
Rapport de stage individuel :

4^{ème} année Ingénierie des Milieux Aquatiques

Etude de la continuité écologique du bassin versant de l'Ouvèze (84) à l'aide du protocole ICE

Fédération de pêche de Vaucluse
575 Chemin des Fontanelles, 84800 L'Isle-sur-la-Sorgue



Tuteur entreprise :
Julie FAYET
Technicienne de rivière

Tuteur académique :
Michel BACCHI

Julien BOCCHINO
22013056 (t)
IMA
2021-2022

Remerciement

Je tenais tout d'abord à remercier toute l'équipe de salariés de la Fédération de pêche de Vaucluse pour m'avoir accueillie et pour m'avoir fait découvrir leur corps de métier.

Je suis vraiment reconnaissant que la Fédération de Vaucluse m'ait formé en tant que stagiaire. Je voulais vraiment découvrir ces structures et savoir si cela pouvait me correspondre pour un futur métier.

J'ai une pensée toute particulière pour Valentin et Quentin qui ont aidé cette étude lors de la phase terrain. Leur motivation et leur intérêt ont permis que tout se passe très bien et dans le temps. Pour toutes ces raisons, je tenais à leur exprimer mes remerciements.

Je voulais aussi remercier Fanny Alix de MRM et Thomas Lamberet du SCE pour avoir pris le temps de donner les informations qu'ils avaient en raccord avec ce stage. Ces données ont vraiment permis de compléter l'analyse.

J'aimerais terminer ces remerciements par Julie Fayet qui a été m'a maitre de stage. Elle a d'abord porté et trouvé les financements pour ce projet. Elle m'a aussi permis de participer à ce stage passionnant et sur une rivière emblématique qui confirme vraiment une volonté de travailler dans l'étude des milieux aquatiques.

Sommaire

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| Introduction | 1 |
| I- Contexte général de l'étude | 2 |
| II- Matériel et méthode | 8 |
| III- Résultat | 16 |
| IV- Discussion | 24 |
| Conclusion..... | 29 |

Introduction

« Dans les rivières françaises, il y a en moyenne un obstacle à l'écoulement tous les 5 km, soit plus de 100 000 » (Eau France, 2020). S'il y en a autant, c'est parce que de nombreux usages leur sont associés comme l'utilisation de la force motrice de l'eau, la dérivation des écoulements, la protection contre les crues, le stockage de l'eau et la stabilisation du lit de la rivière. Néanmoins, beaucoup d'entre eux n'ont plus de réelle utilité économique, bien que leur présence induise encore une modification du fonctionnement naturel des cours d'eau.

Tout d'abord, les ouvrages transversaux dégradent la qualité des milieux aquatiques à travers l'effet de retenue. En effet, ils modifient la pente de la rivière réduisant les vitesses d'écoulement et formant une zone lentique à l'amont de l'obstacle. Les dépôts de sédiments sont alors favorisés et sont moins restitués à l'aval ce qui entraîne un déficit sédimentaire. Or, les flux de sédiments sont indispensables pour l'équilibre morphodynamique des rivières et pour la stabilisation des habitats. De plus, les paramètres physico-chimiques sont eux aussi directement impactés par la formation d'une retenue à l'amont, puisque les écoulements sont homogénéisés et l'eau se réchauffe plus vite (SDAGE Loire-Bretagne, 2017).

Le deuxième effet majeur provoqué par les obstacles est la fragmentation des habitats et des populations. Ce phénomène implique que les espèces aquatiques n'ont pas toujours les capacités physiologiques pour franchir un ouvrage et leurs déplacements sont alors bloqués. Cependant, des migrations sont parfois nécessaires, comme lors des périodes de reproduction de certaines espèces piscicoles qui ont besoin de remonter les rivières sur plusieurs kilomètres pour trouver des frayères adéquates.

Pour les écosystèmes aquatiques, les notions de transport sédimentaire et de fragmentation sont directement liées. L'un permet de créer et de stabiliser des habitats propices aux organismes vivants et l'autre permet un accès aux différents tronçons d'une rivière pour se développer ou se reproduire. Ces notions sont regroupées à travers le terme de continuité écologique et ce paramètre est indispensable pour la résilience et le bon fonctionnement des milieux aquatiques.

L'Ouvèze provençale et ses affluents font parties des cours d'eau qui ont une continuité écologique dégradée à cause des activités anthropiques. Dans l'optique de retrouver un bon état sur ces masses d'eau, la Fédération de pêche de Vaucluse et les acteurs autour de ce bassin versant ont décidé de faire une étude ICE (Information sur la Continuité Ecologique) afin de vérifier la franchissabilité des ouvrages à travers les peuplements piscicoles (ICE, 2014).

L'objectif est d'analyser les perturbations sur les migrations grâce à des espèces piscicoles qui ont été sélectionnées pour leur intérêt de protection. Cette étude permettra de mettre en évidence les obstacles qui empêchent la libre circulation des espèces ciblées. A terme, des plans de gestion pourront être mis en place pour améliorer le franchissement des ouvrages les plus impactant. Cependant, avant cela il faut répondre à la question : Comment les ouvrages transversaux du bassin versant de l'Ouvèze provençale perturbent les déplacements des poissons et dégradent la qualité du milieu ?

I- Contexte général de l'étude

1)- Présentation de l'organisme d'accueil

a) Les Fédérations départementales pour la pêche et la protection du milieu aquatique (FDPPMA)

Les FDPPMA sont des associations d'utilité publique. Tout d'abord, elles permettent le développement et la promotion de la pêche de loisir à travers différentes actions comme l'initiation à la pêche et la sensibilisation aux milieux aquatiques. Les fédérations contrôlent cette activité à l'aide d'agents de développement chargés de faire appliquer la loi pêche. Elles s'occupent aussi de la gestion halieutique avec le rempoissonnement d'individus maillés ou en soutien à la population.

La deuxième mission d'envergure est la protection des milieux aquatiques. Le but est d'entreprendre des actions pour diagnostiquer et améliorer l'état des peuplements piscicoles. Elle se charge de réaliser des inventaires de pêches, des études sur les habitats et des travaux de restauration.

Les fédérations de pêche travaillent à l'échelle départementale, ce qui permet d'avoir une bonne connaissance du territoire et des problématiques associées. En complément, les AAPPMA¹ aident à la gestion d'un domaine de pêche et contribuent à son amélioration, en accord avec la fédération où elle est rattachée. Il existe aussi des alliances à l'échelle régionale et des grands bassins afin que les actions entreprises soient cohérentes entre elles. C'est la FNPF², créée en 2006, qui s'occupe de coordonner toutes les entités au niveau national.

b) La Fédération de Vaucluse

La FDPPMA 84 s'occupe d'un territoire de plus de 2 600 km de cours d'eau et 700 ha de milieux lacustres, tous répartis sur 24 bassins versants. De plus, 400 kilomètres de rivières sont classés en 1^{ère} catégorie piscicole.

Elle fédère 20 AAPPMA pour les aider à dynamiser le loisir de pêche et la connaissance des milieux aquatiques. La Fédération contient 8 salariés (**Organigramme annexe 1**).

Le Vaucluse est un département avec de nombreux enjeux piscicoles. Il est attractif pour les poissons migrateurs dû à sa proximité avec le Rhône, et il jouit d'une richesse méditerranéenne qui est menacée par les activités anthropiques. De nombreux enjeux humains et environnementaux rentrent en contradiction, parmi eux, la présence d'ouvrages transversaux.

2)- La notion de continuité biologique

a) La migration des poissons

Les poissons sont amenés à se déplacer dans un cours d'eau pour accéder à différents habitats afin de se reproduire, de s'alimenter et de se protéger. Ainsi, pour remplir pleinement leur cycle de vie la libre circulation entre les différents tronçons d'une rivière est indispensable (ICE, 2014).

C'est notamment l'accès aux frayères qui est nécessaire. Effectivement, les poissons migrateurs amphihalins, telles que les aloses ou les lamproies, alternent des phases en milieu marin puis d'eau douce. Ils ont besoin d'une bonne continuité pour transiter sur plusieurs centaines de kilomètres de cours d'eau afin d'y trouver des zones de frais ou d'habitats pour se développer.

¹ AAPPMA : Associations Agréées pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

² FNPF : Fédération Nationale de la Pêche en France

Les populations des migrateurs amphihalins ont considérablement diminué depuis la construction des grands barrages qui ont bloqué l'accès aux frayères. L'anguille européenne a perdu 90% de ses effectifs depuis les dernières décennies dans le bassin méditerranéen (Crivelli & Hermeloup, 2013). Différents facteurs anthropiques sont à mettre en cause pour expliquer cette baisse mais le cumul d'ouvrage infranchissable est un des principaux.

Même les poissons holobiotiques, c'est-à-dire les espèces qui accomplissent tout leur cycle biologique dans les eaux douces, peuvent avoir besoin d'entreprendre des migrations longitudinales ou latérales, afin de trouver la température, la profondeur et le substrat adéquat pour frayer. A titre d'exemple, le brochet peut se déplacer sur de longues distances pour trouver un milieu lentique et riche en végétation immergée comme des plaines inondées ou des annexes hydrauliques (Keith, Persat, Feunteun & Allardi, 2014).

Ensuite, les crues sont un facteur environnemental qui force les poissons à se déplacer vers l'aval. Cette dérive peut entraîner les populations sur de longues distances. Quand les conditions hydrauliques sont plus favorables, les adultes remontent vers leur zone d'habitat d'origine. Pour les alevins, la dérive est indispensable car cela permet de disperser les populations et de favoriser le brassage génétique.

b) La fragmentation des habitats aquatiques

Dès lors que la continuité écologique n'est pas assurée à cause des ouvrages transversaux, c'est tout le cycle biologique des poissons qui est perturbé. En effet, un cours d'eau fait partie de tout un réseau composé de petits ruisseaux, de grands fleuves, d'annexes hydrauliques, et tous ces éléments font partie d'un ensemble qui sont connectés et évoluent constamment créant toute une mosaïque d'habitat. Néanmoins quand les connexions sont bloquées par une barrière physique, les organismes vivants n'ont plus accès à toute cette richesse qui permet leur diversité et leur quantité.

Les peuplements piscicoles sont alors fragilisés parce qu'ils ont plus de difficultés à se nourrir, à se reproduire ou à se protéger. Le taux de mortalité est alors augmenté et la production d'alevins est diminuée.

La fragmentation des habitats provoque aussi la séparation des populations d'une même espèce et elles ne reproduisent plus entre elles. Par conséquent, il y a moins ou aucun échange de gènes entre les différentes populations et la diversité génétique est alors menacée. Or, le brassage des gènes est important car ça correspond à la capacité adaptative des poissons (Baggio, Araujo, Ayllón & Boeger, 2018).

A la dévalaison, les hauteurs de chutes couplées à des encombres (blocs de pierre, débris ligneux...), peuvent blesser ou tuer les poissons lorsqu'ils essaient de descendre. Les turbines ou les équipements des ouvrages augmentent aussi le taux de mortalité.

Quand bien même, il y aurait un taux de survie de 95% lors de la descente d'un obstacle, c'est le cumul qui entraîne un taux de mortalité bien plus important en bout de chaîne (Steinbach, 2001). L'anguille est la plus touchée par le cumul des ouvrages parce que lors de sa maturité sexuelle, elle dévale toute la rivière pour aller se reproduire en mer.

De nos jours, les acteurs prennent en compte ce problème et essaient d'améliorer le taux de survie, en mettant par exemple des grilles pour empêcher les adultes de se retrouver dans les turbines.

Cependant, ce qui n'est pas encore pris en compte, c'est l'accentuation de la prédation en pied d'ouvrage. Les poissons sont souvent désorientés lorsqu'ils chutent d'un obstacle et les prédateurs tel que le silure (*Silurus glanis*) apprécient ces espaces pour y chasser afin d'améliorer leurs chances d'attraper une proie (Delmotte et al. 2015).

Comme la DCE³ impose aux acteurs de retrouver le bon état des milieux aquatiques, la continuité écologique doit être restaurée car fondamentale dans les écosystèmes. L'article L.371-1 de 2016 transcrit cette directive à travers la mise en place de la trame verte et bleue qui cherche à retrouver les connexions entre amont et aval tant au niveau biologique que sédimentaire.

Ce sont les SDAGE⁴ qui se charge de créer des outils et de planifier les actions de restauration à l'échelle des grands bassins versants. Les ouvrages posant le plus de dégradations devront être soit détruits soit équipés d'une passe à poissons qui facilite le franchissement.

3) - La continuité sédimentaire et la dégradation des milieux aquatiques

Les processus physiques et chimiques d'une rivière sont perturbés par les obstacles à l'écoulement. En effet, un cours d'eau est constamment en interaction avec son environnement que ce soit avec la rive, la ripisylve ou les organismes vivants. Ses interactions font que tout le long de son parcours, la rivière évolue à travers sa morphologie, sa composition chimique et les compartiments d'espèces. C'est la notion de continuum fluvial introduit dans les années 80 est préquel à la continuité écologique (Vannote, Minshall, Cummins, Sedell & Cushing, 1980). De plus, les têtes de bassin permettent la mobilisation d'une grande quantité de sédiments grossiers qui tout le long du parcours font s'éroder devenant de plus en fins.



Figure 1 : Retenue d'eau entièrement comblées (OM5)

Cependant, un seuil entrave tout le processus d'évolution naturel de la rivière à travers surtout le transport sédimentaire, puisque la réduction des vitesses d'écoulement favorise le dépôt de sédiments à l'amont. Ce phénomène est d'autant plus accru, si la retenue d'eau n'est totalement comblée (**Figure 1**), car les particules se retrouvent piégées et ne sont pas restituées à l'aval. Un déficit de sédiments se forme et c'est tout l'équilibre morphologique de la rivière qui est perturbé.

Or, la morphodynamique est le support pour la biologie parce qu'elle forme et stabilise les habitats (Dreal, 2013). Couplé à des dégradations hydrauliques et chimiques, la

qualité des habitats est perturbée et entrave l'atteinte du bon état écologique imposée par la DCE. Le **tableau 1** résume tous les paramètres physico-chimiques qui sont impactés par un obstacle.

Il n'y a pas que les ouvrages transversaux qui perturbent le transport sédimentaire. Les ouvrages longitudinaux comme les digues ou les empièvements, le perturbent tout autant. Puisqu'ils sont des points durs qui empêchent l'érosion des berges et les sédiments sont moins mobilisés accentuant le déficit.

Une passe à poissons résout la problématique de continuité biologique mais elle ne restaure pas la qualité des milieux aquatiques. Pour retrouver le bon état écologique, il faudrait araser l'ouvrage entièrement lorsqu'il n'a aucun enjeu économique ou que le rapport enjeux environnementaux et humains n'est plus favorable. Araser un ouvrage entraîne aussi des conséquences néfastes pour l'environnement comme la potentielle libération de polluants stockés dans le substrat (herbicide, mercure, métaux lourds...) (Magilligan, Nislow, Kynard & Hackman, 2016). Cependant, ce type de restauration aide à retrouver une biotypologie naturelle.

³ DCE : Directive Cadre sur l'Eau

⁴ SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

Tableau 1 : Les principales perturbations provoquées par la présence d'ouvrages transversaux

| Compartiment | Paramètre | Perturbation |
|------------------------------|------------------------|---|
| Continuité écologique | Transport sédimentaire | Ralentit les flux de sédiments à l'amont et déficit à l'aval |
| | Migration des espèces | Empêche le franchissement des poissons et fragmente la rivière |
| Hydraulique | Vitesse de courant | Passe d'un milieu lotique à lentique |
| | Diversité de faciès | Uniformisation des écoulements |
| Morphologique | Lit mineur | Déséquilibre et incision qui peut aller jusqu'à l'unichenalisation des cours d'eau en tresses |
| | Profil en long | Stabilisation et surélévation du profil en long |
| Physique | Température | Réchauffement de l'eau |
| | Colmatage | Dépôt de sédiments fins sur le substrat du lit par diminution de l'énergie du cours d'eau |
| | Turbidité | Développement de phytoplancton et de MES qui diminue la clarté de l'eau |
| | | |
| Chimique | Polluant | Stockage des polluants dans les sédiments à l'amont |
| | Oxygène dissous | Diminution globale de l'oxygène dissous |
| Habitat | Typologie naturelle | Les zones salmonicoles deviennent cyprinicoles |
| | Diversité d'habitat | Homogénéisation des habitats |

4)- La franchissabilité d'un ouvrage

La franchissabilité d'un obstacle dépend de plusieurs paramètres selon le type (seuil vertical ou incliné...), la configuration (présence d'une fosse d'appel, de redans...), la capacité biologique du poisson et les conditions hydrauliques.

a) La capacité biologique des poissons

Chaque poisson a une morphologie et des capacités physiologique propre à l'espèce et à sa taille. Ces différences font que certains seuils peuvent être franchissables ou non selon l'individu. Il existe 4 grands moyens pour franchir un ouvrage :

- La nage : Le poisson doit maintenir une vitesse de nage suffisamment rapide et suffisamment longtemps grâce à son endurance pour franchir l'ouvrage à contre-courant
- Le saut : Permet de sauter au-dessus d'une chute verticale. Les espèces sauteuses se limitent au saumon, à la truite, à l'ombre commun et au mulot
- Le burst and attach : Réalisé par les lamproies. Cela consiste en une succession de phases de petites nages rapides puis d'accrochages sur le substrat par la ventouse buccale
- La reptation : Capacité de l'anguille à ramper hors de l'eau et continue de respirer par voie cutanée

Le stade de développement des poissons est aussi un paramètre important à prendre en compte dans le franchissement. Les alevins ont une capacité de nage largement inférieure et ne peuvent pas sauter. Quant aux juvéniles et aux adultes ils sont bien plus efficaces et endurants. En règle générale, plus un individu est grand, meilleure sont ses capacités de franchissement.

Seules les civelles sont capables de franchir un ouvrage vertical grâce à la tension superficielle qui leur permettent de se maintenir sur une surface rugueuse. Les stades supérieurs perdent ensuite cette capacité à cause de l'augmentation de leur poids.

d) Le type d'ouvrage

Selon le type d'ouvrage, le mode de franchissement est différent. Pour les seuils verticaux et les vannes à écoulement en surverse (**Figure 2a**), un saut peut être effectué pour passer au-dessus de la chute verticale. Pour être efficace, il faut que la lame d'eau passant au-dessus du seuil aussi appelé charge, soit suffisamment profonde pour que le poisson puisse reprendre sa nage après sa réception.

Pour les espèces non sauteuses, elles peuvent traverser une chute verticale à la nage à condition que le seuil soit suffisamment effacé par les conditions hydrauliques.

Sur les seuils inclinés (**Figure 2b**), c'est la nage qui est utilisée. La hauteur d'eau aussi appelé tirant d'eau doit être suffisamment profonde afin que les poissons puissent librement nager sur le coursier, correspondant à la partie inclinée du seuil. Dans le cas contraire, l'obstacle sera infranchissable.

Les enrochements (**Figure 2c**) sont une sous-catégorie de seuil incliné. Les blocs disposés aux fonds du lit permettent de dissiper l'énergie de l'eau et le franchissement est facilité à condition que les tirants d'eau soient toujours compatibles.

Les vannes à écoulement en sousverse (**Figure 2d**) réduisent la section mouillée ce qui accélère les vitesses d'eau. Le risque est alors que la vitesse soit trop importante par rapport aux capacités de nage du poisson et ne permettent plus le franchissement. De plus, l'ouverture de la vanne doit être nécessairement plus grande que la hauteur du poisson pour le laisser passer.

Une vanne peut être non en charge, lorsqu'elle est totalement levée et n'est pas en contact avec l'eau. Dans ce cas, elle ne pose aucun problème à la continuité écologique. C'est seulement lorsque la vanne est en charge qu'il y a des perturbations.

Les buses, les radiers de pont ou les ponts-cadre sont regroupés sous l'appellation ouvrage routier et ferroviaire (**Figure 1e**). Ils sont susceptibles d'impacter la libre circulation des poissons à cause des tirants d'eau souvent trop faibles à l'intérieur, ainsi que des vitesses plus rapides dues à la faible rugosité. Les écoulements sont uniformes et empêchent le repos des poissons.

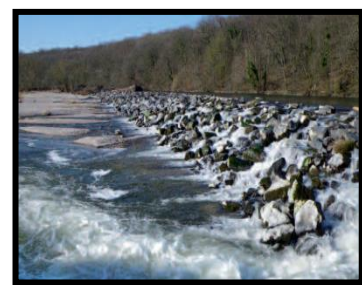
Ce type de structure peut également engendrer des changements brusques de luminosité et former des encombres à l'amont qui bloquent les écoulements.



(a) Seuil vertical
Source : bourbince.fr



(b) Seuil incliné
Source : Protocole ICE



(c) Enrochement
Source : Protocole ICE

(a) Seuil vertical
Source : bourbince.fr



(d) Ecoulement en sousverse (S4)



(e) Aménagement routier (buse)

Figure 3 : Les types de structures d'ouvrages

(d) Ecoulement en sousverse (S4)

(e) Aménagement routier (buse)

c) La configuration de l'ouvrage

Certains éléments peuvent favoriser ou défavoriser la franchissabilité. Pour un seuil vertical, une zone profonde et calme doit être présente à l'aval, appelé fosse d'appel, pour permettre aux poissons de prendre assez d'énergie pour effectuer un saut ou une nage intensive.

Naturellement, il y a une relation entre la hauteur de chute et la profondeur de la fosse d'appel. Néanmoins, pour les obstacles artificiels, la base est souvent bétonnée pour éviter l'incision et le déchaussement.

Ensuite, un seuil incliné peut aussi posséder des redans (**Figure 3a**), qui correspondent à une ou plusieurs chutes verticales sur le coursier, comme un profil en marche d'escalier. Par conséquent, il n'y a pas de fosse d'appel au pied d'un redan car la section est forcément bétonnée. Il est donc impossible de le franchir par un saut.

Néanmoins, une chute verticale peut se former au pied d'un seuil incliné, souvent provoquée par l'incision du lit et le déchaussement du coursier. Comme c'est en aval de l'obstacle, il peut y avoir formation d'une fosse d'appel. L'ouvrage est donc considéré comme complexe avec une portion verticale à l'aval et inclinée à l'amont (**Figure 3b**).

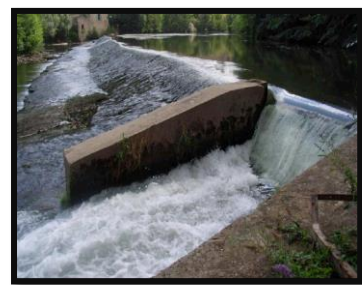
Il est aussi possible de rencontrer des configurations mixtes (**Figure 3c**). Un même obstacle est alors composé de plusieurs types d'ouvrages sur sa largeur.



(a) Redan (T1)
Source : FDPMA84



(b) Seuil vertical à l'aval et Enrochement à l'amont : **Seuil complexe** (OM3)
Source : FDPMA84



(c) Seuil incliné à gauche et vertical à droite : **Seuil mixte**
Source : MRM

Figure 4 : Les différentes configurations sur les ouvrages

b) Les conditions hydrauliques

Selon les conditions hydrauliques, la hauteur de chute est plus ou moins grande. Un ouvrage peut être totalement infranchissable à l'étiage mais lors du module ne causer aucun impact. S'il n'est pas toujours infranchissable, il y a des périodes dans l'année où la libre circulation est possible. Cependant, les périodes de migrations des poissons s'étalent sur une fourchette de temps précise. Cet intervalle de temps n'est pas toujours compatible avec les conditions hydrauliques de la saison.

Par exemple, la période de migration de l'aloise feinte méditerranéenne s'étale de mars à juin (Keith, Persat, Feunteun & Allardi, 2014) et les tirants d'eau peuvent être bas. Finalement, l'aloise peut se retrouver bloqué par un ouvrage en attendant des conditions hydrauliques plus favorables, ce qui provoque des retards. La conséquence directe est l'accentuation de l'épuisement, du stress et de la mortalité des poissons.

II- Matériel et méthode

1)- Site d'étude : Le bassin versant de l'Ouvèze provençale

a) - Localisation

L'Ouvèze provençale est une rivière qui prend sa source dans la Drôme et se rejette dans le Rhône en rive gauche. Elle traverse le Vaucluse sur une cinquantaine de kilomètres (**Figure 4**).

Dans le Vaucluse, elle possède 5 affluents principaux et pérennes avec le Lauzon, la Sorgue, le Groseau, la Seille et le Toulourenc. L'étude se déroule sur l'ensemble de l'Ouvèze vauclusienne et l'aval des principaux affluents hors Sorgue car elle représente un sous bassin à part entière. En tout 73 km de linéaire de cours d'eau est analysé.

Il faut aussi noter la présence du canal de Carpentras qui passe en-dessous de l'Ouvèze et l'alimente en eau par une petite résurgence.

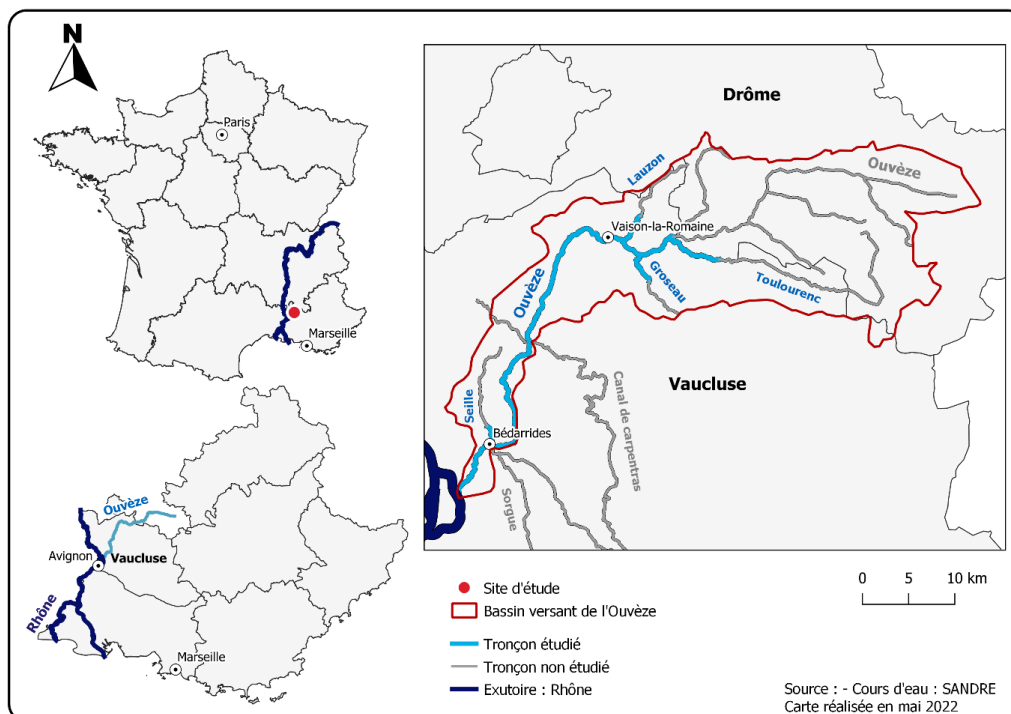


Figure 5 : Localisation du réseau hydrographique de l'Ouvèze

b) - Présentation du site

L'Ouvèze est une rivière à régime pluvial méditerranéen et sur la majorité de son linéaire elle est en tresse. La surface du bassin est d'environ 800 km². C'est une rivière contrastée avec en été des étiages prononcés provoquant des assecs, et en hiver des crues violentes comme celle de 1992.

Elle est communément séparée en 3 parties :

- Amont : De la source dans la Drôme jusqu'aux frontières du Vaucluse. Climat montagnard avec un régime plutôt torrentiel et écoulement continu.

- Médiane : De la frontière du Vaucluse jusqu'à Bédarrides. Ecoulement continu jusqu'à l'aval de Vaison-la-Romaine. Ensuite, la nappe alluviale est drainante ce qui provoque la formation d'assec.

- Aval : De Bédarrides jusqu'au Rhône. Ecoulement continu grâce aux apports en eau de la Sorgue et de la Seille.

L'Ouvèze médiane a une qualité d'habitat considérée comme médiocre d'un point de vue physico-chimique, hydrologique et géomorphologique (Gontier, Quatrelivre & Mayis, 2012), puisque les conditions sont naturellement contraignantes, et dégradées par les pressions anthropiques.

La nappe devient drainante car elle s'élargie à partir de la commune de Roaix jusqu'aux environs du canal de Carpentras (**Annexe 2**). Cet élargissement entraîne une inversion des relations nappe-rivière. Quand la nappe n'est pas saturée en eau, elle récupère l'eau du cours d'eau jusqu'à son assèchement total. Même si le canal de Carpentras fournit un faible débit continu, son apport est localisé et ne contrebalance pas le drainage.

L'Ouvèze aval est plus lentique car c'est une rivière de basse plaine et elle est plus favorable à l'implantation d'espèces aquatiques intéressantes que les tronçons soumis à des assèchs.

Concernant les affluents, les caractéristiques morphologiques du Toulourenc sont très proches de celles de l'Ouvèze. Sur la plupart de son linéaire, c'est un cours d'eau torrentiel excepté à l'aval où il est plutôt en tresse.

Le fonctionnement du Groseau est jugé médiocre à cause des contraintes naturelles et anthropiques fortes. C'est un petit cours d'eau méandrique mais une bonne partie de son linéaire reste rectiligne puisqu'il a subi de nombreuses altérations agricoles avec le recalibrage ainsi qu'une canalisation dès la source.

Le Lauzon a un fonctionnement assez proche du Groseau mais il est encaissé en une étroite vallée qui contraint ses divagations latérales. Il est aussi mieux protégé des activités anthropiques. La qualité d'habitat est d'ailleurs jugée comme moyenne.

La Seille est l'affluent le plus anthropisé. Bien qu'elle soit bien alimentée en eau toute l'année, elle passe par des zones agricoles et urbaines denses, entraînant un endiguement des berges, un curage et un recalibrage marqué. Finalement, les habitats et les peuplements piscicoles sont fortement dégradés.

c)- Un territoire d'intérêt

L'Ouvèze et le Toulourenc sont classées comme Zone Spéciale de Conservation par Natura 2000 au titre de la Directive Habitat. En effet, ces territoires se démarquent pour leurs intérêts biologiques et paysagés. De nombreuses espèces protégées et patrimoniales sont implantées comme le castor, la loutre, et aussi des espèces de poissons typiques du bassin rhodanien tels que le blageon et le toxostome (Naturalia, 2012). Ces cours d'eau possèdent aussi les habitats 3250 (Rivières permanentes méditerranéennes à *Glaucium flavum*) et 3280 (Rivières permanentes méditerranéennes du Paspalo-Agrostidion avec rideaux boisés riverains à *Salix* et *Populus alba*) qui ont un fort enjeu de protection.

A ce titre, de nombreuses ZNIEFF et le parc régional du mont Ventoux implantés dans le bassin permettent de protéger ces espaces naturels.

Enfin, l'Ouvèze en amont de Vaison-la-Romaine, le Toulourenc et le Groseau sont considérés comme des réservoirs biologiques et ils sont classés en 1^{ère} catégorie piscicole.

L'Ouvèze est aussi un territoire intéressant pour les poissons migrateurs amphihalins puisqu'elle est seulement à une centaine de kilomètres de la mer et elle est directement reliée au Rhône. Dans ce contexte, le PLAGEPOMI⁵, fixe l'Ouvèze aval comme une ZALT⁶ pour l'alose feinte et la lamproie marine. En effet, ces deux espèces sont historiquement présentes dans ce bassin. Cependant, en partie à cause d'un seuil infranchissable à la confluence avec le Rhône, l'alose et la lamproie ont disparu.

En classifiant l'Ouvèze comme une ZALT, l'objectif est de permettre une recolonisation de ces espèces. Cet axe de migration a été réouvert en 2020 grâce à l'aménagement de l'ancienne passe à

⁵ PLAGEPOMI : **PL**An de **GE**stion des **PO**issons **MI**grateurs

⁶ ZALT : Zone d'Action à Long Terme

poissons construite en 1994, ce qui devrait la rendre compatible avec l'alose. Des études sont encore menées pour savoir si cette rénovation a été efficace.

De plus, toute l'Ouvèze et le Toulourenc sont considérés comme une ZAP⁷ pour l'anguille européenne. Des individus ont déjà été inventoriés sur certains tronçons et l'objectif est de faciliter les migrations à la dévalaison et la montaison pour qu'un plus grand nombre s'y installe.

Pour appuyer ces deux statuts, l'Ouvèze aval est classé en liste 2 ce qui impose aux propriétaires d'ouvrage de mettre en place des aménagements pour permettre leur franchissement. Hormis pour le Lauzon et la Seille, le bassin figure dans la liste 1, c'est-à-dire qu'aucune autorisation ne peut être accordée pour la construction de nouveaux ouvrages s'ils constituent un obstacle à la continuité écologique.

c)- Un territoire sous pression

Historiquement, l'Ouvèze a été profondément modelée par la construction de moulin et de canaux de dérivation. Même si les moulins ne sont plus en activité, les canaux sont quant à eux réutilisés pour l'irrigation des parcelles agricoles. De plus, dès l'antiquité, l'Ouvèze a été endiguée pour protéger les infrastructures humaines contre les inondations et ceci s'est accentué avec l'expansion urbaine.

L'extraction granulométrique dans le lit mineur était conséquente avant son interdiction dans les années 90, ce qui a favorisé l'incision de l'Ouvèze et a perturbé son équilibre naturel. Susceptiblement, ces perturbations mettront encore quelques années avant de résorber sur certains tronçons (SCE, 2022).

Encore de nos jours, le territoire est vulnérable aux nombreuses pressions anthropiques avec l'agriculture, l'urbanisation et le tourisme.

Concernant les activités agricoles, d'un point de vue continuité, la construction de seuils ou de vannes pour irriguer les cultures pose le plus de problèmes. Ensuite, ce sont les prélèvements d'eau pour l'arrosage qui accentuent les déficits en eau et les difficultés à franchir un obstacle. Il existe un débit minimal biologique fixé par l'agence de l'eau qui permet de réguler les captages et de lutter contre les pompages illégaux. Le but est de réduire l'impact des étiages sur la biologie et de permettre la survie des espèces (Gontier, Quatrelièvre & Mayis, 2012). Néanmoins, le calcul du débit minimal ne prend pas en compte l'importance des conditions hydrauliques dans le franchissement.

Concernant l'impact des zones urbaines, c'est la Seille qui reste la plus concernée car le lit est fortement artificialisé en passant par le centre-ville de Bédarrides et de Courthézon. De plus, tout le bassin souffre d'une forte concentration de ponts routiers et ferroviaires qui impose parfois la construction d'un seuil pour stabiliser les fondations.



Figure 6 : Enrochement construit par des touristes.

Source : France Bleu

Le Toulourenc reste globalement moins impacté que les autres masses d'eau grâce à ses nombreux territoires protégés. Néanmoins, il subit le tourisme de masse. Ces berges sont appréciées par les touristes qui construisent parfois des petits barrages temporaires à partir de galets (**Figure 5**). Lorsque ces barrages s'étalent sur toute la largeur mouillée, il provoque une retenue qui réchauffe les eaux, dégrade les habitats et freine les déplacements de la faune. Même s'ils sont temporaires, c'est

l'accumulation de ces barrages qui menace la rivière. Pour réguler tout ça, il existe tout de même des arrêtés qui obligent la destruction de ces seuils après le départ des touristes.

⁷ ZAP : Zone d'Action Prioritaire

2)- Inventaire des ouvrages transversaux

La première partie de l'étude est d'inventorier tous les ouvrages anthropiques qui représentent un potentiel obstacle à la continuité écologique. Pour ce faire, le ROE⁸ est utilisé comme première base de données. Ce référentiel recense les ouvrages en France et les associe à des informations complémentaires avec notamment la hauteur de chute, l'utilité et son état. Cependant, le ROE n'est pas forcément complet ou mis à jour. Un travail d'inventaire a donc été réalisé pour compléter cette base de données afin de s'assurer qu'aucun ouvrage n'a été oublié.

Pour ce faire, des observations à l'aide d'image satellite de la BD ortho (IGN 2018) sont réalisées afin de sélectionner des points pouvant abriter un potentiel obstacle comme les ponts routiers et les zones de remous (**Figure 6**).



Figure 7 : Obstacle à l'écoulement non référencé dans le ROE : (a) zone de remous (OM6) et (b) pont avec enrochement (T1)

Ensuite, un travail de terrain permet de vérifier la présence d'ouvrages à partir des observations par image satellite et de ceux déjà référencés dans le ROE. La fiche **Annexe 3** est remplie pour avoir une première description sommaire de la structure. Les sorties terrains se sont étalées sur 3 jours : 19/04/2022, 30/04/2022 et 02/05/2022.

Enfin, il faut noter qu'il y a toujours un risque que des obstacles ne soient inventoriés. Si le ROE ne les a pas référencés et que la canopée de la ripisylve empêche de voir le cours d'eau, il y a de grandes chances qu'ils ne soient pas recensés. Par pallier ce risque, lorsque les images satellites ne permettent pas un visuel clair sur la rivière, une prospection à pied est organisée. Ça été le cas pour certains tronçons du Groseau, du Lauzon et du Toulourenc.

Le protocole ICE ne s'intéresse qu'aux barrières physiques et anthropiques. Par conséquent, les cascades naturelles, les barrages de castors ou les bouchons thermiques ne sont pas pris en compte.

Chaque ouvrage a été codé en utilisant les initiales du cours d'eau où il se situe et de son ordre d'apparition à partir de l'aval (exemple : OM3 = Troisième seuil sur l'Ouvèze Médiane à partir de l'aval).

3)- Choix des espèces cibles

L'étude se concentre sur seulement quelques groupes d'espèces afin de clarifier et de faciliter l'analyse ICE. Pour qu'une espèce soit ciblée sur un tronçon, il faut qu'elle remplisse plusieurs conditions. Premièrement, elle doit avoir un statut de protection particulier ou avoir intérêt patrimonial. Puisque ce sont les espèces avec le plus d'enjeux et qu'elles sont bien souvent les plus fragilisées par la fragmentation des habitats.

⁸ ROE : Référentiel des **O**bstacles à l'**E**coulement

Deuxièmement, les espèces doivent être recensées et en quantités significatives grâce aux pêches électriques effectuées par la FDPMA84. Par exemple, l'apron du Rhône (*Zingel asper*) n'est pas considéré alors qu'il possède un enjeu de protection très fort, parce qu'il n'a jamais été observé sur l'Ouvèze.

Pour compléter ces pêches, les données de l'association MRM⁹ sont aussi utilisées. Cette association a réalisé des recensements plus précis au niveau la répartition de l'anguille sur tout le bassin.

4)- Le protocole ICE

a) Description de l'ouvrage

Comme chaque ouvrage a ses propres spécificités, il faut avant toute chose bien dissocier et décrire les structures qui le compose. Les changements brusques dans la pente d'un coursier sont traités séparément.

Sur toute la largeur de l'obstacle, une voie de passage est aussi sélectionnée, c'est-à-dire la portion où le franchissement est le plus favorable. Toutes les mesures sont réalisées sur cette voie. Pour les configurations mixtes, l'analyse de chacune des parties se fait séparément et il faut vérifier laquelle est la plus avantageuse pour les poissons.

Le caractère exceptionnel de l'anguille oblige de la traiter différemment. En effet, il faut sans cesse vérifier les potentielles voies de reptation autour des obstacles. Ces voies se caractérisent par une surface humide, des vitesses de courants faibles et selon la rugosité, la reptation sera plus ou moins aisée.

Il peut être intéressant de refaire des mesures ICE pour que les conditions hydrauliques correspondent à la période de reproduction d'une espèce ciblée. Dès lors, il faut choisir un point de référence et relever sa cote. Ceci permettant que lors de la deuxième campagne de mesures, il n'y ait qu'à mesurer les hauteurs d'eau et de gagner du temps. Ce point de référence doit être facilement reconnaissable sur le terrain et toujours accessible même en période de hautes eaux. Préférentiellement, il faut faire une description de ce point avec des photos et prendre ses coordonnées GPS.

b) Mesure selon le type d'ouvrage

Sur chacun des obstacles, les cotes de la ligne d'eau aval et amont sont prises avec la lunette topographique pour calculer la hauteur de chute. Dans le cas d'un ouvrage complexe, il faut mesurer les hauteurs de chute de chaque partie séparément. La largeur de l'obstacle et la largeur mouillée hors influence de la retenue d'eau sont aussi récupérées avec un décamètre ou un télémètre.

Toutes ses informations sont remplies dans la fiche terrain "Description de l'ouvrage" qui est fournie dans le protocole terrain (ICE, 2015). Elle comprend aussi une description visuelle des éléments qui composent l'obstacle. Parmi ces observations, il faut indiquer si la retenue est en déficit sédimentaire ou non, c'est-à-dire si elle est totalement comblée.

Le protocole ICE ne s'intéresse qu'à la continuité à la montaison mais les opérateurs peuvent faire des remarques sur les potentiels problèmes à la dévalaison, par exemple des blocs de pierre à l'aval d'une chute verticale qui pourraient blesser les poissons.

⁹ MRM : association poisson **M**igrateurs **R**hône **M**éditerranée

En fonction du type de structure, les données récoltées sont différentes et sont notées dans la fiche ICE "Prise de mesures".

Pour les seuils verticaux et inclinés, un profil en long est réalisé de la crête de l'ouvrage jusqu'à la fin de la fosse d'appel. Ensuite, à l'aide de la mire la profondeur de la fosse aval est mesurée.

Ce qui diffère entre les deux structures, c'est que pour les seuils verticaux il faut déterminer la charge (hauteur d'eau au-dessus de l'obstacle). Alors que pour les seuils inclinés, c'est le tirant d'eau minimal sur le coursier qu'il faut indiquer.

Pour les enrochements, il faut d'abord déterminer le dénivelé entre la cote de fond du radier amont et aval (DH_{ouv}), puis avec le décamètre mesurer la longueur du coursier. Tout ceci, permet de calculer la pente avec la formule ci-dessous :

$$Pente (\%) = \frac{DH_{ouv}}{\sqrt{Longueur\ coursier^2 - DH_{ouv}^2}} * 100$$

Ensuite, le tirant d'eau minimal et la profondeur de la fosse aval sont mesurées sur une voie de passage potentielle.

Pour les écoulements sous vanne, il faut déterminer si la vanne est en charge ou non. Si les écoulements ne sont pas perturbés, il n'est pas nécessaire de faire le protocole. Le plus important est alors de connaître la gestion de la vanne ainsi que son cycle d'ouverture et de fermeture.

Dans le cas contraire, il faut mesurer la cote du point de contact entre la vanne et le fond du lit, puis la cote sur le haut de la vanne. Ensuite avec le décamètre, la hauteur de la vanne et sa largeur sont mesurées. Ces données renseignent sur l'ouverture de la vanne (OV) et donc de savoir si elle est suffisamment grande pour laisser passer les poissons :

$$OV = Cote\ du\ point\ de\ contact\ vanne/radier - (Cote\ du\ haut\ des\ vannes + Hauteur\ de\ la\ vanne)$$

Pour les ouvrages routiers, en plus de calculer la pente comme pour les enrochements, il faut déterminer la vitesse du courant à la sortie et mesurer le tirant d'eau minimal à l'intérieur de l'obstacle.

Dans le cas où une voie de reptation a été identifiée, il faut faire un profil en long comme pour les seuils inclinés.

c) Classes ICE

Lorsque toutes les mesures ont été récupérées sur le terrain, ICE donne une classe par rapport à l'impact d'un ouvrage sur la continuité piscicole. Cette classe est obtenue en regroupant les informations sur les conditions hydrauliques, sur les capacités physiques de chaque espèce, sur la taille des individus et sur la configuration de l'ouvrage (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Les éléments permettant de calculer la note ICE

 hp = Hauteur du poisson Lp_{min} = Longueur minimale d'une espèce de poisson

| Type de structure | Paramètre | Condition |
|-------------------------------|------------------------------------|---|
| Vertical | Hauteur de chute (DH) | Plus DH est important, plus la classe ICE est basse |
| | Fosse d'appel (Hf) | Plus DH est important, plus Hf doit être profonde |
| | Charge (H) | Doit être supérieure à $H_{min} = 1,5 * hp$ |
| | Jet plongeant | DH > H, infranchissable pour les espèces non sauteuses |
| | Jet de quasi-surface | $0,5 H < DH < H$ |
| | Jet de surface | $DH < 0,5 H$ |
| Incliné | Hauteur de chute (DH) | Plus DH est important, plus la classe ICE est basse |
| | Pente du coursier | Inférieur à 150% sinon considéré comme seuil vertical |
| | Fosse d'appel (Hf) | Doit être supérieure à $Hf_{min} = \sqrt{DH * \sin(pente)}$ |
| | Tirant d'eau (h) | Doit être supérieure à $h_{min} = 1,5 * hp$ |
| Enrochement | Hauteur de chute (DH) | Plus DH est important, plus la classe ICE est basse |
| | Pente | Plus la pente est inclinée, plus le tirant d'eau doit être important |
| | Tirant d'eau | |
| Vanne en sous verse | Ouverture de la vanne (OV) | Doit être supérieure à $OV_{min} = 2 * hp$ |
| | Non en charge | Pas de contact entre l'eau et la vanne |
| | En charge dénoyée | Si $H_{aval} < OV$ (=contraction des écoulements), alors plus H_{amont} est important, plus la classe ICE est basse |
| | En charge noyée | Si $H_{aval} > OV$, alors plus DH est important, plus la classe ICE est basse |
| Ouvrage routier | Vitesse | Plus la vitesse est importante, plus la classe ICE est basse |
| | Tirant d'eau (h) | Doit être supérieur à $h_{min} = 1,5 * hp$ |
| | Largeur de l'ouvrage | Compare la section mouillée dans l'ouvrage avec celle hors influence |
| | Longueur de l'ouvrage | Plus l'ouvrage est long, plus il est contraignant |
| | Pente | Plus la pente est inclinée, plus l'ouvrage est contraignant |
| Si présence d'un redan | Hauteur du redan (a) | Doit vérifier les conditions : - $a \leq 0,5 Lp_{min}$ - $(a^2 + b^2)^{0,5} \leq 0,7 Lp_{min}$ |
| | Longueur horizontale (b) | |
| Voie de Reptation | Tirant d'eau maximal (h_{max}) | Doit être inférieur à 2cm pour les anguilles |
| | Pente | Plus la pente est inclinée, plus la classe ICE est basse |
| | Distance du coursier | Plus le coursier est long, plus la classe ICE est basse |

Les espèces piscicoles peuvent avoir des capacités de franchissement similaires ou différentes. C'est pour cette raison qu'ICE les regroupe en fonction de leur capacité (**Annexe 4**). Ainsi, le brochet fait partie du même groupe que l'Aspe (groupe 5) puisque se sont de bons nageurs non sauteurs, alors que l'anguille est la seule espèce dans son groupe grâce à sa capacité de reptation (groupe 11).

Pour connaître le degré d'impact sur la continuité piscicole, ICE regarde le nombre d'individus d'un même groupe capable de franchir un ouvrage. C'est la longueur du poisson qui permet de discriminer ceux qui peuvent franchir ou non, puisque plus un poisson est grand, meilleur sont ses capacités de franchissement. En tout, il existe 4 classes qui expriment l'impact sur la continuité écologique (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Description des classes ICE

| Intitulé | Note | Couleur | Commentaire |
|--------------------------|------|---------|--|
| Barrière totale | 0 | | Infranchissable pour tous individus ou à toutes les périodes de l'année |
| Barrière à impact majeur | 0,33 | | Infranchissable pour la majorité des individus ou franchissable seulement lors des conditions hydrauliques exceptionnelles |
| Barrière significative | 0,66 | | Franchissable pour la majorité des individus ou une grande partie de l'année |
| Barrière franchissable | 1 | | Obstacle franchissable pour tous les individus bien qu'il puisse entraîner des retards à la migration |
| Indéterminé | NC | | La franchissabilité de l'obstacle n'a pas pu être déterminé |

Pour tous les ouvrages étudiés une fiche a été rédigée pour rassembler les photos, décrire leur configuration, présenter les mesures terrain, calculer la classe ICE et indiquer la présence d'une prise d'eau. Toutes les fiches sont rassemblées dans le document « Répertoire des ouvrages transversaux sur l'Ouvèze vauclusienne et l'aval de ses affluents ».

d) Condition hydraulique

Il est conseillé de faire les mesures ICE à l'étiage car c'est le moment de l'année où le déplacement des poissons est le plus dégradé. Cependant, comme les poissons migrent davantage pendant la période de reproduction, il est plus représentatif d'un point de vue biologique de faire les mesures ICE pendant cette période.

La phase terrain s'est étendue entre le 18 mai et le 21 juillet, avec au total 6 sorties. Comme les conditions changent chaque année, il est possible de réaliser des études hydrauliques plus poussées par des logiciels de modélisation afin de connaître exactement le débit où l'ouvrage est franchissable. Il a été envisagé de réaliser une modélisation sur HEC-RAS sur les obstacles où il y a le plus d'enjeux de poissons migrateurs, donc sur l'Ouvèze aval (OA2 : Seuil des Faysses). Cependant, à cause de la complexité du site, cette option n'a pas été retenue.

Pour compenser, l'Ouvèze et le Toulourenc possèdent des stations débitimétriques qui fournissent les débits journaliers à travers le site Hydroportail. Les données de ces stations sont récupérées afin de vérifier que les conditions hydrauliques présentes le jour des mesures soient cohérentes aux normales de saison et de connaître les périodes de l'années où un seuil est franchissable. Les données récupérées s'étendent sur 9 années entre 2014 et 2022 afin de gommer les changements interannuels.

5) Effet cumulé des obstacles : Taux d'étagement

Le principe du taux d'étagement est d'évaluer la pression cumulée des ouvrages anthropiques sur un tronçon homogène. Cet indice permet de calculer la part de dénivelé artificialisé par rapport à celui naturel (SDAGE Loire-Bretagne, 2017). Les tronçons sont délimités à l'aide de la base de données URSA du protocole SYRAH-CE.

Deux métriques sont utilisées pour calculer cet indice :

- La hauteur de chute artificielle (DH) : mesuré à l'étiage et correspondant au QMNA interannuel¹⁰, comme pour le protocole ICE
- Le dénivelé naturel du tronçon : correspondant à la soustraction de l'altitude amont (z_{amont}) avec celle en aval (z_{aval}). Les altitudes sont obtenues via la pente IGN.

Le taux d'étagement est le rapport entre la somme des hauteurs de chutes artificielles et le dénivelé du profil en long du tronçon :

$$\text{Taux d'étagement (\%)} = \frac{\sum DH}{z_{\text{amont}} - z_{\text{aval}}} * 100$$

Plus le taux d'étagement est élevé, plus le risque de dégradation de la qualité des habitats est important. Selon la biotypologie naturelle du tronçon, l'impact des effets de retenue sera plus ou moins intensif. Les zones salmonicoles sont bien plus perturbées par un taux d'étagement important que les zones cyprinicoles. Il a été maintenu qu'un taux maximal de 30-40% pour les zones courantes compromet fortement l'atteinte du bon état écologique (SDAGE Loire-Bretagne, 2017).

III- Résultat

1) - Inventaire des ouvrages

Sur tout le bassin de l'Ouvèze, il y a 73 ouvrages et parmi cela 25 ouvrages ont été inventoriés dans le site d'étude dont 2 où la franchissabilité n'a pas été analysée précisément (**Tableau 4**). Il s'agit des buses à l'aval du Lauzon (ROE90916 et ROE90915) et des projets sont déjà en œuvre pour les rénover puisqu'elles causent des problèmes d'inondations aux riverains. L'ensemble des ouvrages étudiés est cartographié dans la **Figure 7** et tous les obstacles à l'écoulements du bassin de l'Ouvèze le sont dans l'**Annexe 5**.

La densité d'ouvrage est plus importante à l'aval des affluents. C'est sur la Seille que la densité est la plus forte avec 2 ouvrages/km de rivière. Cependant, même si sur l'Ouvèze, elle n'est que de 0,13 ouvrages/km, les obstacles sont plus conséquents dépassant parfois 5m de hauteur de chute.

¹⁰ QMNA interannuel : Valeur de débit à l'étiage qui a une probabilité de revenir chaque année

Tableau 4 : Résumé des obstacles à l'écoulement sur le bassin (Données complétées par le SCE)

| | Référencé dans le ROE | Non référencé dans le ROE | Total |
|---|-----------------------------|--|-------|
| Nombre d'ouvrages anthropiques sur tout le bassin | 43 dont 34 dans le Vaucluse | 30 dont 15 dans le Vaucluse | 73 |
| Nombre d'obstacle à l'écoulement naturel inventorié | | 2 barrages de castor 3 Cascades 1 incision naturelle | 6 |
| Nombre d'ouvrage sur le site d'étude | 20 | 5 | 25 |

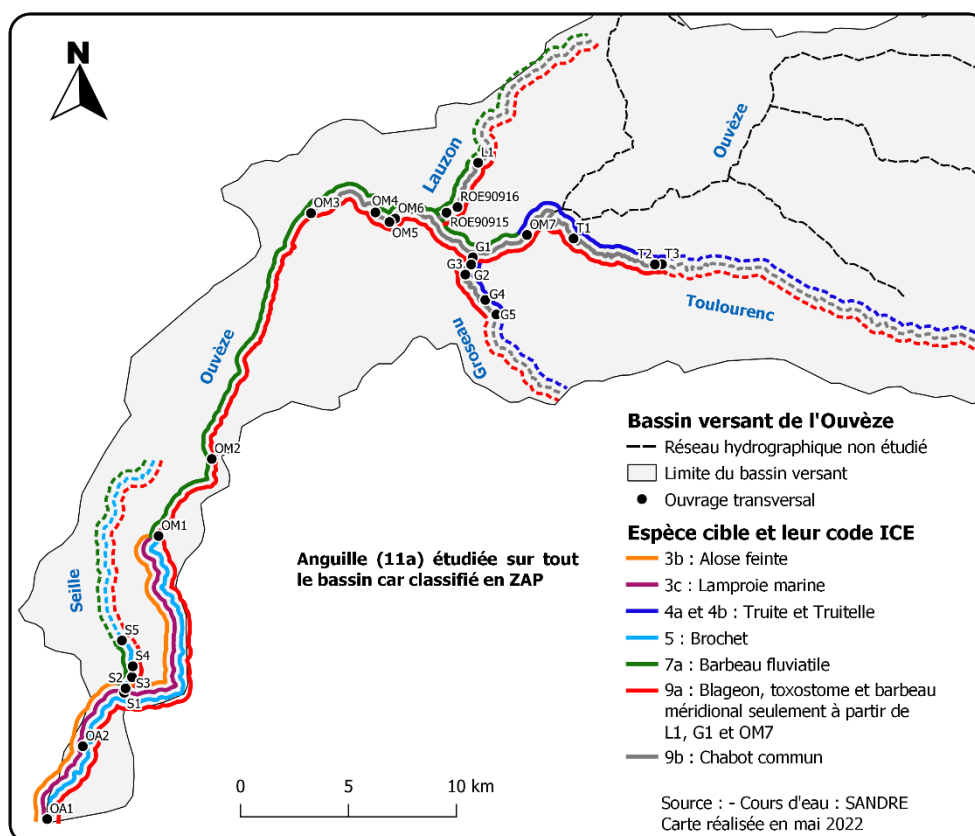


Figure 8 : Les ouvrages étudiés et les espèces cibles qui y sont rattachées

Sur l'Ouvèze et le Toulourenc, il y a surtout des enrochements qui peuvent servir à la fois de prise d'eau et à stabiliser le profil en long comme le seuil du canal d'Entrechaux (OM7) (**Figure 8 et 9**). Sur les autres affluents, les ouvrages sont surtout des vannes ou des seuils verticaux qui servent de prises d'eau à l'agriculture. De plus, plusieurs obstacles sont obsolètes principalement dus à l'arrêt de l'exploitation des moulins, comme le Seuil Place François Poulin (S2). Il n'y a aucun ouvrage d'usage agricole à l'aval du seuil de Roaix (OM3).

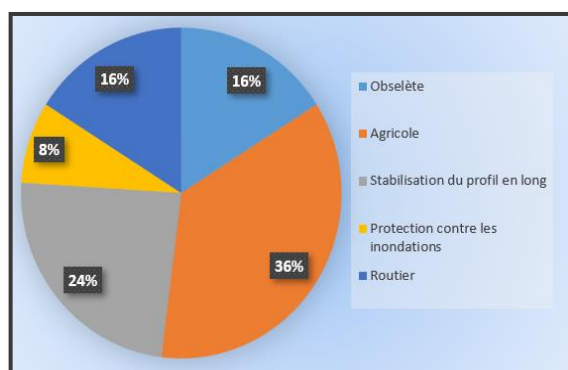


Figure 9: Proportion des différents usages des ouvrages

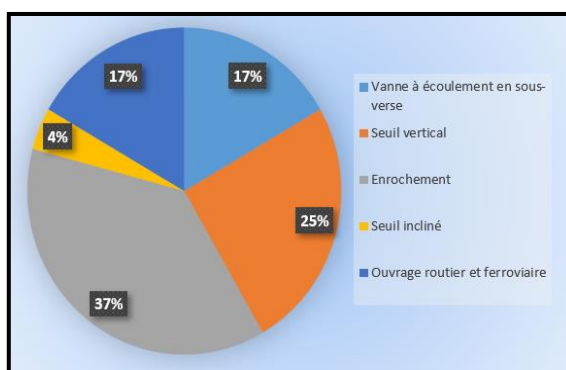


Figure 10 : Proportion des différents types de structures

Dans de nombreux cas, l'incision du lit a déchaussé le pied de l'ouvrage, déstabilisant ses fondations et formant une chute verticale plus ou moins haute. Souvent la dalle de béton déchaussée s'est fendu comme sur le seuil aval du pont D242 (T2).

De plus, des obstacles à l'écoulement naturels ont été observés (**Annexe 5**). Ils ne font pas partie de l'analyse bien qu'il ait un potentiel impact sur les migrations. Une activité de castor a été repérée sur le Lauzon produisant de grands barrages (**Figure 10a**). Malgré une présence sur le Toulourenc et le Groseau aucun barrage n'a été observés.

Sur le Toulourenc, 2 cascades naturelles ont été inventoriées dont une semble particulièrement dégradante pour les déplacements des poissons (**Figure 10b**). Enfin, sur le Lauzon, l'incision du lit a provoqué le déchaussement d'un tuyau et la formation d'un radier vertical d'une dizaine de centimètres (**Figure 10c**).



(a) Barrage de Castor



(b) Cascade sur le Toulourenc



(c) Incision formée par le déchaussement d'un tuyau

Figure 11 : Obstacles à l'écoulement naturels

2) - Les espèces cibles

5 zones ont été délimitées avec des espèces cibles différentes (**Figure 7**). Elles ne prennent pas en compte les caractéristiques morphologiques ou hydrologiques des tronçons. C'est pour cette raison que le Toulourenc est rassemblé avec le Groseau car les peuplements piscicoles se ressemblent, bien que ces cours d'eau soient très différents.

Concernant les espèces migratrices, l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (11a) est considérée sur tout le bassin car le PLAGEPOMI met l'Ouvèze et le Toulourenc en ZAP et elle a été inventoriée sur la Seille.

L'alose feinte méditerranéenne (*Alosa agone*) (3c) et la lamproie marine (*Petromyzon marinus*) (3b) n'ont pas été inventoriées à l'aide des pêches. Cependant, avec la récente restauration du seuil à la confluence Ouvèze/Rhône (OA1), il y a bon espoir de pouvoir de nouveau les retrouver. De plus, une

étude de l'AFB a été effectuée en aval de la confluence avec la Sorgue, afin de mettre en évidence l'attractivité de l'Ouvèze pour la reproduction de l'aloise (AFB, 2014). MRM (2017) a complété cette étude 10,5km plus en amont de la confluence avec la Sorgue dans les zones d'assecs. Ces deux études ont montré la présence de radiers intéressants ou potentiellement intéressants pour la reproduction de l'aloise.

Par conséquent, l'aloise et la lamproie marine sont ciblées sur l'Ouvèze jusqu'à OM1 car cet ouvrage corrobore aux derniers tronçons analysés par MRM.

Le groupe 9a, cyprinidé rhéophile de petite à moyenne taille, est considéré sur tout le bassin. Il composé du blageon (*Telestes souffia*), du toxostome (*Parachondrostoma toxostoma*) et du barbeau méridional (*Barbus meridionalis*). Ils sont tous classés par Natura2000 avec un intérêt patrimonial car présent essentiellement dans le bassin rhodanien. De plus, ils sont classés dans la liste rouge comme proche d'être menacés en France et ils sont cités dans la directive habitats.

Le blageon est particulièrement abondant sur l'Ouvèze. A l'opposé du toxostome qui est bien plus rare, et il subit l'invasion ou l'hybridation avec le hotu qui est originaire d'Europe centrale (Keith, Persat, Feunteun & Allardi, 2014).

Quant au barbeau méridional, il peut se reproduire avec le barbeau fluviatile produisant des hybrides fertiles. Ces deux espèces peuvent cohabiter mais le barbeau méridional se concentre essentiellement sur les tronçons les plus amont (Keith, Persat, Feunteun & Allardi, 2014). Ce dernier n'a été inventorié que sur Toulourenc et le Lauzon puisqu'il préfère des eaux bien oxygénées et de faibles températures.

Le brochet (*Esox lucius*) (5) est étudié sur l'Ouvèze aval bien qu'il soit assez rare. Sur la Seille, il n'a jamais été inventorié mais des frayères sont identifiées sur le réseau de Mayre relié à la Seille.

Le barbeau fluviatile (*Barbus barbus*) (7a) est ciblé sur la Seille et sur l'Ouvèze entre OM1 et OM3. Il est inscrit dans l'annexe V de la directive 92/43/CEE. De plus, il est dominant sur ces tronçons et représente bien les cyprinidés de grandes tailles rhéophiles. Il faut préciser aussi que sur ces deux tronçons l'intérêt piscicole est moindre comparé aux autres à cause de la qualité médiocre des habitats.

Le barbeau fluviatile est aussi ciblé sur le Lauzon car le barbeau méridional est présent à l'amont et pour éviter l'hybridation entre les deux espèces, il peut être intéressant de conserver des ouvrages infranchissables.

Le chabot commun (*Cottus gobio*) (9b) est classé avec un enjeu patrimonial fort / modéré (Naturalia, 2012). Il est donc considéré sur l'Ouvèze à partir d'OM3, sur le Toulourenc et sur les petits affluents du Lauzon et du Groseau.

Concernant la truite (*Salmo trutta*), les adultes (4a) et les truitelles (4b) sont ciblées sur le Toulourenc et le Groseau. Même si le fonctionnement du Groseau est médiocre à cause des contraintes naturelles et anthropiques, il est intéressant pour la truite grâce à une température de l'eau idéale et un étiage naturel soutenu (Gontier, Quatrelivre & Mayis, 2012). Une forte densité de truitelle sauvage a aussi été décrite indiquant une reproduction efficace.

3) - Impact sur la continuité écologique

a) - Franchissabilité

L'objectif de l'étude était de caler les mesures pendant la période de reproduction des espèces cibles afin que les conditions hydrauliques correspondent aux migrations des poissons. Ces périodes

sont résumées dans le **Tableau 5**. Ce critère a été respecté pour la plupart des espèces, excepté pour la truite et le brochet où il faudrait retourner sur le terrain courant février.

Tableau 5 : Les périodes de reproduction des espèces cibles (Keith, Persat, Feunteun & Allardi, 2014)

| Espèce cible | Classe ICE | Période de migration (reproduction ou colonisation) | Nécessité de réaliser une nouvelle campagne de mesure ICE |
|--------------------|------------|---|--|
| Alose feinte | 3b | Mai - juin | Oui, pertinent de vérifier de potentiels retards à la migration sur OA2 lors d'étiage sévère |
| Lamproie marine | 3c | Fin avril - fin mai | |
| Truite | 4a | Décembre - février | Oui, besoin de retourner sur le terrain en février sur tous les ouvrages du Groseau et du Toulourenc pour être représentatif de sa période de reproduction |
| Brochet | 5 | Février - mars | Oui, il faudrait retourner faire des mesures sur OA2 et sur la Seille en février |
| Barbeau fluviatile | 7a | Avril - juillet | Non |
| Barbeau méridional | 9a | Mai - juillet | Non |
| Toxostome | 9a | Fin mai - début juin | Non |
| Blageon | 9a | Juin | Non |
| Chabot | 9b | Mars - avril | Non |
| Anguille | 11a | Printemps - été | Non |

En terme général, les conditions hydrauliques de 2022 étaient peu propices au franchissement d'un ouvrage à cause des faibles débits au printemps et en été. Pour comparer avec les années antérieures, les débits moyens mensuels sont représentés **Figure 11**.

Le mois d'avril 2022 était particulièrement sec assez tôt dans l'année avec déjà la formation d'assec sur l'Ouvèze médiane. Grâce aux orages de mai, les débits sont remontés. Cependant, ils sont restés presque de 2 fois inférieurs par rapport aux autres années. En juin et juillet, la faible pluviométrie a entraîné une sécheresse sévère sur tout le bassin. Ces deux mois ont les débits les plus faibles jamais enregistrés sur la station de Bédarrides. De plus, l'aval du Lauzon était en assec, ce qui est exceptionnel. Par conséquent, les classes ICE sont fortement dégradées par ces conditions hydrauliques médiocres.

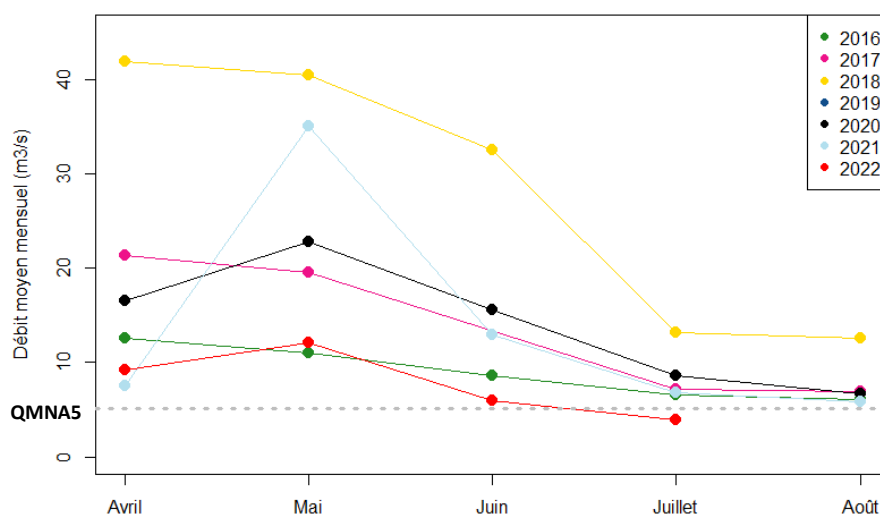


Figure 12 : Débit moyen mensuel entre avril et août de 2016 à 2022 sur la station de Bédarrides

Pour résumer l'impact sur la continuité biologique, la **Figure 12** et la **Figure 13** s'appuie sur les capacités du blageon (9a), de la truite (4a) et de l'anguille (11a). Ces trois groupes sont intéressants car ils ont des aptitudes physiques différentes et ils sont représentés dans tout le bassin. De plus, le blageon a une capacité de nage limitée et il est non sauteur. Il est donc plus impacté par l'effet bloquant des ouvrages transversaux.

Les obstacles les plus contraignants sont les gros enrochements de l'Ouvèze médiane qui servent à stabiliser le profil avec OM2, OM3 et OM7. Pour la plupart des espèces cibles, ces trois seuils devraient être toujours infranchissables à cause de leur hauteur de chute et de leur pente forte. Alors que l'anguille peut utiliser la reptation afin de franchir ces enrochements, OM3 reste cependant fortement bloquant voire infranchissable. En effet, sur la **Figure 13**, l'anguille est fréquemment retrouvée à l'aval de OM3 mais devient quasiment absente en amont. Seulement une observation sur une trentaine de stations a été inventoriée sur le Toulourenc.

Le seuil à la confluence Ouvèze / Rhône (OA1) est considéré comme franchissable pour toutes les espèces cibles grâce à la rénovation de la passe à poissons. Cependant, l'efficacité de cette passe n'a pas encore été démontrée pour les aloses bien qu'elle soit théoriquement compatible avec les capacités de ce poisson.

Le dernier ouvrage sur l'Ouvèze aval est le seuil des Faysses (OA2). Bien que ce soit un seuil vertical, il a une hauteur de chute réduite, en raison d'une dégradation en rive droite et il a un apport constant d'eau grâce à la Sorgue. Par conséquent, même pour les espèces non sauteuses, l'ouvrage est franchissable une grande partie de l'année, y compris pour l'aloise feinte (3b) et la lamproie marine (3c).

Concernant la continuité entre l'Ouvèze et ses affluents, elle est plus dégradée sur la Seille et le Groseau. Premièrement, ces deux rivières possèdent des obstacles à la limite de la confluence (S1 et G1). Or, ils sont considérés comme barrière à impact majeur et requièrent des conditions exceptionnelles pour être franchis. De plus, le Groseau et la Seille sont les affluents avec la plus forte densité d'ouvrage. Même s'ils ne posent pas tous des problèmes dans la continuité piscicole, certains d'entre eux sont difficilement franchissables surtout pour des espèces non sauteuses. Lorsque la période de reproduction s'étale de mai jusqu'à juillet, les ouvrages sont souvent infranchissables à cause des tirants d'eau trop bas. Pour la truite qui se reproduit de décembre à février il faudrait retourner sur le terrain pour vérifier la franchissabilité.

Concernant le Lauzon, le seul ouvrage étudié est à impact majeur pour l'ensemble des espèces non sauteuses. Même si les deux buses à l'aval (ROE90916 et ROE90915) n'ont pas été analysées précisément, elles ont tout de même un impact significatif sur le déplacement des poissons.

Enfin, le Toulourenc possède peu d'ouvrages mais deux d'entre eux ont un impact majeur (T1 et T3). Ils servent à stabiliser un pont et ont une hauteur de chute importante respectivement 2,55 et 2,29 m. T1 est moins problématique pour la truite qui peut sauter au-dessus de la partie verticale. En revanche, T3 est un gros enrochement dont le coursier s'est cassé formant une succession de parties verticales. Par conséquent, pour toutes les espèces cibles T3 est difficilement franchissable quel que soit le débit de la rivière.

Enfin, plusieurs prises d'eau ont été recensées sur le bassin. Comme elles servent pour la plupart à l'irrigation, tout un réseau de canaux a été construit pour acheminer l'eau vers les parcelles agricoles. Certaines de ces prises d'eau ont des caractéristiques intéressantes pour permettre de contourner les obstacles. Cependant, il n'y a pas eu d'étude approfondie à ce sujet permettant de certifier de l'efficacité de cette voie de passage. De plus, les canaux sont souvent contraignants possédant parfois eux-mêmes des seuils. Les passages par les prises d'eau sont donc négligés dans la suite de l'analyse.

En revanche, elles peuvent aussi être un facteur dégradant dans la franchissabilité. Plusieurs d'entre elles récupèrent un débit significatif comme sur OM7, diminuant encore plus les tirants d'eau.

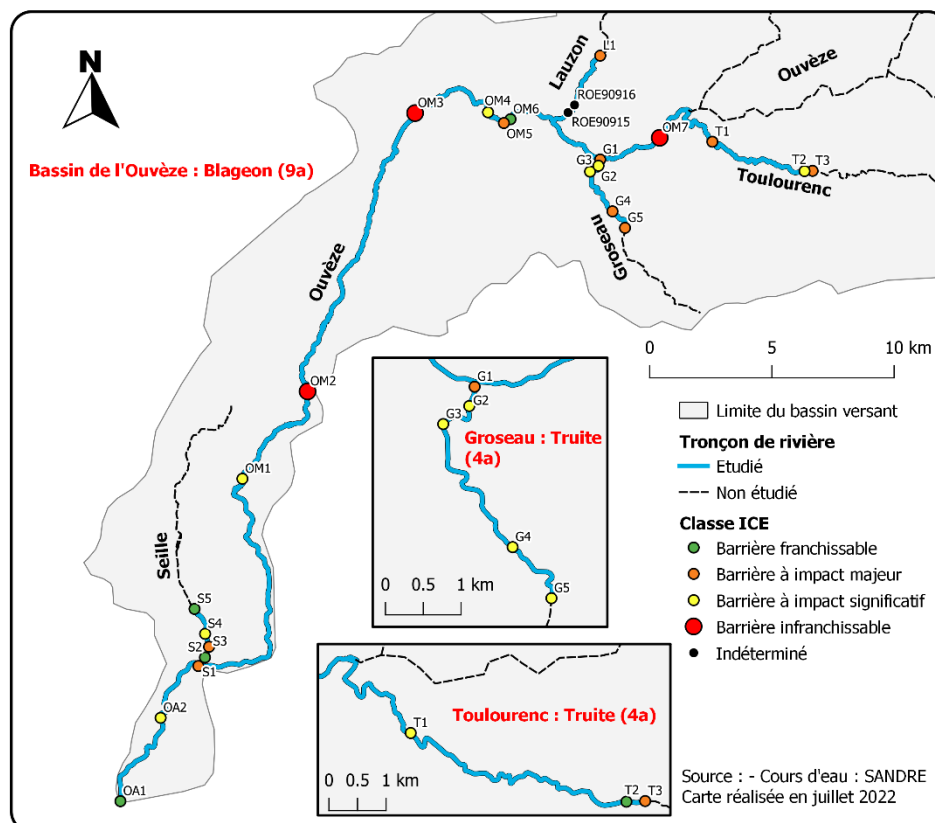


Figure 13 : La franchissabilité des ouvrages par rapport au blageon et à la truite au cours de l'année

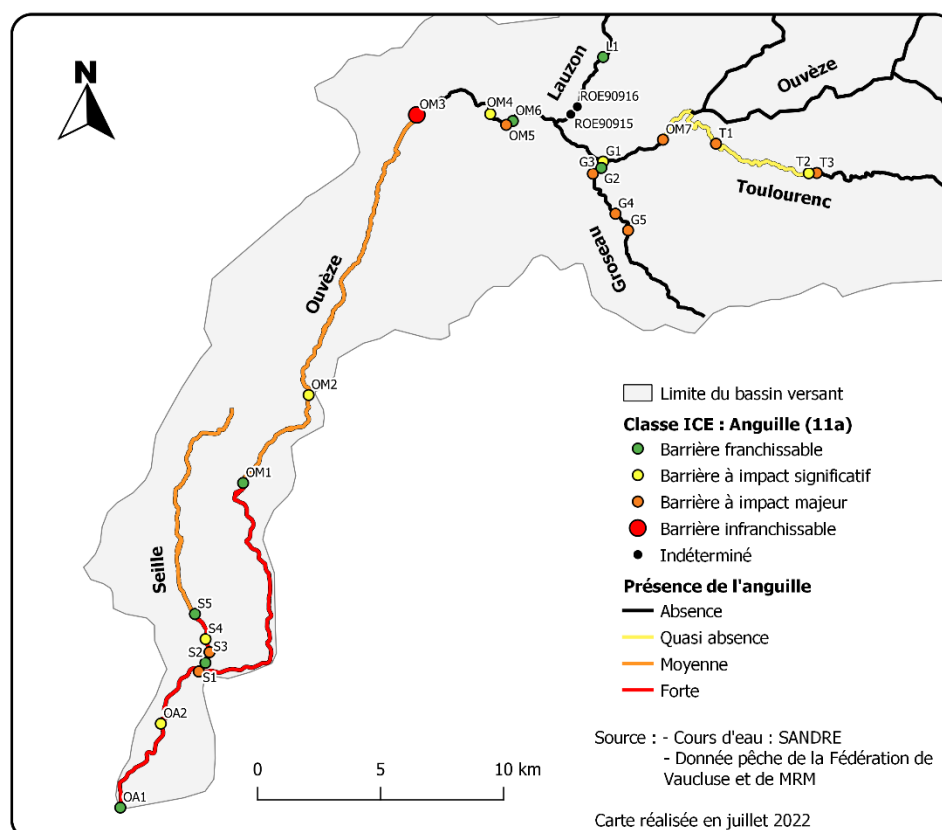


Figure 14 : La franchissabilité des ouvrages par rapport à l'anguille mis en relation avec les observations pêches

b) - Le transport sédimentaire et la qualité des habitats



Figure 15 : Retenue d'eau seuil de Ravaillet (G4)

La plupart des retenues des ouvrages sont totalement ou en partie comblées (**Figure 15**). En effet, les obstacles sont souvent anciens et les retenues se sont remplies au fur et à mesure du temps. Les déficits sédimentaires sont donc relativement faibles. Le seul ouvrage où il y a un déficit fort est sur le seuil Ravaillet (G4) (**Figure 14**). Ce déficit est caractérisé par la présence d'un petit plan d'eau à l'amont qui bloque les sédiments. Cet obstacle a aussi un impact considérable sur la qualité des habitats et la morphologie.

Sur le bassin, il ne semble n'y avoir aucun barrage qui bloque totalement les sédiments. Cependant, comme les seuils influencent la pente, ils favorisent le dépôt à l'amont à ce qui ralentit le débit solide des particules les plus grossières.

Le taux d'étagement est calculé afin de connaître la part de dénivelé impacté par les hauteurs de chutes artificielles (**Figure 15**). Ce taux est supérieur à 40% sur la Seille et l'Ouvèze aval.

Pour le reste des tronçons, le taux d'étagement est plutôt bon. Même si la densité d'ouvrage sur le Groseau est conséquente, comme sa pente naturelle est forte, les hauteurs de chutes artificielles sont gommées et le taux d'étagement est plus faible.

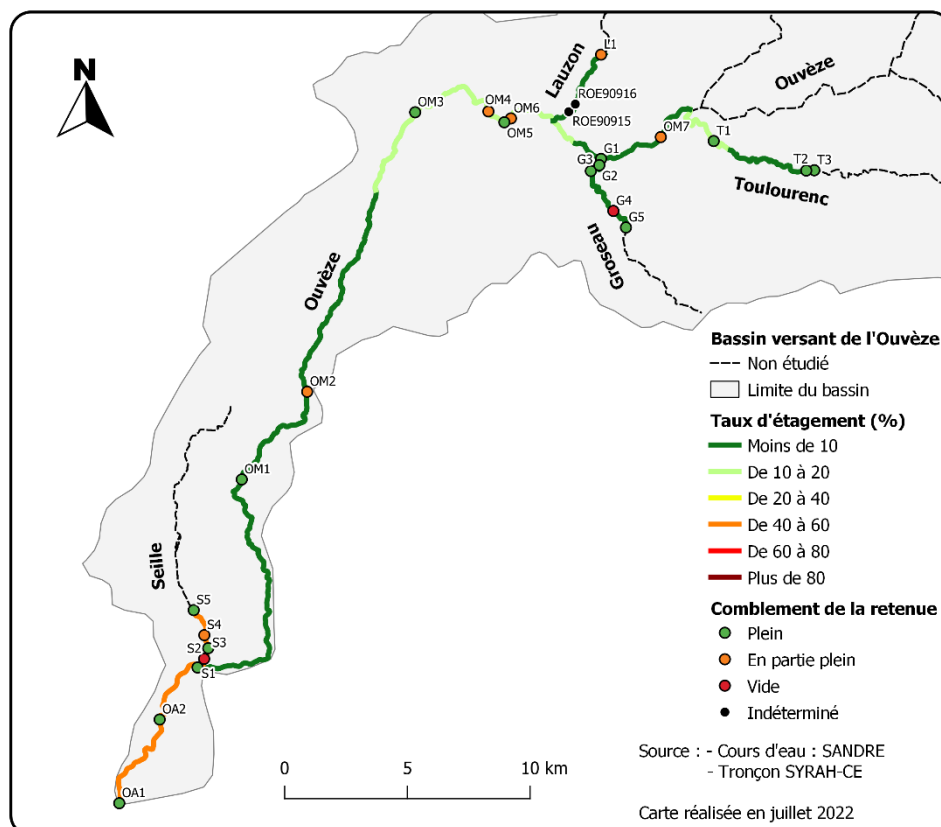


Figure 16 : Impact des ouvrages sur les habitats et la continuité sédimentaire

IV- Discussion

1)- Dégradation de la continuité écologique

a) - Impact anthropique

L'Ouvèze et ses affluents sont fortement tronçonnés par les ouvrages transversaux. Le type et l'intensité des perturbations dépendent essentiellement de la rivière et des activités anthropiques qui y sont associées. Sur l'Ouvèze, même si la densité d'ouvrage est faible, les obstacles rentrent parfois en contradiction avec les enjeux piscicoles et la qualité des milieux aquatiques. Certes le taux d'étagement n'excède pas 20% en amont de Bédarrides, mais les habitats sont tous de même impactés localement par l'effet de retenue parfois sur plusieurs kilomètres.

Ensuite, l'aloise feinte et la lamproie ne semblent pas trop être perturbées par les ouvrages puisque leur zone de reproduction est accessible même pendant leur migration. En effet, le seul obstacle pouvant encore les bloquer après la confluence avec le Rhône, est le seuil des Faysses (OA2). Or il a été classé en franchissable malgré des conditions hydrauliques dégradantes. De plus, la voie de passage est suffisamment large pour être attractive par rapport à des poissons qui se déplacent en banc tels que l'aloise. L'attractivité de la voie de passage est un critère à prendre en compte afin qu'un grand nombre d'individus puisse franchir l'obstacle et ainsi éviter l'accumulation à l'aval ou la séparation du banc (Belo et al., 2021).

Néanmoins, cet obstacle peut quand même entraîner des retards à la migration lors des étiages puisque la chute verticale qui peut devenir à jet plongeant, c'est-à-dire infranchissable par la nage. Ce qui augmenterait le stress et susceptiblement le taux de mortalité (Belo et al., 2021). Dans un contexte de changement climatique, les étiages arriveront de plus en plus tôt dans l'année et seront de plus en plus sévères. Par conséquent, les retards pourraient être accentués dû à une diminution des débits accentuant l'effet de bloquant des ouvrages.

En revanche, pour la colonisation de l'anguille, les ouvrages ont un impact bloquant avéré. C'est le seuil de Roaix (OM3) qui traduit le mieux ce manque de continuité car à l'amont presque aucun individu n'a été observé. C'est encore plus préjudiciable sachant qu'elle n'a pas accès à la plupart des affluents de l'Ouvèze dont le Toulourenc qui est classifié en ZAP.

MRM (2017) émet aussi l'hypothèse que l'anguille n'est pas retrouvée en grande quantité à l'amont de Bédarrides à cause des assecs qui ont lieu pendant sa période de migration. Comme les conditions naturelles sont médiocres, elle préférerait donc plutôt se diriger vers les bras de la Sorgue ou rester dans l'Ouvèze aval. Par conséquent, le couple des contraintes naturelles et l'effet bloquant des ouvrages dissuade la quasi-totalité des anguilles de continuer leur migration vers l'amont du bassin.

Concernant les espèces holobiotiques, les populations sont fortement fractionnées à cause des 3 principaux enrochements OM2, OM3 et OM7. Comme ils sont considérés infranchissables, il est possible de tronçonner le bassin entre lesquels les brassages de gènes sont compromis :

- De la confluence avec le Rhône jusqu'à OM2 : Caractérisé par un fort enjeu piscicole avec le brochet et les espèces amphihalines
- Entre OM2 et OM3 : Tronçon avec un faible intérêt pour l'écosystème en raison la formation des assecs.
- Entre OM3 et OM7 : où la densité d'ouvrage est la plus importante sur l'Ouvèze médiane
- L'amont de OM7 : où l'Ouvèze est encore perturbée par de nombreux obstacles au-delà de la frontière départementale (**Annexe 5**)

Finalement même si la densité d'ouvrage est réduite sur l'Ouvèze, c'est la rivière la plus fragmentée d'un point de vue biologique puisque certains d'entre eux sont totalement infranchissables.

Cependant, les canaux d'irrigation d'OM3 et OM7 peuvent aider aux brassages de gènes. En effet, les canaux sont de potentiels corridors écologiques, c'est-à-dire qu'ils sont une voie de contournement des ouvrages et permettent une homogénéisation des populations entre les tronçons (Guivier et al., 2018). Bien qu'ils se soient révélés assez contraignants, il pourrait être intéressant d'approfondir cette piste car elle n'a pas été explorée dans son intégralité. Pour ce faire, il faudrait commencer par réaliser une cartographie précise de tous les canaux et recenser tous les éléments bloquants.

Les affluents ne possèdent pas d'ouvrages totalement infranchissables mais beaucoup d'entre eux sont une barrière majeure pour les espèces cibles et ont un impact fort sur la qualité des milieux aquatiques.

La Seille est le cours d'eau le plus urbains et les ouvrages ne sont qu'une accentuation de la dégradation du milieu. Ce n'est pas le taux d'étagement élevé qui empêche la Seille d'avoir une bonne qualité d'habitat puisque son fonctionnement naturel est déjà fortement altéré. Les pressions sont importantes en raison du recalibrage, de la rectification et l'endiguement des berges.

Les ouvrages sont presque tous équipés d'une vanne que soit pour un usage agricole ou de protection contre les inondations. Ils ralentissent en partie le transport sédimentaire mais les digues implantées sur une grande partie du linéaire de la Seille altèrent elles aussi la remobilisation du sédiment.

Intrinsèquement, les peuplements piscicoles sont dégradés bien que l'anguille ait été inventoriée en quantités significatives. En effet, le réservoir d'anguilles se trouve dans l'Ouvèze aval et la Seille y est directement reliée. La biomasse pourrait tout de même être améliorée à condition que le seuil à la confluence Ouvèze / Seille soit plus facilement franchissable. L'autre obstacle qui a impact majeur est le seuil Canissimo (S3) qui n'a plus d'usage depuis l'arrêt d'exploitation de l'entreprise.

Le Groseau est lui aussi anthropisé à l'aval avec une concentration d'ouvrage conséquente. Comme c'est un cours d'eau salmonicole, l'effet de retenue a tendance à être encore plus dégradant pour le milieu. En effet, la température de l'eau est naturellement fraîche et les écoulements sont rapides. Or, les ouvrages impactent directement ces paramètres en ralentissant les écoulements et en réchauffant l'eau. Les espèces salmonicoles ne retrouvent donc plus les conditions adéquates à leur développement. Par conséquent, les retenues d'eau sur le Groseau et surtout celle du seuil de Ravaillet (G4) sont donc bien plus dommageables car cette rivière abrite une population de truites naturelle.

De plus, la plupart des obstacles du Groseau sont des seuils verticaux et donc difficilement franchissables pour des espèces non sauteuses voire infranchissables pendant les étiages.

Cependant, la truite a de bonnes capacités de franchissement et elles se reproduit pendant des périodes où les débits sont théoriquement plus hauts. Par conséquent, les ouvrages devraient être franchissables et ainsi permettre un brassage de gènes efficace entre les populations.

Le Lauzon et le Toulourenc restent moins touchés par l'impact des seuils sur la qualité des habitats et le transport sédimentaire.

Sur le Lauzon, il n'est pas très intéressant de conserver le seuil Simca 1000 (L1) juste pour éviter l'hybridation entre le barbeau fluviatile et le barbeau méridional. Premièrement, parce que même s'il a un impact majeur, il peut être franchissable dans des conditions exceptionnelles. Deuxièmement, parce que le barbeau fluviatile ne colonise pas les parties en tête de bassin. Il y devrait donc toujours y avoir une population stable de barbeau méridional. Ce seuil a de plus un effet de retenue sur plusieurs centaines de mètres et il perturbe significativement le milieu. Il reste tout de même difficile d'accès, ce qui peut rendre toutes actions de restaurations compliquées.

Enfin, les deux buses à l'aval du Lauzon n'ont certes pas été analysées précisément mais comme elles ont un impact avéré sur la continuité écologique, leur rénovation est d'autant plus justifiée (**Figure 16**).

Le Toulourenc a une faible densité d'obstacle mais T1 et T3 sont à la limite de l'infranchissable. Il faut rajouter à ça tous les petits barrages de galets touristiques qui sont extrêmement nombreux sur l'ensemble du linéaire du Toulourenc. Ils ne sont pas systématiquement détruits après le passage des touristes et chaque année plusieurs centaines sont enlevés par les écogardes du parc régional. Sur l'Ouvèze aussi, il y a des constructions de petits barrages mais dans de bien moins grandes quantités. Finalement, la dégradation de la continuité écologique et des habitats est importante par le tourisme et les ouvrages.

b) - Impact naturel

La continuité écologique est aussi impactée par des obstacles naturels. Les prendre compte permet de repenser l'analyse.

Le Lauzon est le plus concerné par cela, avec sa forte concentration de barrages de castor. Ces structures peuvent avoir une hauteur de chute importante et une retenue d'eau étendue. Cependant, comme le castor est une espèce protégée, il est interdit de détruire ses barrages qui jouent aussi un rôle dans la fonctionnalité d'un écosystème aquatique.

En effet, c'est une espèce ingénieur qui modélise son milieu permettant une hétérogénéité dans la mosaïque des habitats. Il favorise aussi la création de zones humides qui sont de bons réservoirs biologiques. Néanmoins, d'un point de vue connectivité, il y a une dégradation qui se cumule aux ouvrages anthropiques. Si les barrages de castors sont trop contraignants, une gestion peut être envisagée afin d'obtenir un équilibre entre les effets positifs et négatifs (Larsen, Larsen & Lane, 2021).

Il y a aussi les 2 cascades naturelles présentes sur le Toulourenc ou celle sur l'Ouvèze qui agissent comme un seuil bien qu'elles soient une nouvelle fois nécessaires aux milieux aquatiques toujours sous le prisme de la création d'habitats. Par conséquent, il y aura toujours une certaine fragmentation dans ces rivières mais le problème réside principalement dans la surconcentration d'ouvrages.

2)- Les ouvrages à rénover en priorité

Dans l'optique d'améliorer la continuité écologique des actions de rénovation sont nécessaires pour limiter la fragmentation et la dégradation des rivières. L'objectif est de retrouver des connexions entre les tronçons qui sont séparés par un ouvrage trop contraignant. Se fixer cette perspective permet en partie d'améliorer la résilience des cours d'eau et de retrouver le bon état écologique imposé par la DCE.

Idéalement, dès lors qu'un seuil représente une barrière majeure il faudrait améliorer la franchissabilité. Cependant, au vu de la forte densité d'ouvrages problématiques, il faut prioriser les actions de rénovation sur ceux qui ont le plus d'impacts (**Figure 16**). Pour définir si un obstacle est prioritaire ou non, seules les dégradations de la continuité écologique et des habitats ont été prises en compte. Les contraintes d'enjeux, d'acteurs ou de temps ne sont donc pas considérées. De plus, un ouvrage non prioritaire ne signifie pas dire qu'il a impact négligeable sur l'écosystème, et sa restauration peut aussi être nécessaire.

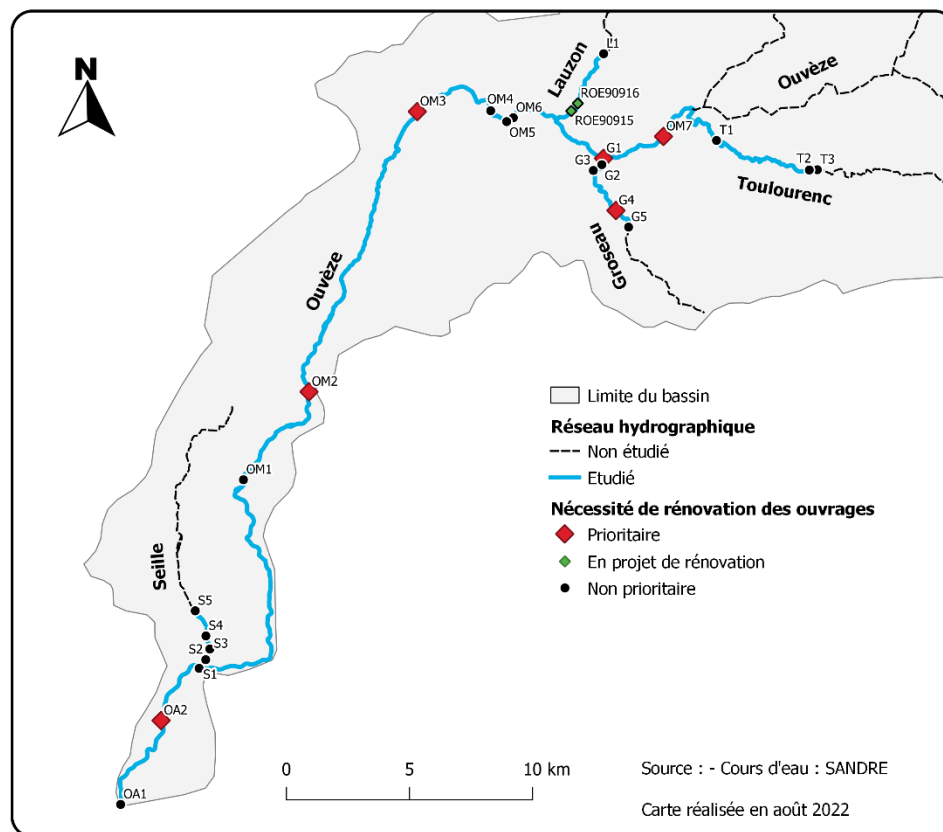


Figure 17 : Les ouvrages transversaux à traiter en priorité

Les 3 gros enrochements sur l'Ouvèze OM2, OM3 et OM7 font partie des obstacles à traiter en priorité, puisque ce sont eux qui fragmentent le plus le bassin. Il n'est pas intéressant d'un point de vue biologique de rénover seulement OM2 sans prendre en compte OM3 car il n'y a pas de caractéristiques remarquables entre les deux dues aux contraintes naturelles. Ensuite, OM7 bloque les connexions entre une partie de l'Ouvèze et le Toulourenc qui sont tous deux des réservoirs biologiques. Par conséquent, dans les meilleurs cas, il faudrait les rénover ensemble afin de supprimer tous les obstacles infranchissables sur le drain principal et ainsi améliorer considérablement la continuité.

Ensuite, le Groseau a une forte densité d'ouvrage, ce qui est contradictoire puisque c'est un cours d'eau salmonicole et un réservoir biologique. Ainsi comme G4 est le seuil qui dégrade le plus son milieu et qu'il est considéré comme barrière majeure, y compris pour la truite, il est aussi à traiter en priorité. Même chose pour G1, qui a la hauteur de chute la plus grande sur le Groseau. De plus, comme il est proche de la confluence il entrave fortement la connexion avec l'Ouvèze et limite la colonisation et la mixité des populations.

Le dernier ouvrage qui semble à prioriser est le seuil de Faysses (OA2) qui est obsolète. Même s'il ne semble pas poser de problèmes conséquents dans la continuité écologique, il est localisé dans une zone en liste 2 avec un fort enjeu piscicole et il représente une barrière pouvant être néfaste à la montaison des espèces migratrices amphihalines. Son arasement pourrait ainsi permettre la montaison de l'aloise feinte et de la lamproie marine, même lors de faibles débits entre avril et juin.

3)- Critique de la méthode

Le protocole ICE s'applique bien pour une étude d'envergure sur un bassin versant. Certes, l'application de la méthodologie apparaît aux premiers abords complexe, en raison des différents types

d'ouvrage, mais la prise des mesures reste fluide et rapide. Il n'y a que sur S1 où il était trop compliqué d'appliquer la méthode car le site est escarpé et comme il s'agit d'un grand barrage avec la lunette topographique il était impossible de prendre toutes les cotes du profil en long. De plus, il aurait été difficile de faire encore plus d'obstacles en élargissement la zone d'étude d'un point de vue planning.

Cependant, la plus-value de prendre autant de temps sur le terrain est que l'analyse de franchissabilité se fonde essentiellement sur des données factuelles et non pas sur avis d'expert. Ce qui permet d'avoir une note cohérente et comparable entre les différents acteurs qui réalisent une étude ICE.

Il aurait été intéressant de coupler cette étude ICE avec une étude sur la continuité sédimentaire plus poussées. En effet, l'analyse de perturbation du transport sédimentaire est relativement superficielle. D'autres critères auraient pu être pris en compte comme les caractéristiques sédimentaires à l'aval du seuil, ou encore le piégeage des sédiments les plus grossiers à l'amont (Dreal, 2013).

Ensuite, réaliser les mesures ICE en période d'étiage dans un bassin méditerranéen n'est sans doute pas la meilleure option. Dans cette région, les rivières sont soumises à des étiages sévères provoquant de très faibles tirants d'eau. La quasi-totalité des ouvrages obtenaient ainsi la classe « infranchissable » en raison des débits réduits. Le moindre radier peut devenir une barrière infranchissable à lui tout seul. Par conséquent, il serait mieux de se focaliser lors de périodes plus favorables, d'un point de vue biologique et praticabilité du terrain par exemple au printemps.

Par retour d'expérience, le protocole sur les mesures des enrochements ne semble pas être idéal. Le principe est de prendre la cote de fond amont et aval de l'obstacle puis la longueur du coursier afin de calculer la pente. Certes, les mesures sont rapides à réaliser. En revanche, le coursier des enrochements a souvent des changements dans la pente pouvant être lissés en réalisant cette méthode. Le problème c'est que plus la pente est forte plus il est difficile pour les poissons de franchir. Il serait sans doute plus pertinent de directement faire un profil en long comme pour les seuils inclinés afin d'assurer les valeurs des pentes.

De plus, la reptation de l'anguille est assez vague. ICE indique qu'il faut une surface rugueuse inclinée avec un faible tirant inférieur à 2cm pour permettre la reptation. Cependant, la rugosité du coursier n'intervient pas vraiment dans le calcul et c'est juste un critère visuel qui peut être plus ou moins pris en compte par l'opérateur. De par ses capacités exceptionnelles, l'anguille peut ramper à travers un terrain humide sur plusieurs dizaines de mètres avant de trouver un point d'eau. Ce qui indique que la reptation peut être bien plus complexe.

Il existe d'autres méthodes pour juger les voies de reptation comme celle de Steinbach (2001) qui applique une grille d'évaluation sur des critères à regard d'expert. Cette méthode n'a pas été retenue car les opérateurs n'étaient pas formés mais elle est utilisée par MRM.

Enfin, un ouvrage peut avoir une voie de passage franchissable mais seulement une fraction de la population qui arrive à la trouver. Finalement, une grande partie des individus se retrouve bloquée. Ceci est d'autant plus problématique pour les poissons grégaires comme l'aloise qui peuvent s'accumuler en pied d'ouvrage si la voie de passage n'est pas suffisamment attractive. D'ailleurs, c'est sûrement en partie pour cette raison que la première passe à poisson à la confluence Ouvèze / Rhône n'était pas efficace car non adaptée à leur comportement grégaire.

Peu importe la largeur de la voie de passage par rapport à la largeur totale du coursier, ICE va toujours prendre en compte la voie la plus favorable au franchissement alors qu'il peut y avoir un effet bloquant bien plus important.

4)- Suite du stage

Pour donner suite au stage, des informations supplémentaires peuvent être intéressantes pour appuyer l'analyse de franchissabilité. Retourner sur le terrain courant février pour reprendre des mesures là où sont considérés la truite et le brochet apparaît important, ce qui permettra de coller au mieux avec leur période de reproduction/migration. Il serait également possible d'améliorer les connaissances des canaux d'irrigation comme potentielles voies de contournement des ouvrages.

Dans un second temps, l'étude peut aussi être élargie jusqu'à l'Ouvèze Drômoise et sur tout le linéaire amont des affluents. Il reste encore des ouvrages qui ont potentiellement un impact sur la continuité écologique.

Enfin, il faudrait compléter la base de données ROE avec les ouvrages non référencés.

Conclusion

Au total 25 ouvrages ont été étudiés sur la partie du bassin vaclusien, et nombreux sont ceux qui ont au moins un impact majeur sur la continuité écologique. L'Ouvèze est une rivière fragmentée principalement par 3 gros enrochements infranchissables. Il faudrait donc rénover ces obstacles en priorité afin de permettre à l'Ouvèze de retrouver de meilleures connexions entre les tronçons et une meilleure qualité d'habitat. De plus, la migration de l'anguille s'arrête en aval du seuil de Roaix (OM3) qui apparaît fortement bloquant.

Si la passe à poissons à la confluence Ouvèze / Rhône est efficace, l'aloise feinte et de la lamproie pourront avoir accès à des frayères intéressantes sans être trop contraint dans leur migration par des barrières physiques. Le seuil des Faysses (OA2) est le seul obstacle pouvant entraîner des retards à la migration mais sa hauteur de chute reste faible.

Les affluents de l'Ouvèze sont soumis à une importante concentration d'ouvrages surtout pour le Groseau et la Seille. Néanmoins, les seuils ne sont pas l'unique pression anthropique qui entraînent la dégradation des milieux aquatiques. Cependant, c'est d'autant plus dommageable pour le Groseau qui est un cours d'eau salmonicole et un réservoir biologique. De plus, les obstacles sont souvent infranchissables en période d'étiage et pendant la reproduction de certaines espèces cibles.

Bibliographie

AFB. (2014). Caractérisation des potentialités d'accueil de la partie basse de l'Ouvèze (Vaucluse) vis-à-vis de l'aloise feinte du Rhône : hydrologie, thermie, frayères potentielles au printemps 2014.

Baggio, R., Araujo, S., Ayllón, D., & Boeger, W. (2018). Dams cause genetic homogenization in populations of fish that present homing behavior: Evidence from a demogenetic individual-based model. *Ecological Modelling*, 384, 209-220. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2018.06.019

Belo, A., Cardoso, G., Pereira, E., Quintella, B., Mateus, C., & Alexandre, C. et al. (2021). Fish pass use by shads (*Alosa alosa* L. and *Alosa fallax* [Lacépède, 1803]): Implications for monitoring and management. *Ecohydrology*, 14(5). doi: 10.1002/eco.2292

Crivelli, A., & Hermeloup, C. (2013). *L'anguille européenne*. Tour du Valat

Delmotte, S., Guillerault, N., Poulet, N. and Santoul, F., 2015. Etudes des interactions du Silure glane (*Silurus glanis*) avec l'ichtyofaune métropolitaine. *Rapport final de l'Onema*.

Dreal. (2013). Synthèses des connaissances & proposition d'une méthode d'évaluation de l'impact des ouvrages transversaux sur la continuité sédimentaire des cours d'eau.

Eau France. (2020) Les obstacles à l'écoulement des eaux de surface. Disponible sur : <https://www.eaufrance.fr/les-obstacles-lecoulement-des-eaux-de-surface> (Consulté le : 30 juillet 2022).

Gontier, B., Quatrelièvre, D., & Mayis, A. (2012). Sous bassin versant de l'Ouvèze, Rapport Phase 4 : Détermination des débits biologiques d'étiage et objectifs de niveau en nappe • Octobre 2012. GREBE

Guivier, E., Gilles, A., Pech, N., Dufлот, N., Tissot, L., & Chappaz, R. (2018). Canals as ecological corridors and hybridization zones for two cyprinid species. *Hydrobiologia*, 830(1), 1-16. doi: 10.1007/s10750-018-3843-1

ICE. (2014). Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons. OFB

ICE. (2015). ICE Informations sur la continuité écologique Protocole de terrain pour l'acquisition des données. OFB

Keith, P., Persat, H., Feunteun, E., & Allardi, J. (2014). Les Poissons d'eau douce de France (1st ed.). BIOTOPE.

Larsen, A., Larsen, J., & Lane, S. (2021). Dam builders and their works: Beaver influences on the structure and function of river corridor hydrology, geomorphology, biogeochemistry and ecosystems. *Earth-Science Reviews*, 218, 103623. doi: 10.1016/j.earscirev.2021.103623

Magilligan, F., Nislow, K., Kynard, B., & Hackman, A. (2016). Immediate changes in stream channel geomorphology, aquatic habitat, and fish assemblages following dam removal in a small upland catchment. *Geomorphology*, 252, 158-170. doi: 10.1016/j.geomorph.2015.07.027

MRM. (2017). Caractérisation des enjeux migrateurs sur l'Ouvèze provençale.

Etude de la continuité écologique du bassin versant de l'Ouvèze (84) à l'aide du protocole ICE

Naturalia. (2012). DOcument d'Objectifs FR9301577, Zone Spéciale de Conservation « L'Ouvèze et le Toulourenc ». Avignon.

SCE. (2022). Etude hydromorphologique de l'Ouvèze - définition de l'espace de bon fonctionnement, Phase 2 - Etude hydromorphologique.

Steinbach, P. (2001). Effets cumulés sur les poissons migrateurs, état et restauration des grands axes de migration du bassin de la Loire. *Hydroécologie Appliquée*, 13, 115-130. doi: 10.1051/hydro:2001011

SDAGE Loire-Bretagne. (2017). *Utilisation des indicateurs de pression imputable aux ouvrages transversaux : taux d'étagement et taux de fractionnement*.

Vannote, R., Minshall, G., Cummins, K., Sedell, J., & Cushing, C. (1980). The River Continuum Concept. *Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences*, 37(1), 130-137. doi: 10.1139/f80-017

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 1 |
| I- Contexte général de l'étude | 2 |
| 1)- Présentation de l'organisme d'accueil | 2 |
| a) Les Fédérations départementales pour la pêche et la protection du milieu aquatique (FDPPMA) | 2 |
| b) La Fédération de Vaucluse | 2 |
| 2)- La notion de continuité biologique | 2 |
| a) La migration des poissons | 2 |
| b) La fragmentation des habitats aquatiques | 3 |
| 3)- La continuité sédimentaire et la dégradation des milieux aquatiques | 4 |
| 4)- La franchissabilité d'un ouvrage | 5 |
| a) La capacité biologique des poissons | 5 |
| d) Le type d'ouvrage | 6 |
| c) La configuration de l'ouvrage | 7 |
| b) Les conditions hydrauliques | 7 |
| II- Matériel et méthode | 8 |
| 1)- Site d'étude : Le bassin versant de l'Ouvèze provençale | 8 |
| a) - Localisation | 8 |
| b) - Présentation du site | 8 |
| c)- Un territoire d'intérêt | 9 |
| c)- Un territoire sous pression | 10 |
| 2)- Inventaire des ouvrages transversaux | 11 |
| 3)- Choix des espèces cibles | 11 |
| 4)- Le protocole ICE | 12 |
| a) Description de l'ouvrage | 12 |
| b) Mesure selon le type d'ouvrage | 12 |
| c) Classes ICE | 13 |
| d) Condition hydraulique | 15 |
| 5) Effet cumulé des obstacles : Taux d'étagement | 16 |
| III- Résultat | 16 |
| 1) - Inventaire des ouvrages | 16 |
| 2) - Les espèces cibles | 18 |
| 3) - Impact sur la continuité écologique | 19 |
| a) - Franchissabilité | 19 |
| b) - Le transport sédimentaire et la qualité des habitats | 23 |
| IV- Discussion | 24 |
| 1)- Dégradation de la continuité écologique | 24 |
| a) - Impact anthropique | 24 |
| b) - Impact naturel | 26 |
| 2)- Les ouvrages à rénover en priorité | 26 |
| 3)- Critique de la méthode | 27 |
| 4)- Suite du stage | 29 |
| Conclusion | 29 |

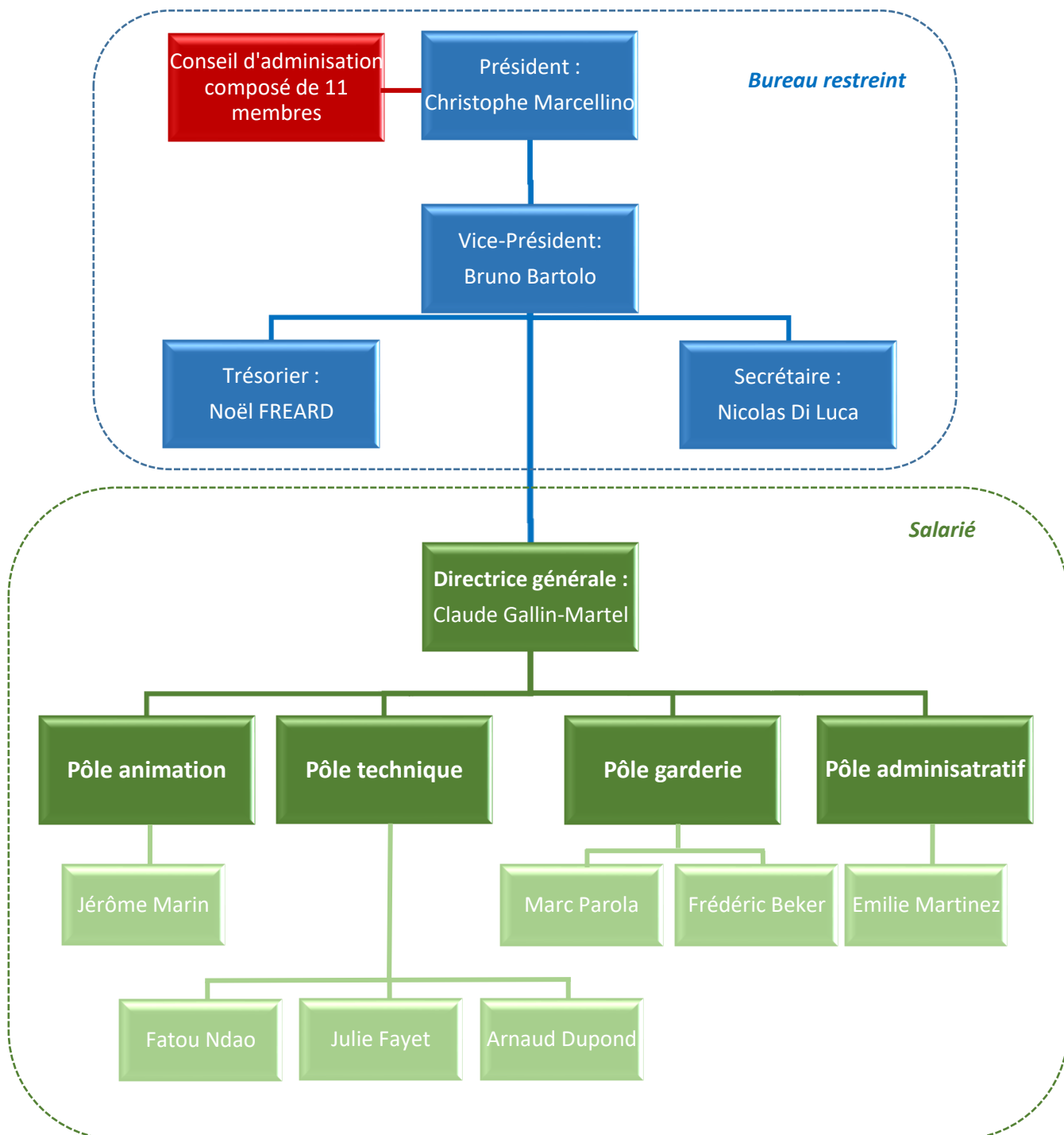
Index des illustrations

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Retenue d'eau entièrement comblées (OM5)..... | 4 |
| Figure 2 : Les structures d'ouvrages..... | 6 |
| Figure 3 : Les différentes configurations sur les ouvrages..... | 7 |
| Figure 4 : Localisation du réseau hydrographique de l'Ouvèze | 8 |
| Figure 5 : Enrochement construit par des touristes..... | 10 |
| Figure 6 : Obstacle à l'écoulement non référencé dans le ROE | 11 |
| Figure 7 : Les ouvrages étudiés relié au taux d'étagement..... | 17 |
| Figure 8: Proportion des différents usages des ouvrages | 18 |
| Figure 9 : Proportion des différents types d'ouvrage | 18 |
| Figure 10 : Obstacles à l'écoulement naturels | 18 |
| Figure 11 : Débit moyen mensuel entre avril et août sur plusieurs années. Station : Bédarrides..... | 20 |
| Figure 12 : La franchissabilité des ouvrages par rapport au blageon et à la truite au cours de l'année | 22 |
| Figure 13 : La franchissabilité des ouvrages par rapport à l'anguille mis en relation avec ses observations lors des pêches | 22 |
| Figure 14 : Retenue d'eau seuil de Ravaillet (G4)..... | 23 |
| Figure 15 : Impact des ouvrages sur les habitats et la continuité sédimentaire..... | 23 |
| Figure 16 : Les ouvrages transversaux à traiter en priorité..... | 27 |

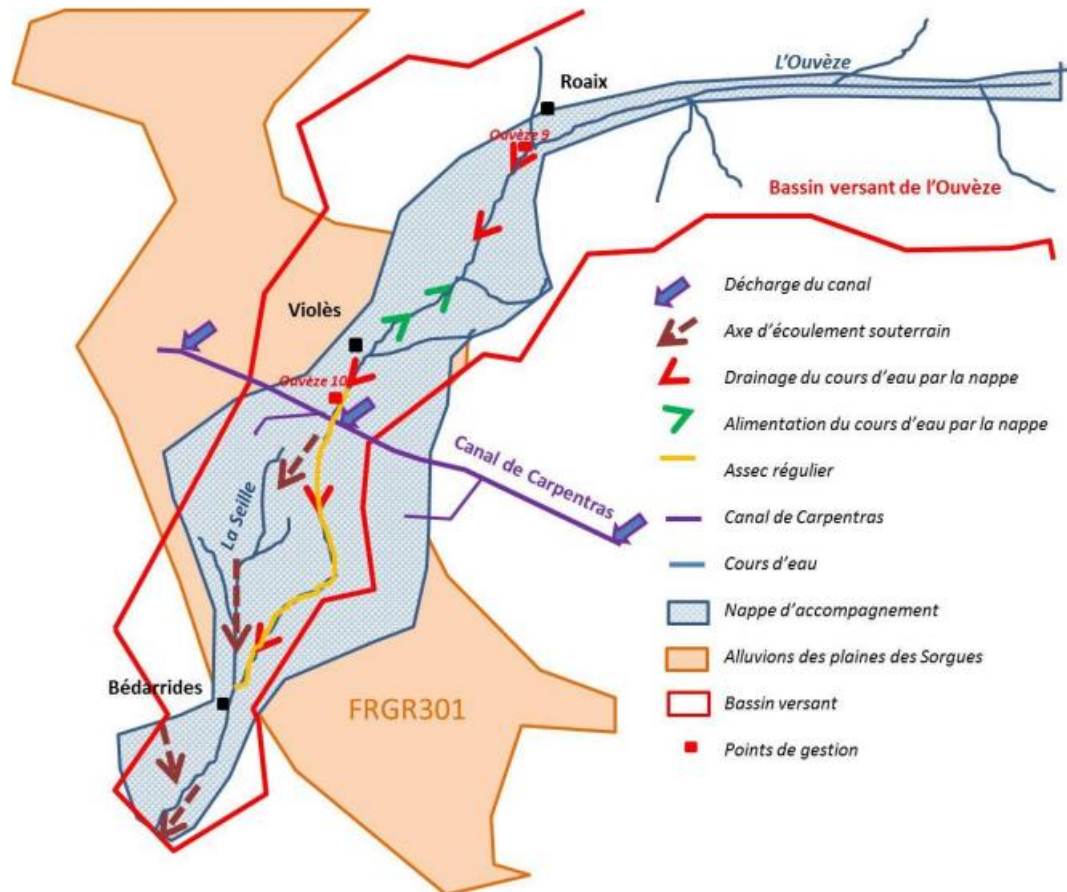
Index des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Les principales perturbations provoquées par les ouvrages transversaux sur une rivière .. | 5 |
| Tableau 2 : Les conditions permettant de calculer la note ICE | 14 |
| Tableau 3 : Description des classes ICE | 15 |
| Tableau 4 : Résumé du nombre d'obstacle à l'écoulement sur le bassin de l'Ouvèze) | 17 |
| Tableau 5 : Les périodes de reproduction des espèces cibles..... | 20 |

Annexe 1 : Organigramme de la fédération de pêche du Vaucluse



Annexe 2 : Elargissement de la nappe alluviale de l'Ouvèze qui entraîne des zones d'assec. Source : Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse.



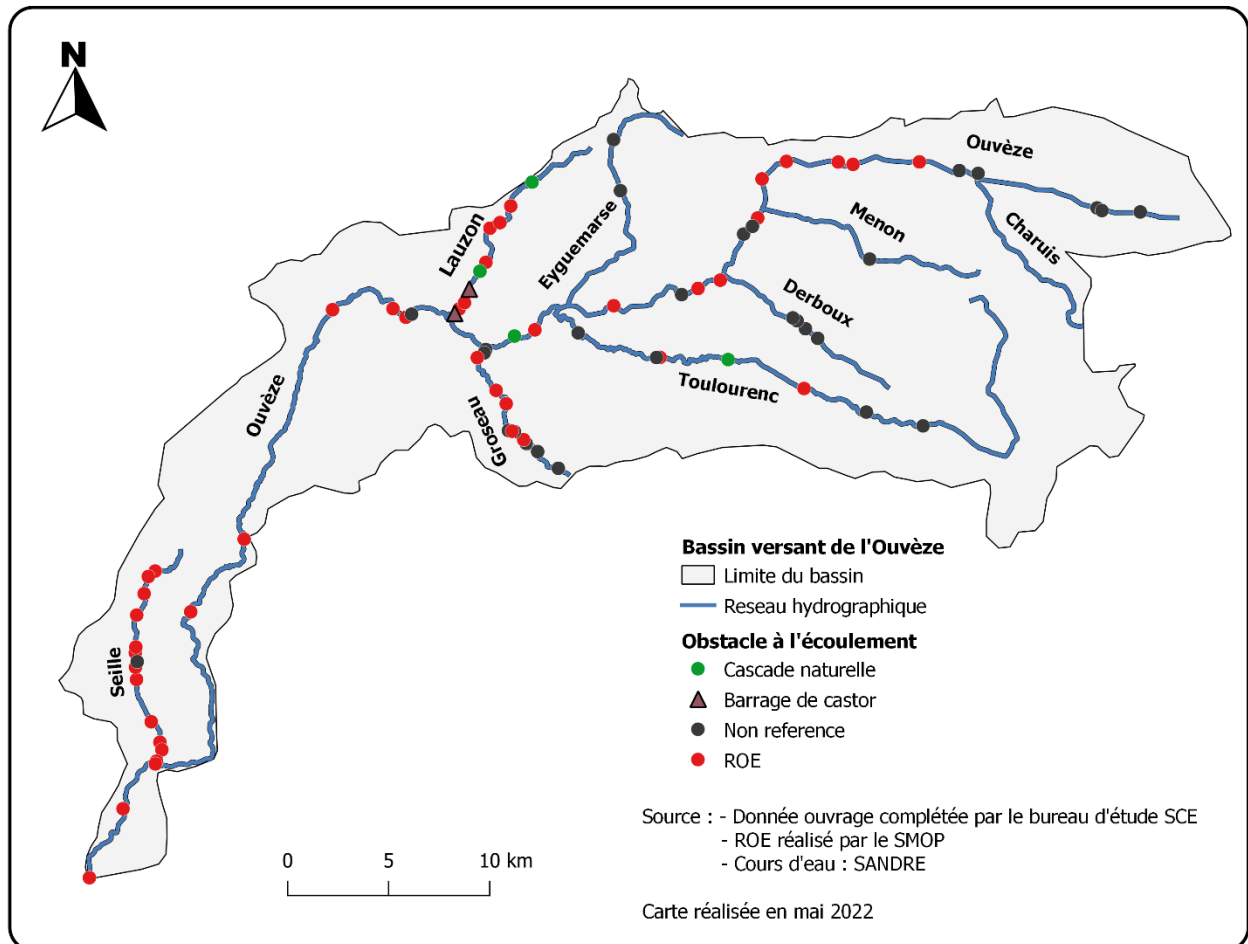
Annexe 3 :

| Ouvrage et Localisation | Accès | Code photo | Remarque (vanne, type d'ouvrage, partie mixte, DH estimée, reptation) | Schéma |
|-------------------------|-------|------------|---|--------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Annexe 4 : Les espèces piscicoles et leur code ICE

| Espèces | Groupe ICE |
|--|------------|
| Able de Heckel (<i>Leucaspis delinestus</i>) | 10 |
| Ablette commune (<i>Alburnus alburnus</i>) | 9a |
| Ablette spritlin (<i>Alburnoides bipunctatus</i>) | 9a |
| Alose feinte (<i>Alosa fallax fallax</i>) | 3b |
| Anguille européenne [civelle] (<i>Anguilla anguilla</i>) | 11b |
| Anguille européenne [jaune] (<i>Anguilla anguilla</i>) | 11a |
| Apron (<i>Zingel asper</i>) | 9b |
| Aspe (<i>Aspius aspius</i>) | 5 |
| Barbeau fluviatile (<i>Barbus barbus</i>) | 7a |
| Barbeau méridional (<i>Barbus meridionalis</i>) | 9a |
| Blageon (<i>Telestes souffia</i>) | 9a |
| Bouvière (<i>Rhodeus amarus</i>) | 10 |
| Brème bordelière (<i>Blicca bjoerkna</i>) | 8c |
| Brème commune (<i>Abramis brama</i>) | 8b |
| Brochet (<i>Esox lucius</i>) | 5 |
| Carassin (<i>Carassius carassius</i>) | 9a |
| Carassin argenté (<i>Carassius gibelio</i>) | 9a |
| Carpe commune (<i>Cyprinus carpio</i>) | 8a |
| Chabots (<i>Cottus</i> sp) | 9b |
| Chevaine (<i>Squalius cephalus</i>) | 7a |
| Epinoche (<i>Gasterosteus gymmnus</i>) | 10 |
| Epinochette (<i>Pungitius laevis</i>) | 10 |
| Gardon (<i>Rutilus rutilus</i>) | 9a |
| Goujons (<i>Gobio</i> sp) | 9b |
| Grande alose (<i>Alosa alosa</i>) | 3a |
| Grémille (<i>Gymnocephalus cernuus</i>) | 9b |
| Hotu (<i>Chondrostoma nasus</i>) | 7a |
| Idé melanote (<i>Leuciscus idus</i>) | 8c |
| Lamproie de Planer (<i>Lampetra planeri</i>) | 9b |
| Lamproie fluviatile (<i>Lampetra fluviatilis</i>) | 7b |
| Lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>) | 3c |
| Loche de rivière (<i>Cobitis taenia</i>) | 9b |
| Loche franche (<i>Barbatula barbatula</i>) | 9b |
| Lotte de rivière (<i>Lota lota</i>) | 8c |
| Mulets (<i>Chelon labrosus</i> , <i>Liza ramada</i>) | 2 |
| Ombre commun (<i>Thymallus thymallus</i>) | 6 |
| Perche (<i>Perca fluviatilis</i>) | 8c |
| Rotengle (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>) | 9a |
| Sandre (<i>Sander lucioperca</i>) | 8b |
| Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>) | 1 |
| Tanche (<i>Tinca tinca</i>) | 8c |
| Toxostome (<i>Parachondrostoma toxostoma</i>) | 9a |
| Truite de mer ou de rivière [50-100] (<i>Salmo trutta</i>) | 1 |
| Truite de rivière [15-30] (<i>Salmo trutta</i>) | 4b |
| Truite de rivière ou truite de mer [25-55] (<i>Salmo trutta</i>) | 4a |
| Vairons (<i>Phoxinus</i> sp) | 10 |
| Vandoises (<i>Leuciscus</i> sp hors <i>Idus</i>) | 8d |

Annexe 5 : Ensemble des obstacles à l'écoulement sur le bassin versant de l'Ouvèze





POLYTECH
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Julien BOCCHINO
22013056 (t)
2021-2022

Titre : Etude de la continuité écologique du bassin versant de l'Ouvèze (84) à l'aide du protocole ICE

Résumé : Les ouvrages transversaux fragmentent les rivières tout en détériorant la qualité morphologique et physico-chimique des habitats aquatiques. Les peuplements piscicoles peuvent être bloqué ou retardé dans leur déplacement à cause de ces ouvrages et leur population est fragilisée. Afin d'étudier ces impacts le protocole ICE a été créé pour déterminer la franchissabilité des obstacles.

Ce protocole est réalisé sur le bassin versant de l'Ouvèze, affluent méditerranéen du Rhône, qui possède de forts enjeux par rapport aux poissons migrateurs et patrimoniaux. Quelques seuils ont été identifiés comme particulièrement impactant sur la continuité écologique et des actions de restauration pourraient être mises en place pour permettre à tout le bassin de retrouver une meilleure qualité d'habitat.

Mots Clés : ICE, ROE, continuité écologique, taux d'étagement, inventaire piscicole

Fédération de pêche du Vaucluse :
575 Chemin des Fontanelles, 84800 L'Isle-sur-la-Sorgue



Tuteur entreprise :

Julie FAYET

Technicienne de rivière

Tuteur académique :

Michel BACCHI