annexe, peu de propositions d'aménagements peuvent être envisagées du fait de son inaccessibilité pour les engins. Elle n'a pas de problème de connexion, mais juste un manque de végétation adéquate et des berges trop abruptes. Dans ce cas de figure, seulement un travail sur la végétation peut être effectué. En effet, une plantation de graines d'espèces intéressantes pour la reproduction du brochet peut être envisagé sur les berges comme des supports de ponte (herbacée) ou des hélrophytes.

Autres propositions

D'après Chancerel (2003) : « Si le fonctionnement ne peut être assuré correctement (surface insuffisante, maintien du niveau d'eau improbable, exondation et ressuyage impossible) plus de 2 fois sur 5 il faut envisager une gestion maîtrisée du niveau d'eau ». Ainsi un système de vannes peut être mis en place afin de contrôler le niveau d'eau dans la frayère (Figure 20). Ce type d'ouvrage est très efficace car il permet de ressuyer progressivement l'annexe et donc de ne pas subir d'exondation. De nombreuses Fédération de pêche ont déjà réalisé ce type d'ouvrage, notamment celle de Charente-Maritime (17), cependant la plupart des cours d'eau étaient de plus petite taille et avec des conditions hydrauliques et sédimentaires différentes du Rhône et la Durance (FNPF, 2014).

Ce type d'ouvrage peut-être un bon moyen de contrôler les niveaux d'eau, cependant, il nécessite une logistique spécifique et une charge de manutention relativement importante (FNPF, 2014). En effet,

un calendrier de manœuvre de l'ouvrage, avec quand ouvrir et fermé les vannes pour la gestion des niveaux d'eau est proposé sur le guide technique de la restauration des frayères à brochet (FNPF, 2014)



Figure 20 : Exemple d'une annexe dont le niveau d'eau est contrôlé par l'Homme. Crédit : FDAAPPMA 17

Ce système peut être proposé sur certaines annexes sur le Rhône et la Durance, cependant, il nécessite de plus amples études sur le fonctionnement sédimentaire des deux annexes. En effet, si un ouvrage est implanté mais que l'annexe se déconnecte au bout de quelques années, il est inutile de réaliser ce genre de travaux.

5 Analyses critiques et limites

La première difficulté rencontrée est que sur le Rhône et la Durance une bonne partie des berges n'appartiennent pas au département du Vaucluse et donc les baux de pêche n'appartiennent pas à la fédération de pêche du Vaucluse. En effet, les cours d'eau sont partagés en lot entre Fédération voisine donc pratiquement la moitié des berges des deux cours d'eau n'ont pas pu être étudiées. De plus certaines annexes qui semblaient intéressantes sont inaccessibles et il est dangereux de s'aventurer sur le lit de la Durance à cause des lâchers de barrages.

Comme vu précédemment le Rhône et la Durance sont des cours d'eau totalement anthropisés avec des crues parfois dévastatrices. De ce fait, il nécessite beaucoup de temps, de recul, d'études et de moyens pour pouvoir proposer quelque chose de réalisable et durable. En effet, la CNR avait déjà réalisé des travaux pour réhabiliter notamment une frayère à brochet au niveau de l'annexe de Pont Saint-Esprit mais en moins de 10 ans celle-ci s'est rebouchée. De plus, il est difficile d'entreprendre des travaux pour reconnecter certains secteurs d'eau car des digues servent toujours de protection en cas d'inondation.

Le matériel et le temps nécessaire pour pouvoir proposer un projet ne sont pas adaptés. En effet, la plupart des zones n'ont pas pu être étudiées car le matériel pour effectuer la topographie ou étudier l'hydrologie n'est pas adéquat pour étudier des surfaces aussi importantes. De plus, d'après un entretien avec la CNR il faut en moyenne 10 ans pour effectuer des travaux avec des sommes de plusieurs millions d'euros car de nombreux facteurs sont à prendre en compte : dynamique sédimentaire, hydrologie (risque inondation), biodiversité. De ce fait, le pouvoir d'intervention d'une Fédération de pêche est limité sur de tel cours d'eau, seul de petits travaux peuvent être lancés notamment sur la végétation.

Pour la Durance, les changements de lit très réguliers et les débits qui fluctuent de manière non naturelle rendent pratiquement tous projets irréalisables. En effet, la Durance n'avait pas du tout les mêmes débits, hauteur d'eau et lit d'écoulement entre le mois de mars (premières sorties terrain) et le mois de juillet. Les débits étaient plus faibles au mois de mars qu'au mois de juillet et certaines annexes se sont déconnectées en quelques mois à cause du changement de lit de cette rivière.

De ce fait, les Qref pour le Rhône et la Durance semblent très faibles car les valeurs de débits varient constamment en fonction des lâchers de barrage, ce qui complique la compréhension de l'hydrologie des différents sites.

6 Conclusion

Face à la déconnexion des annexes hydrauliques, l'intervention de l'homme afin de reconnecter ces milieux est nécessaire. Cependant il n'est pas judicieux de vouloir intervenir sur toutes les annexes hydrauliques, en effet certains travaux peuvent être inefficaces à cause des changements lits mineurs fréquents, de l'accumulation de sédiments au fil des années, et peuvent même détruire des habitats bénéfiques à d'autres espèces. En effet, avant de lancer des travaux il convient d'appréhender le fonctionnement du site, ses facteurs limitants, son environnement et ce, bien souvent sur plusieurs années afin d'apporter une réponse adaptée suivant chaque annexe.

Sur les 9 annexes recensées et notées sur le Rhône et 11 sur la Durance seulement 3 annexes ont fait l'objet d'un diagnostic approfondi dans le but de proposer des aménagements. En effet, de nombreuses zones sont très difficiles d'accès et impossibles à étudier du fait de la profondeur des annexes, de leurs inaccessibilités, ou de leurs surfaces trop importantes.

Pour l'annexe de Pont Saint-Esprit et l'annexe DR05, l'accumulation de sédiments empêchait de connecter l'annexe au Qref, ainsi des travaux de terrassement sont proposés afin de retrouver une hauteur d'eau entre 20 cm et 1 m pendant 40 à 60 jours consécutifs (Chancerel, 2003). Cependant, il est important de faire d'avantages d'études sur les espèces protégées (présence de castor) et envahissantes (amorphe buissonnante) afin d'éviter tous dégâts. De plus, il est nécessaire d'approfondir les analyses au niveau du transport sédimentaire sur les annexes de Pont-Saint-Esprit et DR05 avant d'effectuer des travaux, pour anticiper de potentielle érosion ou de nouveau comblement.

La restauration du Rhône est principalement engagée par la CNR qui a plutôt une approche fonctionnelle du milieu. La Fédération de pêche est complémentaire pour répondre à l'enjeu biologique notamment l'aspect piscicole qui n'est pas forcément prise en compte. Des études plus poussées sur plusieurs années sont donc indispensables, ainsi qu'une collaboration avec les différents acteurs CNR et EDF pour espérer mener à bien certains projets. En effet, la CNR a pour projet d'enlever deux digues au niveau de la lône de la Désirade afin de la reconnecter complètement, il serait donc important que la Fédération de pêche puisse apporter son point de vue piscicole lors des travaux.

Il est nécessaire de garder à l'esprit aussi que malgré l'impact positif indéniable de ces projets de restauration, ces interventions restent modestes et temporaires et ne peuvent se substituer à une dynamique fluviale en bonne santé.

Résumé

Le Rhône et la Durance ont subi ces dernières années de fortes pressions anthropiques. Ces altérations ont causé de nombreux problèmes perturbant la dynamique naturelle des annexes hydrauliques et provoqué une diminution des populations de brochets en raison de la fragmentation de leurs zones de reproduction. Ainsi, une intervention humaine afin de reconnecter ces environnements est nécessaire. C'est pourquoi la Fédération de Pêche souhaite intervenir dans l'environnement afin d'améliorer la reproduction du brochet et de toutes les autres espèces qui l'entourent. En effet, le brochet est une espèce phare donc l'amélioration de son habitat améliore de nombreux autres facteurs favorables à des milliers d'autres espèces.

Durant ce stage, de nombreuses annexes ont été prospectées puis notées afin de voir leur fonctionnalité par rapport à la reproduction du brochet et leur potentiel de restauration. Puis un choix de trois annexes a été effectué (deux sur la Durance et une sur le Rhône). Sur ces annexes, un diagnostic est réalisé sur leur fonctionnement hydrologique, leur végétation et leur topographie. Les deux principaux problèmes rencontrés sont l'hydrologie (des crues puissantes et des débits instables) et sédimentaire (déconnexion des annexes par accumulation de sédiments). Après étude et en prenant en compte ces différents facteurs, des propositions de restauration ont été réalisées. Pour reconnecter les annexes, des terrassements ont été proposés à partir de modélisation sous HECRAS afin d'obtenir une hauteur d'eau suffisante (entre 20 cm et 1m) pendant au moins 40 jours par an au Qref. Pour la végétation différentes plantes favorables sont laissées ou plantées et d'autres défavorables sont enlevées.

Cependant, sur ce genre de cours d'eau puissants, il est nécessaire d'effectuer plus d'études notamment au niveau du transport sédimentaire et de l'hydrologie pour mener des projets durables.

Abstract

The Rhône and the Durance have undergone strong anthropogenic pressures in recent years. These alterations have caused many problems disrupting the natural dynamics of the hydraulic annexes and caused a decrease in pike populations due to the fragmentation of their breeding areas. Thus, human intervention in order to reconnect these environments is necessary. This is why the Fishing Federation wants to intervene in the environment in order to improve the reproduction of pike and all the other species around it is for this purpose that this course was carried out. Indeed, the pike is a landmark species therefore improving its habitat improves many other factors favorable to thousands of species.

However, it is not wise to want to intervene on all the hydraulic annexes, indeed some works can be ineffective because of frequent minor bed changes, the accumulation of sediments over the years, and can even destroy habitats beneficial to other species. Indeed, before starting work, it is important to understand the operation of the site, its limiting factors, its environment, often over several years in order to provide an appropriate response according to each annex.

During this internship, to improve the areas for the reproduction of pike, various studies were carried out. In particular on hydrology, topography and vegetation. These are the three most important factors before embarking on any work. Thus, development proposals have been proposed. However, more studies, resources, research and collaboration between the different actors are needed before starting work on this kind of unpredictable and powerful watercourse.

Bibliographie :

- ACTU-ENVIRONNEMENT. Définition de Espèce parapluie. Actu-Environnement. Available at https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/espace-parapluie.php4. Accessed February 18, 2021. Actu-environnement.
- AMOROS, C. and PETTS. 1993. Hydrosystèmes fluviaux. 300.
- ATEN. 1998. Atelier technique des espaces naturels.
- CDR EEE. 2016. Base d'information sur les invasions biologiques en milieux aquatiques. Centre de ressources Espèces exotiques envahissantes. UICN France et Office français de la biodiversité.
- CHANCEREL, F. 2003. Le Brochet Biologie et Gestion. Fontenay-Sous-Bois : Conseil Supérieur de la pêche, 199p p.
- CNR. 2017. Réhabilitation hydro-écologique des lônes de la Grange Ecrasée, des Dames et du Banc Rouge.
- CNR. 2020. Lutte contre les espèces exotiques envahissantes : CNR et ARBEAUSOLUTIONS en première ligne avec la dévitalisation écologique, une technique innovante. 2.
- COTTET, M., and H. PIEGAY. 2013. Diversité des savoirs relatifs aux milieux aquatiques : quels impacts pour la restauration écologique ? Le cas des bras morts du Rhône et de l'Ain. Géocarrefour. 15–30.
- CPIER. 2015. Contrat de Plan Interrégional Etat Régions (CPIER), 2015-2020. 82.
- DUBOST, and VAUCLIN. 2004. Etude des déplacements et des migrations du Brochet (*Esox lucius* L.) par radiopistage dans l'Il (1997-2000). Bureau d'études DUBOST Environnement, 57p.
- EAUFRANCE, U. Annexe hydraulique | Economie. Available at <http://www.economie.eaufrance.fr/content/annexe-hydraulique>. Accessed May 11, 2021.
- EUROPEANWATER. 2017. Barrages et hydroélectricité de la Durance. Available at <http://europeanwater.org/fr/ressources/rapports-et-publications/740-barrages-et-hydroelectricite-de-la-durance>. Accessed March 3, 2021.
- FDAAPPMA03. 2018. Evaluation de la fonctionnalité des annexes hydrauliques du Val d'Allier pour l'espèce brochet. 63.
- FDAAPPMA33. 2009. Inventaire des frayères à Brochets en Gironde " Evaluation de leur fonctionnalité" Tranche 1-Territoires Médoc et Nord Gironde [Rapport]. Lille : FDAAPPMA 59. 274p.
- FDAAPPMA54. 2018. Etude de faisabilité de deux annexes hydrauliques à Flavigny-sur-Moselle. 39p.
- FNPF. 2014. Guide technique pour la restauration des frayères à brochet. 24p.
- FRANKLIN, D. R., and L. L. SMITH. 1963. Early Life History of the Northern Pike, *Esox lucius* L., with Special Reference to the Factors Influencing the Numerical Strength of Year Classes. Transactions of the American Fisheries Society. 92: 91–110.
- FRIED, G. 2012. Guide Des Plantes Invasives, Belin. Paris.
- IIBSN. 2012. IIBSN / restauration et renaturation des berges de la Sèvre niortaise (DPF) entre Coulon et le pont d'Irleau. 17.
- KEITH, P., N. POULET, G. DENYS, T. CHANGEUX, É. FEUNTEUN, and H. PERSAT. 2011. Les poissons d'eau douce de France.
- LANOISELEE, B., R. BILLARD, and G. DE MONTALEMBERT. 1986. Organic fertilization of nursery ponds for pike (*Esox lucius*). Aquaculture of Carp and Related Species. 54: 141–147.
- LAURENCEAU, M., and F. MOLLE. 2019. Controverses environnementales et arbitrages politiques : les logiques d'action du système Étang de Berre/Basse-Durance. VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement.
- LEGIFRANCE. 1988. Arrêté Du 8 Décembre 1988 Fixant La Liste Des Espèces de Poissons Protégées Sur l'ensemble Du Territoire National.
- LEGIFRANCE. 2008. Arrêté Du 23 Avril 2008 Fixant La Liste Des Espèces de Poissons et de Crustacés et La Granulométrie Caractéristique Des Frayères En Application de l'article R. 432-1 Du Code de l'environnement.

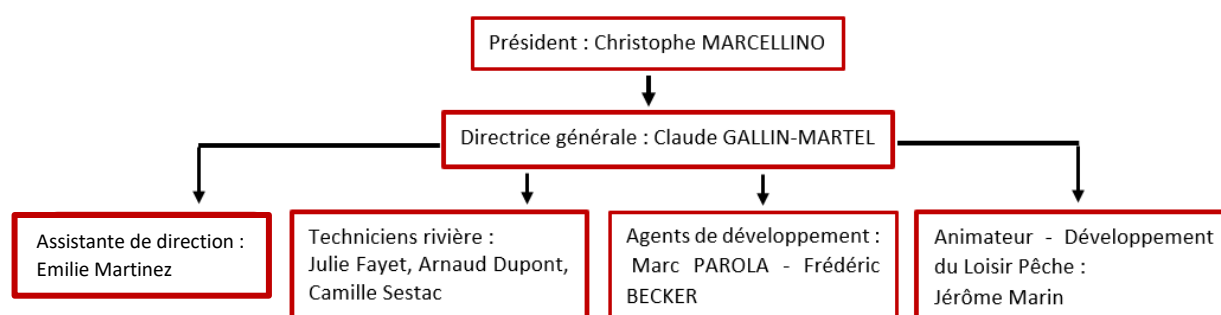
- MACHNIAK, FISHERIES AND MARINE SERVICE, and K. CANADA. 1975. Effects of Hydroelectric Development on the Biology of Northern Fishes (Reproduction and Population Dynamics): 2. Northern Pike *Esox Lucius* (Linnaeus), a Literature Review and Bibliography.
- MANELPHE, J. 1989. Reproduction naturelle aménagée du brochet (*Esox lucius*) en petits étangs : suivi biologique et aspects économiques de la production de juvéniles. 174 f. p., 174 f. pp.
- MASTERS, J. E. G., J. S. WELTON, W. BEAUMONT, K. HODDER, A. C. PINDER, R. GOZLAN, and M. LADLE. 2002. Habitat utilisation by pike *Esox lucius* L. during winter floods in a southern English chalk river. *Hydrobiologia*. 483: 185–191.
- PHILIPPART, J.-C. 2003. Biodiversité et Biologie des Populations de Poissons dans la Meuse belge. Cas des espèces en phase de reconstitution-restauration démographique et des espèces allochtones en voie de naturalisation.
- PIERSON, A. 2017. Atlas des annexes fluviales de la garonne.
- PLAN RHONE. 2015. Plan Rhône-Saône. Stratégie pour la reconquête du fonctionnement des zones humides sur 2015-2020. 18p.
- PREVOST, J. 2020. La minute écologique : les espèces parapluies au secours de la nature. Geo.fr. Available at <https://www.geo.fr/environnement/la-minute-ecologique-les-especes-parapluies-au-secours-de-la-nature-200443>. Accessed February 18, 2021.
- PUISSAUVE, R. 2012. Le Brochet, *Esox lucius* Linnaeus, 1758 Fiches d'information sur les espèces aquatiques protégées. 4.
- TARIFARTISAN. 2020. Prix d'un terrassement : tarifs 2021 en détails | TarifArtisan.fr. Available at <https://www.tarifartisan.fr/prix-terrassement/>. Accessed August 17, 2021.
- UICN. 2019. La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Poissons d'eau douce de France métropolitaine. Paris, France.
- VERNEAUX, J. 1981. Les poissons et la qualité des cours d'eau. *Annales scientifiques de l'université de Franche-Comté Besançon*: 33 - 41.
- WARD, J. V. 1989. The Four-Dimensional Nature of Lotic Ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*. 8: 2–8.
- WISCONSIN, DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES, and D. M. FAGO. 1976. Northern Pike Production in Managed Spawning and Rearing Marshes.

Annexes

Présentation de la structure d'accueil

La Fédération de Vaucluse pour la pêche et la protection du milieu aquatique existe depuis le 10 juillet 1942. Depuis 2006, celle-ci est située à l'Isle sur la Sorgue, au siège des Fontanelles. Cette association est dirigée par un conseil d'administration constitué d'élus, et d'une équipe de huit salariés. Elle regroupe une vingtaine d'Associations Agréées de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques (AAPPMA) ainsi qu'une vingtaine d'Amicales de pêcheurs. Ses missions sont le suivi et la protection des milieux aquatiques, la gestion de la ressource piscicole, la promotion et le développement du loisir pêche, les animations Pêche & Nature, la surveillance de la pêche et l'application de la loi, les pêches électriques et les inventaires piscicoles (Pêche Vaucluse 2020)

Organigramme de la fédération de pêche du Vaucluse :



Présentation du déroulé de la mission

La mission s'est déroulée en plusieurs phases résumés dans un tableau ci-dessous :

2021	Mi-Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Mi-Aout
Phase 1 : recherches bibliographiques	Bibliographie						
	Recherche de zones potentielles (Geoportail)						
Identification des zones	Prospection terrain et identification de zones, classification des zones suivant leurs fonctionnalités + Cartographie						
Diagnostic des zones		Hydrologie du cours d'eau (hauteur d'eau)	Etude floristique		Cartographie		
		Localisation et morphologie de l'annexe	Altimétrie		Hydrologie (hauteur d'eau)		
Préconisation de travaux						Etude de faisabilité et rédaction d'actions	
Rédaction rapport					Rédaction		

Présentation des livrables de la mission

Toutes les données récoltées sont transmises à la Fédération de pêche du Vaucluse notamment les différentes notes détaillées pour chaque annexe (Annexe 4), les relevés topographiques, de végétation et les différentes modélisations et la méthodologie employée.

Exemple de rendu pour la topographie (DR05) :

Transect 1	Transect 2	Transect 3	Transect 4	Transect 5	Transect 6	Transect 7	Transect 8	Transect 9	Transect 10	Transect 11	Transect 12	Transect 12
100	99.85	99.74	99.88	99.44	99.24	99.84	100.04	100.36	99.784	99.48	97.63	97.63
99.86	99.77	99.76	99.62	99.61	99.35	99.63	99.84	99.76	99.49	99.47	99.72	97.75
98.42	98.16	98.74	98.34	98.52	98.85	99.16	99.62	99.04	99.14	99.14	99.755	97.79
98.405	98.19	98.18	98.18	98.81	98.48	98.14	100.005	98.94	98.82	98.43	99.855	97.91
98.58	98.34	98.23	98.17	98.36	98.82	99.12	100.07	99.33	98.96	98.295	99.9	97.95
98.61	98.9	98.23	98.54	98.34	99.13	99.34	99.94	99.43	99.4	98.425	99.98	98.02
99.8		98.215	98.18	98.75	98.82	99.315	99.55	99.46	99.34	98.62	100.03	98.08
		98.89	97.44	98.58	98.89	99.175	99.47	99.34	99.12	98.68	100.09	98.14
			98.58	98.8	98.29	99.1	99.2	98.86	99.13	98.62	100.14	98.19
			99.01	98.2	98.2	99.355	99.67	98.83	99.03	98.59	100.2	98.25
				97.94	98.74	99.29	99.82	99.27	99.14	98.65	100.29	98.34
				98.29	98.39	98.86	99.89	99.04	99.16	98.75	100.39	98.44
				98.33	98.36	98.7	100.01	98.99	99.17	98.73	100.44	98.49
				99.49	99.5	98.515	99.4	99.18	99	98.61		
				99.44	99.24	98.5	100.04	99.22	99.07			
						98.98	101.04	99.37	99.06			
						99.16		99.24	98.87			
						99.03		99.49	98.72			
						98.72		99.59				
						99.48		99.52				
						99.99		99.46				
								99.41				
								99.04				

Projection dans un futur métier

Cette étude m'a permis d'avoir un regard plus critique sur la difficulté de mettre en place certains aménagements. En effet, la partie administrative représente une part très importante dont il faut faire preuve de rigueur notamment au niveau de la demande de subventions, ou d'études nécessitant l'accord de différents particuliers ou organismes. Les métiers consacrés à la restauration de l'environnement me plaisent particulièrement car ils ont un sens et une utilité. En effet, même s'il existe beaucoup de limites à certains projets de restauration, il reste bien souvent plus qu'essentiel et permettent d'améliorer le milieu. C'est pour cela que c'est dans cette branche que j'aimerais me projeter. Ainsi le stage effectué à la fédération de pêche du Vaucluse a bien correspondu à mes attentes même si malheureusement ces deux cours d'eau n'ont pas été simple à étudier.

Annexe 1 (Chancerel, 2003) : Taux de survie des œufs suivant les milieux

Ordre de grandeur des taux de survie depuis l'œuf				Mortalité du stade œuf à la première reproduction	Renouvellement potentiel des femelles à la première reproduction (nombre de filles de 3 ans pour une mère)
	Œuf → Brochetons migrants de 6 à 8 semaines → 1 an 150 g → Adultes 45 cm/600 g ± 3 ans				
Milieux aménagés protégés et gérés (élevage)	10%	5%	1,5%	98,5%	99
Milieux naturels fonctionnels neufs (sans prédateurs)	5%	2%	0,5%	99,5%	33
Milieux naturels fonctionnels de bonne qualité	2%	0,5%	0,1 %	99,9%	7
Milieux naturels peu favorisés ou dégradés	< 0,3%	< 0,05%	< 0,005%	> 99,99%	< 0,3
	Très dépendant de la qualité des frayères	Très dépendant de la qualité des habitats (nursérie)		Ces mortalités en apparences fortes offrent en fait des possibilités de recrutement très élevées lorsque les conditions sont bonnes	Les milieux fonctionnels autorisent un prélèvement important sans conséquence sur le renouvellement de la population

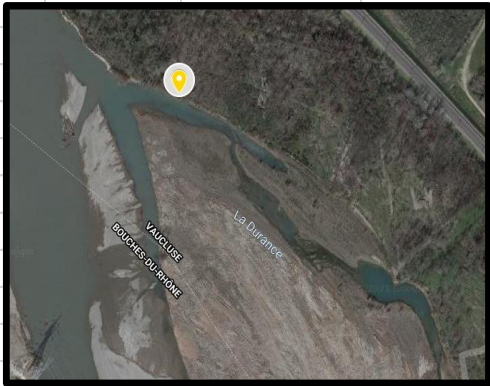
Annexe 2 : Tableau des exigences écologiques du brochet pour la reproduction

Les exigences écologiques du brochet pour la reproduction	
Les 6 points essentiels d'une bonne frayère :	Détails
1-Frayères accessibles	-Bonne connectivité latérale (entrée et retour) -En eau durant la période de reproduction
2-Milieu lentique, peu profond et suffisamment grand	-Vitesse < 5 cm/s -Hauteur d'eau : entre 20 cm et 1m d'eau pendant au moins 40 jours consécutifs de février à fin mars -Pente douce -Taille SFR (Surface Fonctionnelle de Reproduction) > 1000 m ²
3- Paramètres physico-chimiques	-Température entre 6 et 12°C -pH entre 5 et 9 -Oxygène : > 3 mg/l et < 7 mg/L - Eau claire : transparence > 0,7 m
4- Une végétation adéquate	-Une végétation de type herbacée : dense, courte et dressée de type carex (voir Annexe : végétation favorable ou non) -Rôle de la végétation : diminue le cannibalisme, la prédation excessive par les oiseaux et qui améliore l'efficacité de la prise de nourriture. -Recouvrement optimal par la végétation aquatique : 60%
5-Un milieu ouvert au rayonnement lumineux	-Milieu ouvert pour favoriser le réchauffement rapide de l'eau et la végétation par photosynthèse. -Température optimale : 8 à 10°C. -Favorise les plantes herbacées - Peu favoriser une bonne production de plancton
En eau 2 ou 3 années sur 5	-Afin d'éviter tous problèmes de cannibalisme.

Annexe 3 : Exemple de fiche terrain utilisé lors de la prospection des annexes

Fédération de pêche 84		FICHE TERRAIN					
N° fiche :	Date	Heure :	Nom du site:	Commune :	X :	Y :	
Périmètre de conservation		☐ N2000	☐ RNR ☐ ZNIEFF	☐ ENS	☐ Autres	☐ Aucun	
Type d'annexe	☐ Chenal secondaire	☐ Fossés	☐ Bras mort	☐ Prairie	☐ Marais		
	☐ Morte	☐ Zone anthropisée					
En eau	☐ Oui	☐ Non					
Hauteur d'eau,	Connexion :		Dans l'annexe :				
Miroir d'eau en m2:							
Occupation de la surface mouillée par les végétaux							
	Nulle (<5%)	Faible (5 à 25%)	Moyenne (25 à 50%)	Forte (>50%)			
Graminées							
Hélophytes							
Hydrophytes							
Arbres							
EEE							
Fonctionnalité de l'annexe hydraulique pour la reproduction du brochet							
Surface potentielle de la frayère en m2	0 (<50)	1 (50 à 200)	2 (200 à 600)	3 (600 à 1000)	4 (>1000)		
Densité de végétaux (graminées + hélophytes) (%)	0 (0-5%)	1 (5-15%)	2 (15-30%)	3 (30%-50%)	4 (> 50%)		
Communication avec le cours d'eau	0 (nulle)	1 (faible)	2 (moyenne)	3 (bonne)	4 (très bonne)		
Ensoleillement de l'annexe	0 (nul)	1 (moyen)	2 (bon)				
Profondeur moyenne (m)	0 (<0,1) ou (>1)	1 (0,1 à 0,25)	2 (0,25 - 1 m)				
Impact ouvrage à l'aval ou à l'amont (m)	0 (Impact)	1 (moyen)	2 (Impact limité)				
Pente des berges	0 (forte > 5%)	1 (Moyenne 2-4%)	2 (faible < 2%)				
Turbidité	0 (Forte)	1 (Moyenne)	2 (Nulle)				
Note fonctionnalité							/22
Potentiel/ Coûts de restauration							
Accessibilité de la zone par les engins	0 (mauvais)	1 (bonne)					
Travaux sur la végétation	0 (fort)	1 (moyen)	2 (faible)				
Travaux de terrassement	0 (fort)	1 (moyen)	2 (faible)				
Note couts de restauration			/5	Note finale			/27
Observations complémentaires : EEE (terrestre/aquatiques), pollution, piétinement, présence de géniteurs, d'autres espèces..							

Annexe 4 : Exemple de la notation d'une annexe et du rendu d'une fiche terrain complétée.

DR09	16-mars	Bras mort	X	Y				
			43.8679818	4.9765025				
Photo :					Inventaire	Topo		
					X			
Occupation de la surface mouillée par les végétaux								
	Nulle (<5%)	Faible (5 à 25%)	Moyenne (25 à 50%)	Forte (>50%)				
Graminées			X					
Hélophytes			X					
Hydrophytes	X							
Arbres	X							
EEE								
En eau	Oui							
Fonctionnalité de l'annexe hydraulique pour la reproduction du brochet								
Surface potentielle de la frayère en m2	0 (<50)	1 (50 à 200)	2 (200 à 600)	3 (600 à 1000)	4 (>1000)			
Couverture de végétaux (graminées + hélophytes)	0 (0-5%)	1 (5-15%)	2 (15-30%)	3 (30%-50%)	4 (> 50%)			
Communication avec le cours d'eau	0 (nulle)	1 (faible)	2 (moyenne)	3 (bonne)	4 (très bonne)			
Ensoleillement de l'annexe	0 (nul)	1 (moyen)	2 (bon)					
Profondeur moyenne (m)	0 (<0,1) ou (>1)	1 (0,1 à 0,25)	2 (0,25 - 1 m)					
Impact ouvrage à l'aval ou à l'amont (m)	0 (Impact)	1 (moyen)	2 (Impact limité)					
Pente des berges	0 (forte > 5%)	1 (Moyenne 2-4%)	2 (faible < 2%)					
Turbidité	0 (forte)	1 (Moyenne)	2 (Nulle)					
Note fonctionnalité						20	/22	

Annexe 5 : Méthode de calcul pour l'Aire de différence entre le transect restauré et final (ZWCAD)

Les coordonnées des transects initiaux et restaurés (HECRAS) sont copiés sous Excel. Puis une concaténation est effectuée pour obtenir une chaîne (X,Y,Espace) qui sera reconnue par ZWCAD ou AUTOCAD pour l'insertion de points (l'espace après X et Y sert à dissocier les points successifs)

	A	B	C
1	stance_cumul	Altitude	
2	0	1.2	)
3	2	1	2,1
4	2.5	0.3	2.5,0.3
5	5	0.1	5,0.1
6	7.5	0.4	7.5,0.4
7	8	1.1	8,1.1
8	10	1.3	10,1.3

Sur le répertoire de travail on crée un fichier texte dans lequel on copie les données concaténées de type « X,Y,espace » (on aura effectué au préalable un Copier/Coller valeurs sous EXCEL)

*Nouveau document texte - Bloc-notes

Fichier Edition Format Affichage Aide

0,1.2
2,1
2.5,0.3
5,0.1
7.5,0.4
8,1.1
10,1.3

Les données sont ensuite copié/collé sous ZWCAD avec la fonction Dessin/Points/Points multiples.

Puis l'outil « Aire » permet de calculer une différence d'aire en superposant les transects avant et après restauration.

