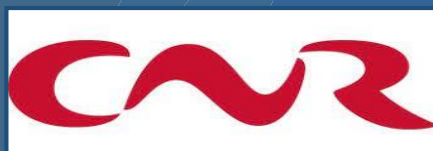

Projet de Fin d'Etudes (PFE) 2022-2023 :

5^{ème} année Ingénierie des Milieux Aquatiques

Les nouvelles méthodes pour étudier l'efficacité des passes à poissons

Compagnie Nationale du Rhône (CNR)
2 Rue André Bonin, 69004 Lyon



Tuteur entreprise :

Franck Pressiat

Directeur du pôle environnement de la DIGP

Julien BOCCHINO

22013056 (t)

IMA

Tuteur académique :

Catherine Boisneau

Université de Tours - UMR

Avertissement

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'Aménagement et de l'Environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,

Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement

Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

Remerciements

Je tenais tout d'abord à remercier toute l'équipe de la DIGP pour m'avoir accueilli et pour m'avoir partagé leur expérience. Ce n'est jamais simple de s'intégrer dans une nouvelle structure surtout dans une entreprise aussi grande que CNR, donc merci tous les salariés pour leur bienveillance.

Je suis vraiment reconnaissant que la CNR m'ait donné l'occasion d'être alternant, de par toutes ses compétences en restauration et ses connaissances sur le Rhône qu'elle peut m'apprendre. J'ai conscience que c'est une chance de pouvoir se développer dans une telle structure.

Je remercie aussi Catherine Boisneau qui s'est toujours montrée disponible pour des rendez-vous afin de m'aiguiller dans mon alternance, mais aussi pour les articles scientifiques et les livres qu'elle m'a proposés pour enrichir ma recherche bibliographique.

J'aimerais terminer ces remerciements par Franck Pressiat qui est mon tuteur professionnel. Merci, pour m'avoir fait confiance et pour m'avoir suivi tout le long de ces 5 premiers mois.

Sommaire

Introduction.....	1
1. Contexte de l'étude.....	2
1. 1. Le Rhône et son concessionnaire : la CNR	2
1. 1. 1. Présentation du Rhône	2
1. 1. 2. Histoire et organisation de l'entreprise	4
1. 1. 3. Les missions de la DIGP.....	5
1. 2. La continuité écologique	5
1. 2. 1. Définition et importance de la continuité écologique.....	5
1. 2. 2. La menace des ouvrages transversaux	6
2. Assurer la continuité écologique grâce aux ouvrages de franchissement.....	8
2. 1. Les ouvrages de franchissement	8
2. 1. 1. Définition	8
2. 1. 2. L'efficacité d'une passe à poissons	9
2. 1. 3. La législation	11
2. 1. 4. Les compétences de la CNR et sa politique	12
2. 2. Les différents types d'ouvrages de franchissement	13
2. 2. 1. Méthode de recherche	13
2. 2. 2. Les passes à poissons à structure technique	13
2. 2. 3. Les passes à poissons à structure naturelle	14
2. 2. 4. Les structures de franchissement à objectif spécial	14
2. 3. Les barrages de la CNR et leurs ouvrages de franchissement	14
2. 3. 1. Synthèse des obstacles à l'écoulement sur le Rhône	14
2. 3. 2. Synthèse des dispositifs de franchissement de la CNR.....	16
2. 3. 3. Synthèse des dispositifs de franchissement sur tout le bassin du Rhône	19
3. L'efficacité d'une passe à poissons.....	21
3. 1. Les outils pour mesurer l'efficacité	21
3. 1. 1. Avant-propos et méthode de recherche	21
3. 1. 2. Suivre les poissons de l'approche jusqu'à la sortie de la passe.....	21
3. 1. 3. Compter les poissons à la sortie de la passe	22
3. 1. 4. Développement d'outils ambitieux	24
3. 2. Les mesures d'efficacité des passes à poissons de la CNR.....	25
Conclusion	30

Introduction

« Dans les rivières françaises, il y a plus de 100 000 obstacles à l'écoulement, c'est-à-dire un obstacle tous les 5 km » (Eau France, 2020). S'il y en a autant, c'est parce que de nombreux usages leur sont associés, comme par exemple stocker de l'eau, produire de l'électricité ou encore pour un intérêt patrimonial. Néanmoins, ces obstacles induisent des perturbations dans le fonctionnement naturel des cours d'eau.

Tout d'abord, ils dégradent la qualité des milieux aquatiques à cause de la retenue d'eau qui se forme à l'amont de l'ouvrage. Cette zone lenticule piège les sédiments qui ne sont plus restitués à l'aval entraînant un déficit sédimentaire. De plus, les paramètres physico-chimiques sont dégradés, principalement à cause de l'homogénéisation des écoulements et le réchauffement de l'eau.

Le deuxième effet majeur provoqué par les ouvrages transversaux est la fragmentation des habitats et des populations. Puisque les migrations de certaines espèces peuvent être compromises face à une barrière physique qui leur empêche de compléter leur cycle biologique.

Les flux de sédiments et des organismes vivants sont des éléments indispensables pour stabiliser et assurer la résilience des écosystèmes aquatiques. En effet, les sédiments permettent d'entretenir et de créer une diversité d'habitats qui va être utilisée par les espèces aquatiques. Cependant, elles doivent parfois parcourir une longue distance pour y avoir accès. La continuité écologique est donc le terme qui regroupe à la fois la notion sédimentaire et biologique.

La Compagnie Nationale du Rhône (CNR) est le concessionnaire du Rhône, qui est un des fleuves majeurs de France et aussi un corridor important dans la migration de nombreuses espèces piscicoles (Bravard & Clemens, 2008). Parmi ces espèces, certaines ont des statuts de protection particuliers tels que l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) qui est classée en danger critique d'extinction. Par conséquent, il est d'autant plus important de garantir la continuité écologique sur le Rhône.

Or, en parallèle, la CNR est aussi productrice d'énergie verte grâce à des centrales hydro-électriques qui sont des barrières infranchissables. Comme, la réglementation exige d'assurer les connexions amont et aval, cette entreprise se doit de limiter les impacts de ses aménagements hydrauliques. Un des moyens pour y arriver est de les équiper avec des passes à poissons qui sont des structures spécialement conçues pour s'adapter aux capacités de franchissement des poissons (Lucas & Baras, 2001). Il existe toute une variété de dispositifs et un premier travail de ce rapport sera de résumer les différents designs.

Enfin, la conception d'une passe à poissons est propre à chaque obstacle à l'écoulement car le contexte, les espèces cibles, la hauteur de chute et le débit de la rivière sont tous différents. Il y a donc nécessité de faire de nombreuses études techniques et biologiques pour vérifier que les poissons soient capables de franchir le dispositif. Néanmoins, ces études sont complexes et il n'est pas certain que tous les paramètres requis pour assurer le franchissement soient réunis (Roscoe & Hinch, 2010). Par conséquent, une passe peut se révéler inefficace, c'est-à-dire que les objectifs de restauration de la continuité piscicole ne sont pas atteints.

Pour vérifier l'efficacité d'une passe, une étude de suivi devrait être systématiquement réalisée (Roscoe & Hinch, 2010). Pour ce faire, il existe déjà des protocoles pertinents mais de nouvelles méthodes sont en développement et elles devraient à terme diminuer les coûts et les temps d'acquisition des données.

Comme la CNR gère de nombreux ouvrages, elle aimerait explorer ces pistes de recherches pour automatiser les procédés tout en ayant la même qualité de données. Dans un deuxième temps, ce rapport va donc résumer les méthodes pour mesurer l'efficacité des passes à poissons qui sont en cours de développement.

1. Contexte de l'étude

1. 1. Le Rhône et son concessionnaire : la CNR

1. 1. 1. Présentation du Rhône



Figure 1 : Vue aérienne du Rhône

Le Rhône (**Figure 1**) est le 3^{ème} plus long fleuve de France. Il prend sa source dans le massif du Saint-Gothard en Suisse, et il se jette dans la mer Méditerranée au niveau du delta de la Camargue. Il rejoint le lac du Léman qui est le plus grand réservoir d'eau douce d'Europe. Le linéaire de ce fleuve est de 810 km pour un bassin versant de 97 000 km² soit 18% du territoire français (Bravard & Clemens, 2008).

Le Rhône a un régime hydrologique complexe. Il est d'abord alimenté en eau grâce à la fonte d'un glacier, mais à cause du changement

climatique, ce glacier a tendance à régresser. Il est aussi alimenté par la fonte des neiges plutôt sur la partie alpine et par les précipitations. De plus, ce fleuve possède de nombreux affluents comme la Saône (480 km), la Durance (305 km), l'Isère (290 km) et l'Ain (195 km). À eux 4, ils contribuent à plus de la moitié du débit total du fleuve.

L'addition de chacune de ces alimentations en eau fait que le Rhône a un module annuel de 1700 m³/s quand il se jette dans la mer Méditerranée. Il y a tout de même une forte variabilité entre les saisons surtout au sud de son bassin à cause des étiages sévères.

Historiquement, le Rhône a été profondément modifié par les activités anthropiques que ce soit par la navigation, l'agriculture, la production d'électricité, l'urbanisation et l'extraction de sédiments dans le lit mineur (MTES, 2020).

Comme la plupart des grands cours d'eau, la navigation fluviale sur le Rhône était un point-clé pour le développement de la vallée. Afin de faciliter et augmenter la période navigable, des aménagements ont été entrepris pour concentrer les flux d'eau sur un seul chenal. Ces travaux se sont traduits par une unichenalisation et une déconnexion des bras secondaires aussi appelés îlons. Même si avec l'arrivée du chemin de fer, la part du transport fluvial a diminué, il est toujours bien implanté dans le territoire avec une quinzaine d'écluses qui assurent les connexions sur chaque tronçon.

Le Rhône est aussi utilisé pour sa ressource en eau avec l'irrigation des parcelles agricoles ou des industries, notamment avec les centrales nucléaires. Ces activités ont contribué à la dégradation de la qualité chimique de l'eau par l'introduction de polluants tels que les produits phytosanitaires, les PCB ou les composés perfluorés. De nos jours, les normes de rejets se sont améliorées mais la problématique des micropolluants est toujours présente car beaucoup de ces molécules mettent du temps avant de se dégrader. Tandis que d'autres se sont déposées au fond du lit et ont contaminé les sédiments.

L'agriculture et l'urbanisation ont modelé la plaine alluviale avec le remembrement des parcelles dans les années 50 et la construction de digues pour se prémunir des inondations. Plusieurs grandes villes française et suisse ont été érigées dans la vallée, à commencer par Lyon, 3^{ème} plus grande ville de France. Un patrimoine humain et une identité se sont construits autour du fleuve mais avec pour conséquence la densification des ouvrages routiers et l'artificialisation des berges. Enfin, jusqu'aux années 90, il y a eu une forte extraction sédimentaire provoquant l'incision du lit.

En France, le Rhône traverse 3 régions avec l'Auvergne-Rhône-Alpes, l'Occitanie et la Provence mais son bassin versant s'étend jusqu'au Grand-Est (**Figure 2**). Ainsi, il fait intervenir de nombreux gestionnaires et il est nécessaire d'assurer une coordination sur les différentes activités économiques. Cette cohérence dans les actions est notamment rendue possible grâce au Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux Rhône-Méditerranée Corse (SDAGE). De plus, comme ce fleuve traverse 2 pays, il existe des accords internationaux sur la gestion des eaux, des sédiments et de la pollution.

Le SDAGE est d'autant plus nécessaire que les enjeux autour de ce fleuve sont multiples avec la navigation commerciale ou de plaisance, la production d'électricité, l'irrigation, la protection contre les inondations et le tourisme. A noter aussi la présence d'une activité de pêche professionnelle sur le Haut-Rhône mais une interdiction sur les autres secteurs à cause de la pollution de l'eau qui rend impropre la consommation du poisson.

Même si la qualité des écosystèmes est fortement perturbée, ce fleuve a une importance socio-économique forte pour le territoire français. Certes, ces enjeux sont parfois contradictoires mais il est nécessaire de concilier chacun pour assurer le développement de la vallée. Ainsi le SDAGE 2022-2027 planifie cette gestion en 3 grandes ambitions :

- Concilier la prévention des inondations et les pressions du développement en zone inondable
- Assurer le développement économique à long terme de ce territoire stratégique
- Améliorer la qualité des milieux aquatiques à travers la gestion des ressources, la continuité écologique, la morphologie et la pollution de l'eau

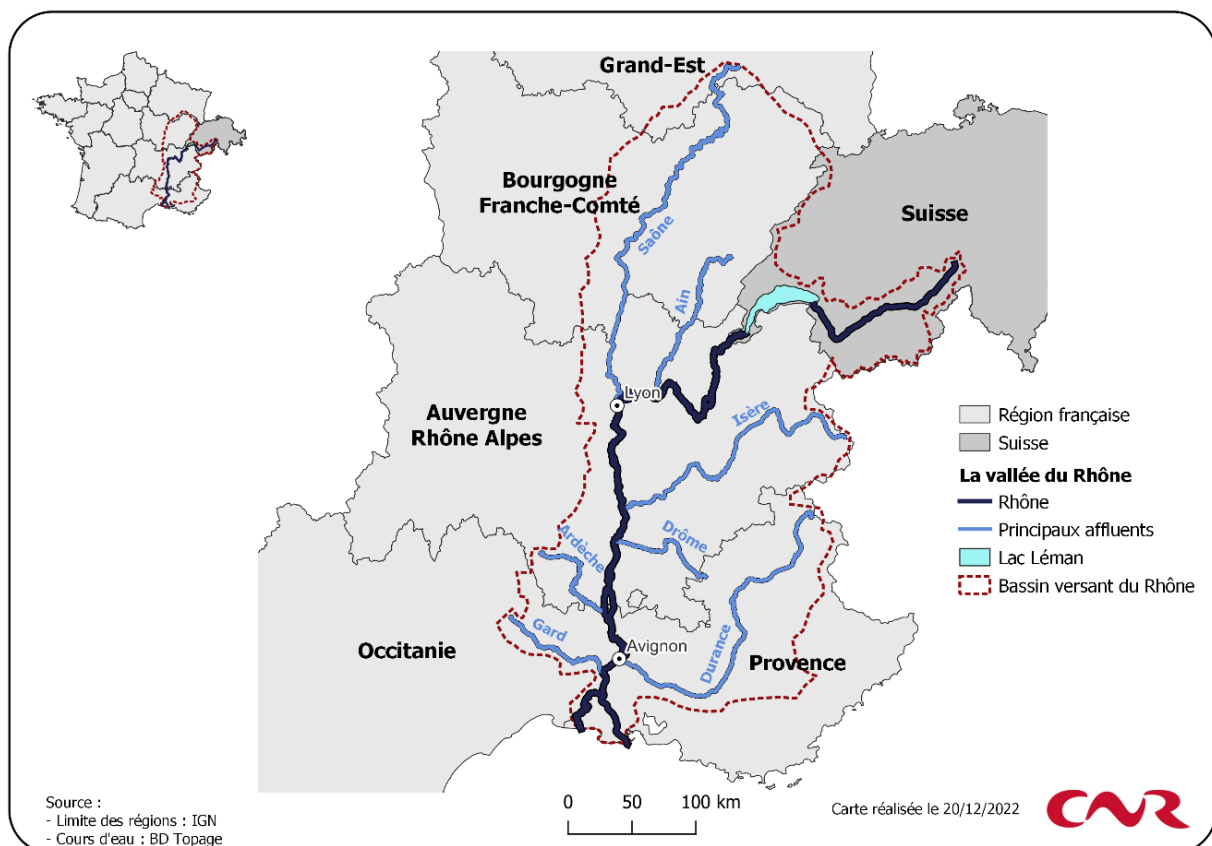


Figure 2 : Localisation du Rhône et de ses principaux affluents

Tout au long de son parcours, le Rhône évolue par rapport à la topologie, à la morphologie, au débit et au climat. Ainsi, ce fleuve est sectorisé en 5 grands tronçons avec un contexte similaire (**Figure 3**) :

- Rhône Alpestre : De la source jusqu'au lac Léman, caractérisé par une pente forte dans un climat montagnard

- Haut Rhône : Du Léman jusqu'à la Saône, zone plutôt de piedmont avec une pente plus faible et traversant plusieurs gorges

- Rhône Moyen : De la Saône jusqu'à l'Isère. Ici, le Rhône longe le Massif Central avec une pente qui s'abaisse de plus en plus

- Rhône inférieur : De l'Isère jusqu'au delta, caractérisé par un climat méditerranéen

- Delta du Rhône : Séparation en deux bras provoquant la zone marécageuse de la Camargue, la pente est très faible et l'estuaire n'est pas énormément soumis aux effets de marée

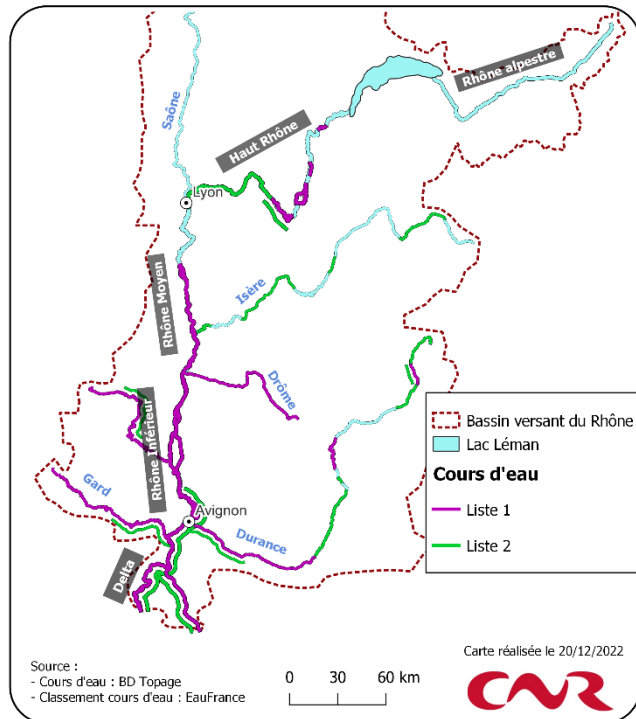


Figure 3 : Sectorisation et classement du Rhône

Le Rhône est aussi doté d'une richesse piscicole conséquente. En effet, il s'agit d'un axe privilégié pour la colonisation de nombreuses espèces surtout pour celles effectuant des migrations aux différents stades de leur cycle biologique (**Figure 4**) (Zylberblat, Roche & Pautrat, 2011). On y retrouve des espèces protégées telles que l'anguille et la truite fario (*Salmo trutta*) ainsi que des espèces patrimoniales qui sont originaires de ce bassin, la plus emblématique étant l'apron du Rhône (*Zingel asper*) qui est endémique. Cette diversité unique est principalement due au climat méditerranéen qui offre une richesse d'habitat qu'on ne retrouve pas dans toute la France.

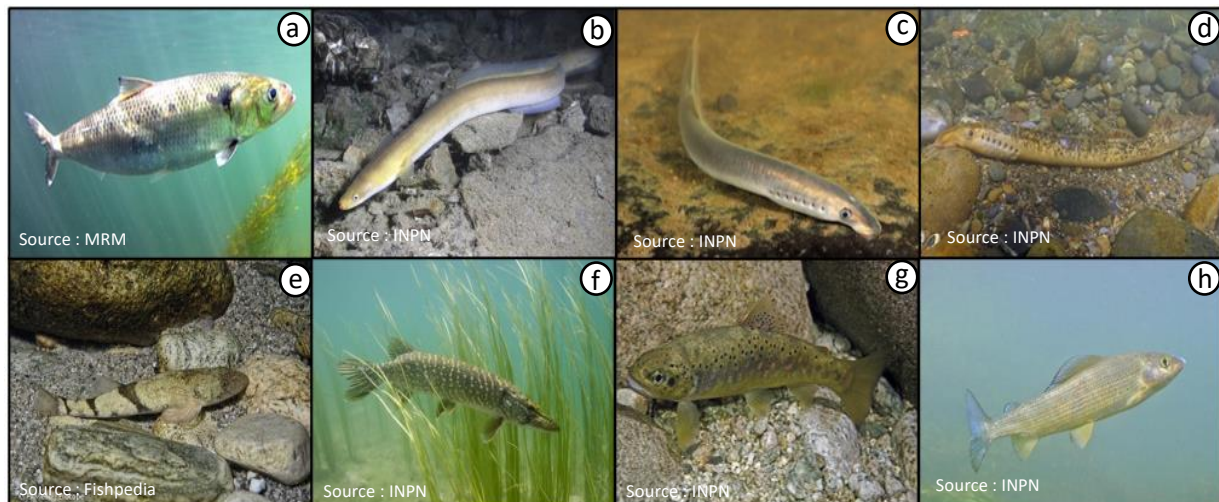


Figure 4 : Les espèces à fort enjeux et qui effectuent des migrations importantes sur le Rhône : a) Alose feinte du Rhône (*Alosa agone*), b) Anguille européenne (*Anguilla anguilla*), c) Lamproie planer (*Lampetra planeri*), d) Lamproie marine (*Petromyzon marinus*), e) Apron du Rhône (*Zingel asper*), f) Brochet (*Esox aquitanicus*), g) Truite fario (*Salmo trutta*), h) Ombre commun (*Thymallus thymallus*)

1. 1. 2. Histoire et organisation de l'entreprise

La **Compagnie Nationale du Rhône (CNR)** a été mandatée dès 1934 par l'Etat pour être le concessionnaire du Rhône dans le territoire français, de la frontière avec la Suisse jusqu'à la mer

Méditerranée (MTES, 2020). Elle devrait le rester au moins jusqu'en 2041 mais il est possible que la concession soit prolongée pour encore quelques décennies.

Dans ce cadre, la CNR se doit d'exploiter et d'aménager le fleuve à travers 3 domaines :

- Production hydroélectrique : La CNR gère plusieurs centrales qui utilisent la puissance hydraulique du Rhône pour produire de l'électricité. Ces centrales ont une capacité de production moyenne de 16 milliards de kWh/an, soit environ 4% de la production d'électricité nationale.
- L'irrigation : Avec plus de 100 000 hectares de surface à irriguer dans la vallée, il y a une forte pression sur la ressource en eau et la CNR fait partie des acteurs qui interviennent dans la gestion et l'alimentation des réseaux d'irrigation
- La navigation : Initialement, la gestion de la navigation était sous la responsabilité de Voies Navigables de France (VNF) mais sur le Rhône cette compétence a été concédée à la CNR. A ce titre, elle doit gérer la navigation pour le commerce fluvial ou pour la plaisance ainsi que tous les aménagements reliés (écluse, port, épis, ...)

La CNR doit œuvrer pour le développement de son territoire et concilier les différents conflits d'usages autour du fleuve. Il s'agit donc avant tout d'une entreprise d'intérêt général (CNR, 2019). En parallèle de ça, elle réalise des missions issues de réponse à appel d'offres ce qui lui permet de mettre à profit ses compétences et de diversifier ses revenus. Ces missions peuvent être autant en France qu'à l'international, et elles interviennent dans de nombreux domaines comme l'expertise pour de la restauration de cours d'eau, la création de modèles hydrauliques, l'assistance à la maîtrise d'œuvre...

Enfin, la CNR développe aussi des techniques autour des énergies renouvelables à travers l'éolien, l'hydraulique et le solaire. Tout ceci lui permet d'être le premier producteur d'énergie verte en France.

La CNR possède environ 1800 employés entre son siège social à Lyon, ses Directions Territoriales (DT) réparties dans toute la vallée, et quelques filiales. Comme ses compétences sont nombreuses, elles sont rassemblées entre différentes unités aussi appelées directions (**Annexe 1**). Entre autres, il y a la Direction Ingénierie et Grands Projets (DIGP) qui s'occupe des ouvrages transversaux et de leurs impacts.

1. 1. 3. Les missions de la DIGP

La DIGP est l'entité chargée de maintenir et développer la connaissance technique des ouvrages hydrauliques et des cours d'eau. Elle est créatrice de projets d'aménagement sur le Rhône mais aussi à l'international et elle est amenée à faire de la maîtrise d'œuvre comme de la maîtrise d'ouvrage.

Comme les aménagements hydrauliques ont forcément des impacts sur les cours d'eau, la DIGP s'est dotée d'un pôle environnement pour réduire son empreinte et restaurer le fonctionnement naturel des milieux aquatiques. Ainsi, ce pôle est en charge des projets d'ingénierie hydro-écologiques et il donne une expertise sur la qualité fonctionnelle du Rhône.

Ses missions principales sont l'amélioration de la continuité écologique via la construction de passes à poissons et la restauration du transport sédimentaire, la reconnexion des anciennes îles avec le vieux-Rhône et enfin la gestion des espèces patrimoniales ou invasives. Une connaissance de la dynamique fluviale du Rhône est aussi apportée souvent en coordination avec des études scientifiques.

1. 2. La continuité écologique

1. 2. 1. Définition et importance de la continuité écologique

Un cours d'eau interagit constamment avec son environnement et ces interactions s'opèrent sur 4 dimensions (Floury, Candesris et Souchon, 2020) (**Figure 5**) :

- Longitudinale avec les échanges entre l'amont et l'aval
- Transversale avec les échanges entre les annexes hydrauliques et le lit mineur
- Verticale avec les échanges entre la nappe et le cours d'eau
- Temporelle car une rivière change constamment au fil du temps que ce soit par rapport à sa morphologie ou à son débit

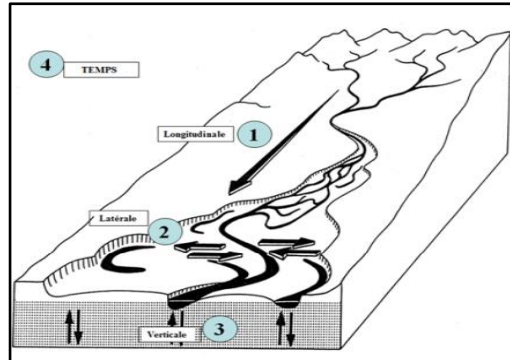


Figure 5 : Les 4 dimensions d'un hydrosystème.

Source : Floury, Candès et Souchon (2020)

De plus, un cours d'eau interagit avec l'écosystème qui s'est construit autour et ceci modifie longitudinalement sa morphologie, sa composition chimique et la répartition des espèces. C'est la notion de continuum fluvial introduite par Vannote et al. (1980) qui est un des prérequis à la continuité écologique.

La DCE définit la continuité écologique comme les "conditions permettant une migration non perturbée des organismes aquatiques et du transport de sédiments".

Elle fait écho au fait que le sédiment soit morphogène des habitats aquatiques et que sans lui un cours d'eau ne pourrait pas se stabiliser, mais aussi car les espèces aquatiques ont besoin de se déplacer longitudinalement ou transversalement pour accomplir leur cycle de vie. Par conséquent, assurer les interactions entre les 4 dimensions d'une rivière permet le maintien d'habitats fonctionnels et d'une biodiversité riche.

La libre circulation dans un cours d'eau est d'autant plus importante pour les espèces piscicoles. Puisque les poissons sont amenés à se déplacer dans un cours d'eau pour se reproduire, s'alimenter et se protéger.

Quotidiennement, un poisson effectue des migrations longitudinales ou latérales sur une distance relativement restreinte. Selon les espèces, des migrations sont nécessaires sur plus d'une dizaine de kilomètres notamment pendant la période de reproduction. On parle alors de poissons migrateurs et il existe 2 grandes familles avec d'abord les poissons amphihalins. Ces derniers alternent entre des phases en milieu marin et en eau douce afin de trouver des zones de fraie adéquates ou d'habitats pour se développer. Les poissons anadromes tels que l'aloise ou les lamproies frayent dans les eaux douces et passent le restant de leur vie en milieu marin. Alors que les poissons catadromes tels que l'anguille se reproduisent en mer mais se développent en eaux intérieures.

La deuxième grande famille correspond aux poissons migrateurs holobiotiques, c'est-à-dire qui accomplissent tout leur cycle biologique dans les eaux douces. Cela ne concerne qu'une partie des espèces d'eau douce comme la truite et l'apron. 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).

Enfin, les crues sont des facteurs environnementaux qui forcent les poissons à se déplacer vers l'aval ou transversalement, et 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 les brassages génétiques (Lucas & Baras, 2001).

1. 2. 2. La menace des ouvrages transversaux

La continuité écologique est directement menacée par les activités anthropiques qui construisent des barrières entravant les migrations piscicoles et le transport sédimentaire. Ces barrières sont

d'origines multiples. En effet, elles peuvent être la conséquence d'une trop grande différence de température entre deux eaux comme sur les rejets des centrales nucléaires, ou elles peuvent être dues à des réactions chimiques comme sur les bouchons vaseux proches des estuaires. Cependant, ce rapport va se concentrer essentiellement sur les barrières physiques artificielles, c'est-à-dire les ouvrages transversaux comme les barrages et les seuils.

Dès lors que la continuité écologique n'est pas assurée, 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 ou d'annexes hydrauliques, et cet ensemble forme 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 procure 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.

Les migrateurs amphihalins ont considérablement diminué depuis la construction des grands barrages. L'anguille européenne a perdu 90% de ses effectifs depuis les dernières décennies dans le bassin méditerranéen (Crivelli & Hermeloup, 2013), même chose pour l'alose feinte du Rhône (Zylberblat, Roche & Pautrat, 2011). Différents facteurs anthropiques sont à mettre en cause pour expliquer ces baisses mais le cumul d'ouvrages infranchissables est un des principaux. Cette dégradation de la continuité écologique est allée jusqu'à entraîner la disparition de l'esturgeon européen (*Acipenser sturio*) dans tout le bassin rhodanien.

Actuellement, l'espèce la plus menacée est l'apron. Comme la nage de ce poisson est limitée, la moindre barrière peut se révéler infranchissable. Par exemple, pendant de la période de reproduction, des aprons ont dévalé sur plusieurs kilomètres mais se sont retrouvés bloqués par un obstacle à la montaison et ils n'ont pas pu retourner dans leur habitat d'origine (Keith et al, 2014).

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 d'un obstacle, la hauteur de chute couplée à des encombres peut blesser ou tuer les poissons. Les équipements dans les ouvrages peuvent aussi augmenter le taux de mortalité ou de blessure. Une étude réalisée par la CNR à déterminer le taux d'anguilles indemnes après un passage dans les turbines d'une usine hydroélectrique. Ce taux change en fonction du type de turbine et il est compris entre 72 et 92% (Baran & Basilico, 2011).

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

L'autre problème majeur provoqué par les ouvrages transversaux est qu'ils entravent tous les processus du transport sédimentaire, puisque la retenue amont réduit les vitesses d'écoulement favorisant ainsi le dépôt. Ce phénomène est d'autant plus accru, si la retenue d'eau n'est totalement comblée, car les particules se retrouvent piégées et sont moins restituées à l'aval. Un déficit

sédimentaire se forme et c'est tout l'équilibre morphologique de la rivière qui est perturbé (Braud & Albert, 2013). Les digues ou les empierrements entretiennent aussi ce déficit car ils agissent comme des points durs qui empêchent l'érosion des berges et les sédiments sont moins mobilisés.

Il faut rajouter à ça les dégradations hydrauliques et chimiques qui sont provoquées par l'effet de retenue, ce qui entrave l'atteinte du bon état écologique imposé par la DCE.

Néanmoins, il faut préciser que la fragmentation d'une rivière n'est pas toujours synonyme de dégradation. En effet, les barrages de débris ligneux accumulés lors des crues ou par les castors servent à entretenir une diversité d'écoulement, de température, de concentration en matière organique et d'espèce. Certes, ces barrages naturels sont temporaires mais ils permettent une meilleure mosaïque dans les écosystèmes aquatiques (Lucas & Baras, 2001).

Des plans de gestion existent aussi pour maintenir la présence d'un seuil infranchissable car il fait parfois office de frontière pour des espèces invasives, et ainsi il empêche la colonisation sur les parties amont.

Résumé

Le Rhône abrite une riche biodiversité grâce à son climat et sa géographie. C'est un axe privilégié pour les migrations piscicoles de la mer jusqu'à l'ensemble de ses affluents. Or, cette diversité est directement sous la menace des obstacles à l'écoulement présents sur le fleuve. Ces aménagements développent économiquement la vallée et ils sont donc indispensables même s'ils ont un impact important sur la qualité et la fragmentation des habitats aquatiques. Les poissons n'arrivent plus à compléter leur cycle biologique et le brassage génétique est diminué, fragilisant les populations.

La CNR est le concessionnaire du Rhône et c'est à elle que revient la mission de gérer l'exploitation des aménagements hydrauliques et de leurs impacts sur les milieux. Un moyen pertinent pour amoindrir la fragmentation des habitats est de construire des structures dédiées aux passages des poissons face à une barrière physique, appelées ouvrages de franchissement.

2. Assurer la continuité écologique grâce aux ouvrages de franchissement

2.1. Les ouvrages de franchissement

2.1.1. Définition

L'objectif stricto sensu des ouvrages de franchissement est de permettre aux poissons de franchir des barrières physiques que ce soit à la montaison ou à la dévalaison (Lucas & Baras, 2001). C'est un terme générique qui regroupe plusieurs fonctions et plusieurs dispositifs avec par exemple :

- Les passes à poissons : Structure technique (échelle à poissons) ou naturelle (rivière de contournement) construite directement sur un obstacle ou à proximité permettant de réduire la pente et le débit
- Les dispositifs de dévalaison : Structure exclusivement utilisée pour la dévalaison des poissons et ainsi réduire le taux de blessure ou de mortalité. Ces dispositifs peuvent être couplés avec des turbines conçues pour entraîner le moins de dommages
- Les écluses et les ascenseurs à poissons : Structure qui permet de piéger les poissons dans un sas ou une nasse pour les faire remonter jusqu'à l'amont de l'obstacle

Les premières passes à poissons ont été construites dès le XIX^{ème} siècle, et depuis les techniques et les connaissances ont considérablement évolué. Premièrement, la recherche a permis de mieux étudier la biologie des poissons afin de comprendre les cycles de migration.

Ensuite, des critères de franchissement ont été établis ce qui correspond à toutes les conditions requises pour qu'un poisson trouve le dispositif et essaye de le franchir. Parmi ces critères, il y a le débit d'attrait qui incite le poisson à se diriger vers le dispositif.

Le dernier point à retenir est que d'un individu à un autre les capacités de franchissement changent en fonction de la taille et de l'espèce. La recherche a ainsi permis de mettre en évidence le potentiel de nage et d'endurance de chaque espèce ainsi que des aptitudes spécifiques (**Figure 6**). Certains poissons peuvent sauter au-dessus d'un obstacle comme le saumon ou la truite, la lamproie peut s'accrocher aux substrats rocheux à l'aide de sa ventouse buccale après un effort intense et l'anguille peut utiliser la reptation qui lui permet de ramper hors de l'eau et de continuer de respirer par voie cutanée.



Figure 6 : Les méthodes pour franchir un obstacle : a) Saut, b) nage, c) Accrochage et d) reptation

Avant de proposer un type d'ouvrage de franchissement, il faut bien identifier les enjeux piscicoles pour désigner les objectifs à atteindre et les espèces cibles. De plus en plus, les gestionnaires cherchent à avoir une vision multi-espèce, c'est-à-dire prendre en compte l'ensemble des peuplements piscicoles (Richier et al, 2020). L'intérêt est de limiter au maximum la fragmentation de la rivière et d'une certaine manière de prévoir la légalisation toujours plus exigeante. Pour autant, ces dispositifs sont globalement plus chers.

Différents designs ont été inventés pour concorder avec la biologie des poissons, leur physiologie, les critères et les capacités de franchissement. Des contraintes budgétaires, géographiques, hydrauliques et topologiques influencent aussi la conception du dispositif.

A noter qu'un ouvrage de franchissement permet de réduire seulement l'effet de fragmentation sur les rivières. Cela ne prend donc que l'aspect biologique de la continuité écologique et un barrage aura toujours un impact quoiqu'il arrive sur son environnement.

De plus, dans le cas d'une passe à poissons sur un barrage hydroélectrique, tout le débit qui traverse la passe est perdu car ne produit pas d'électricité. Il s'agit d'une perte de rendement qui justifie la nécessité de bien dimensionner le dispositif en fonction des conditions requises pour le franchissement des espèces cibles. Il existe tout de même des méthodes pour réduire ces pertes en turbinant le débit d'attrait par exemple.

2. 1. 2. L'efficacité d'une passe à poissons

Chaque dispositif de franchissement a été conçu pour répondre à des enjeux d'amélioration de la continuité biologique et il peut être considéré comme efficace dès lors que les objectifs établis ont été atteints. Pour déterminer ces derniers, il faut avoir une vision de gestion écologique globale et non pas se cantonner à une vision quantitative seulement sur les espèces cibles (Cooke & Hinch, 2013). Les espèces cibles sont des composantes de l'efficacité et l'objectif principal est de maintenir des populations piscicoles stables avec une diversité génétique satisfaisante.

Toutefois, l'efficacité demeure une notion complexe qui comporte de nombreuses nuances. Idéalement, une passe devrait être franchissable pour n'importe quels poissons et à n'importe quelles périodes. Ceci fait référence à la transparence des aménagements hydrauliques, c'est-à-dire qu'ils ne

causent aucune perturbation dans les migrations piscicoles (Silva et al, 2017). Pour Noonan, Grant & Jackson (2011), il faudrait au moins une efficacité globale de 90% pour parler de transparence.

Premièrement, pour qu'une passe soit valide, il faut que sur toute sa longueur les critères et les capacités de franchissement des espèces soient respectés. Le déplacement dans une passe peut être décomposé en 3 étapes (Silva et al, 2017) :

- l'approche : déplacement du poisson vers l'obstacle
- l'entrée : détection du dispositif de franchissement par le poisson
- Le passage : déplacement du poisson jusqu'à l'amont de l'obstacle

L'approche fait référence à la motivation de l'individu à vouloir franchir un obstacle et ce paramètre est encore mal pris en compte dans les études d'efficacité. Comme pas toutes les espèces ont besoin d'entreprendre des migrations, un poisson qui se dirige vers un barrage ne signifie pas forcément qu'il désire le traverser. Or, cela induit des biais dans les suivis car si une partie des poissons ne veut pas franchir l'obstacle intrinsèquement la proportion d'individus qui transitent dans la passe est diminuée.

La motivation est donc un paramètre comportemental important à intégrer et la littérature scientifique commence à s'y intéresser. Par exemple, il est recommandé d'étudier le nombre de poissons qui franchisse un dispositif par unité de temps en fonction du nombre de mouvements (Silva et al, 2017). Un poisson avec de nombreux déplacements à l'aval du barrage serait synonyme d'une volonté de migrer mais il n'a pas bien détecté l'entrée de la passe.

La détection et l'entrée dans le dispositif de franchissement dépendent de l'attraction. Le placement de la passe, le débit d'attrait et la largeur sont autant des paramètres importants à considérer pour qu'un poisson puisse localiser l'entrée. Entre les espèces, les critères d'attraction ne sont pas forcément les mêmes. Les saumons, les truites ou encore les aloses sont rhéophiles et elles sont plus sensibles à un débit d'attrait prononcé pour se diriger (Hershey, 2021).

Il existe encore des zones d'ombre sur les critères à respecter pour obtenir une bonne attraction. Par exemple, le contraste entre la structure bétonnée des passes et le lit naturel des cours d'eau pourrait être en frein pour le poisson (Roscoe & Hinch, 2010).

Enfin, lors du passage des individus dans l'ouvrage, il peut y avoir des points infranchissables car les conditions hydrauliques dépassent les capacités d'endurance ou de nage du poisson. Empêcher ces zones est donc essentiel pour assurer le franchissement.

Des études scientifiques récentes s'intéressent aussi au comportement piscicole dans une passe pour mieux s'adapter aux besoins. Par exemple, Gisen, Schütz, & Weichert (2022) ont cherché à établir un modèle du comportement des truites dans un espace confiné avec l'aide d'observation expérimentale. Cet article a entre autres mis en évidence que dans une eau peu turbide les truites avaient tendance à rester proche des murs.

Il est encore difficile de comparer les différents suivis d'efficacité car il y a un manque de standardisation sur les méthodes et les métriques utilisées, ce qui est décrié par certaines publications (Hershey, 2021).

Pour combler ce manque Ovidio et al (2017) a proposé des métriques biologiques qui étudient séparément les 3 étapes de franchissement en prenant en compte le temps entre chacune (**Tableau 1**). Ces métriques ont déjà été utilisées dans quelques suivis d'efficacité dont une sur la passe à poissons de Verbois et une sur celle de Chancy-Pougny sur le Rhône en Suisse (Grimardias et al, 2022). De plus, on parlera d'efficacité de passage ("efficiency") pour décrire la proportion d'individus capable de franchir une passe et d'efficacité d'espèce ("effectiveness") pour identifier les espèces capables de franchir (Roscoe & Hinch, 2010). Cependant, cette distinction des termes n'est pas systématique dans toutes les publications (Katopodis, 2016).

Tableau 1 : Les métriques biologiques utilisées pour déterminer l'efficacité d'une passe à poissons (Ovidio et al, 2017)

Métrique	Définition
Ratio d'approche du barrage	Pourcentage d'individus détectés à l'aval du barrage
Efficiences globale	Pourcentage d'individus qui ont franchi la passe
Efficiences ajusté	Pourcentage d'individus qui sont détectés à l'aval du barrage et qui ont franchi l'obstacle
Efficiences d'attraction	Pourcentage d'individus détectés à l'aval de l'entrée de la passe
Efficiences d'entrée	Pourcentage de poisson détecté à l'intérieur de la passe
Délais de recherche de l'entrée	Temps nécessaire à l'individu pour trouver l'entrée de la passe
Temps total de passage	Temps entre la détection à l'entrée et la sortie de la passe
Délais de sortie	Temps nécessaire à l'individu pour traverser la passe

Il est aussi possible de parler d'efficacité en matière de taille des poissons. En effet, généralement plus un individu est grand meilleur sont ses capacités de franchissement, ce qui peut accentuer la pression de la sélection naturelle. Pour assurer une bonne continuité écologique, il faut éviter cette pression supplémentaire afin d'obtenir une diversité génétique satisfaisante et des populations stables.

Pour finir, les conditions hydrauliques et la température de l'eau sont essentielles dans l'analyse d'efficacité (Belo et al, 2021). Entre chaque année, le nombre d'individus migrateurs qui traverse une passe change en partie à cause des facteurs environnementaux.

En effet, selon les années, les hauteurs d'eau peuvent être plus ou moins favorables pour le franchissement d'un obstacle, entraînant des retards ou des blocages (Boisneau, Ruaux & Boisneau, 2011). Ainsi, les migrations des espèces amphihalines peuvent être perturbées bien avant l'arrivée de l'ouvrage de franchissement étudié dans le cadre d'un suivi. De plus, selon les années, les conditions hydrauliques dans la passe peuvent aussi être plus ou moins défavorables.

2. 1. 3. La législation

La DCE impose aux acteurs de retrouver le bon état des milieux aquatiques et pour y arriver il est impératif de considérer le critère de la continuité écologique. 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. L'objectif est donc d'assurer « la libre circulation des organismes vivants et leur accès aux zones indispensables à leur reproduction, leur croissance, leur alimentation ou leur abri, le bon déroulement du transport naturel des sédiments ainsi que le bon fonctionnement des réservoirs biologiques ».

Ce sont les SDAGE qui se chargent 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. Les objectifs à atteindre sont définis par ce document et ils sont contrôlés par l'OFB.

Pour définir quels sont les barrages les plus dégradants, c'est le contexte biologique et patrimonial qui est pris en compte. Ceci permet de définir les secteurs avec des enjeux particuliers où il est nécessaire d'assurer la continuité écologique. Ainsi, l'article L214-17 de la loi sur loi de 2006, classe les cours d'eau en fonction de ces enjeux, et selon la classe attribuée différents modes de gestion sont imposés.

Les rivières ou les tronçons classés dans la liste 2 impose que chaque obstacle doive être équipé d'un aménagement facilitant les migrations des poissons. C'est au propriétaire ou au concessionnaire de vérifier le bon fonctionnement de ses dispositifs de franchissement.

Les rivières ou les tronçons classés dans la liste 1 indique qu'aucune autorisation ne peut être accordée pour la construction de nouveaux ouvrages s'ils constituent un obstacle à la continuité écologique.

Les tronçons entre le delta jusqu'au Rhône inférieur et ses affluents aval sont des axes importants pour les poissons migrateurs amphihalins. Ils sont donc classés dans la liste 1 et la liste 2 pour justement permettre à ces poissons de pouvoir atteindre une grande aire de reproduction (**Figure 3**).

Sur le Haut-Rhône et ses affluents, il y a un contexte plus salmonicole avec une nécessité de protéger la truite et l'ombre commun ainsi que les petites espèces benthiques, apron, chabot (*Cottus gobio*) et blennie fluviatile (*Salaria fluviatilis*).

Du fait de l'attention toute particulière qu'il faut apporter sur les poissons migrateurs amphihalins, il existe le **Plan de Gestion des Poissons Migrateurs (PLAGEPOMI)** qui permet d'établir sur une période de 5 ans les objectifs et le suivi de ces populations pour vérifier si elles arrivent à se maintenir. De nombreux acteurs interviennent dans la rédaction de ce plan et parmi eux les associations migrateurs, MRM dans le cas du Rhône. Le PLAGEPOMI du bassin Rhône-Méditerranée prend en compte l'alose, l'anguille et la lamproie marine ou fluviatile.

Dès lors, qu'un tronçon de rivière est défini comme ayant un enjeu migrateur, il est classifié en **Zone d'Action Prioritaire (ZAP)**, et l'objectif est d'assurer l'accès et le maintien des zones de reproduction. Dans certains tronçons, sous l'effet de la dégradation de la continuité écologique, des populations de migrateurs sont relictuelles ou ont totalement disparu. Ainsi, ces tronçons peuvent être classifiés en **Zone d'Action à Long Terme (ZALT)** avec pour objectif de favoriser la recolonisation.

Pour illustrer ces propos, l'Ouvèze provençale est un affluent du Rhône inférieur et la CNR est gestionnaire du seuil à la confluence qui permet de stabiliser le profil en long. Ce seuil permettait le franchissement de l'anguille mais pas de l'alose ni de la lamproie marine ce qui a entraîné la disparition de ces 2 espèces sur l'Ouvèze. Ce tronçon était donc en ZAP anguille et en ZALT alose, et il a été demandé à la CNR de rénover la passe à poissons du seuil.

Il existe d'autres documents de gestions, qui cette fois-ci, sont plus spécifiques aux espèces en dangers critiques d'extinction. Concernant la continuité écologique, ces derniers permettent surtout de prioriser les ouvrages les plus problématiques par rapport aux migrations. On retrouve le plan national d'action en faveur de l'apron du Rhône (Georget, 2019) ou encore le plan de gestion anguille (DIREN Rhône-Alpes, 2007).

2. 1. 4. Les compétences de la CNR et sa politique

Depuis maintenant plusieurs décennies, la CNR assure la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre pour concevoir des dispositifs de franchissement sur les aménagements hydrauliques dont elle est responsable. Tout ceci représente un coût important puisque certaines passes à poissons demandent un budget de plusieurs millions d'euros, sans compter la maintenance et le suivi.

La législation et sa politique **Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE)** lui imposent d'assurer la continuité écologique sur le Rhône et ses affluents (CNR, 2019). Ainsi, la CNR s'implique et s'engage dans ce qu'elle appelle des missions d'intérêt général pour garantir la pérennité du Rhône.

Sa stratégie autour de la continuité biologique se décline en 4 composantes :

- Supprimer ou réduire l'impact des points durs par la réouverture à certains bras ou affluents
- Compenser la perte énergétique du débit de réserve par la construction de nouvelles petites centrales électriques (PCH)
- Optimiser les voies de migration via la restauration des anciens ouvrages de franchissement
- Suivre les populations et mieux connaître les migrations surtout pour les espèces patrimoniales et les espèces amphihalines

L'intérêt de la CNR de s'investir autant dans cette stratégie est que cela lui permet de rentrer dans un modèle de développement durable pour concilier sa production énergétique avec la stabilité des peuplements piscicoles. Cela lui permet aussi d'avoir une meilleure image auprès du public mais surtout de pouvoir espérer que l'Etat lui prolonge la concession du Rhône.

2. 2. Les différents types d'ouvrages de franchissement

2. 2. 1. Méthode de recherche

Pour trouver les informations relatives aux différents types de dispositifs de franchissement plusieurs ressources ont été utilisées, à commencer par les guides rédigés par l'OFB ou l'INRAE présentant les designs et les outils d'aide à la décision pour les gestionnaires.

Ensuite, des rapports de retours d'expérience ont aussi été consultés. Ces documents servent à identifier ce qui a ou n'a pas fonctionné et ils sont souvent écrits par les gestionnaires d'aménagement hydrauliques comme EDF ou CNR en France et quelques autres entreprises dans le monde.

Enfin, le répertoire des ressources en ligne de la bibliothèque de Polytech Tours a été utilisé pour consulter les publications scientifiques.

Dans un premier temps, il a été tenté de réaliser une étude systématique à l'aide de la méthode PRISMA (Preferred Reporting Item for Systematic Review and Meta-Analysis) décrite par Matéo (2020). Les mots-clefs "Fishpass", "Fishladder", "Fish elevator", "Fishway engineering" et "Fish Bypass" ont été utilisés pour englober tous les termes qui regroupent les ouvrages de franchissement. Or, le nombre de résultats était trop important avec plus de 1000 articles et beaucoup d'entre eux décrivaient le même type de passe à poissons. Il a donc été décidé de réaliser une étude exploratoire sur les différents designs.

Certains types d'ouvrages de franchissement étaient bien documentés avec de nombreux retours d'expérience tandis que d'autres étaient encore au stade expérimental.

Toutes les passes sont plus précisément présentées dans l'**Annexe 2**, et dans les sous-parties suivantes un résumé est présenté pour retenir les points importants.

2. 2. 2. Les passes à poissons à structure technique

Les passes à poissons à structures techniques englobent toutes les passes à bassins et les passes à ralentisseurs. Dans ce genre de dispositif, c'est surtout la pente qui influence l'efficacité. Plus la pente est prononcée, plus il est nécessaire d'avoir une bonne capacité de nage pour franchir. A contrario, plus la pente est prononcée, plus il sera facile pour le poisson de localiser l'entrée grâce aux turbulences formées. Ainsi, l'attractivité et l'efficacité de passage sont inversement proportionnelles (Bunt, Castro-Santos, & Haro, 2011).

Les passes à ralentisseurs correspondent à un canal rectiligne dans lequel est placé des déflecteurs servant à réduire la vitesse de l'eau. Elles ont généralement une plus forte pente, ce qui les rend sélectives quant aux espèces ou à la taille des individus pouvant franchir. En revanche, pour les espèces salmonicoles qui ont une bonne capacité de nage, elles sont efficaces et attractives.

Les passes à bassins sont des successions de bassins séparés par une cloison échancrée qui permet de casser la hauteur de chute d'un obstacle petit à petit. Un bon moyen pour augmenter l'efficacité est de rajouter un plus grand nombre de bassins mais si l'attractivité est mauvaise, il ne sert pas grand-chose d'améliorer l'efficacité. En effet, dans ce genre de passe c'est surtout l'attractivité qui est la plus problématique et il est souvent nécessaire de rajouter un débit d'attrait ou d'élargir la largeur de l'entrée (Bunt, 2001).

2. 2. 3. Les passes à poissons à structure naturelle

Les passes à poissons dites naturelles regroupent les passes rustiques et les rivières de contournement. Leur objectif est de simuler un fond de lit ressemblant à celui des cours d'eau naturels. De la rugosité supplémentaire est souvent ajoutée pour ralentir encore plus les écoulements à l'aide d'enrochements, d'épis ou de plots en béton.

Les passes rustiques peuvent être construites à partir d'une échancrure dans le seuil afin de réduire la pente et d'augmenter la hauteur d'eau localement. Ce sont les passes les plus simples et les moins chères, mais le creusement du seuil peut affaiblir ses fondations et cela ne fonctionne que sur les petits obstacles. Sinon, il est possible de créer une rampe sur l'obstacle pour lisser sa pente.

Concernant les rivières artificielles, ce sont les passes les plus fréquemment utilisées pour faire du multi-espèce, car elles ont une bonne efficacité de passage grâce à leur faible pente (Hahn et al, 2020).

2. 2. 4. Les structures de franchissement à objectif spécial

Les structures de franchissement à objectif spécial regroupent tous les autres types de design. Il y a d'abord les dispositifs de remontées mécaniques comme les ascenseurs et les écluses à poissons. Le principe est de piéger les poissons à l'aval dans une nasse ou un sas. Ensuite, la nasse est remontée par un treuil ou alors le sas est rempli jusqu'à l'amont. Ces ouvrages fonctionnent en discontinue le temps qu'un cycle se complète et ils ont souvent une faible attractivité. En revanche, ils s'adaptent bien pour des chutes moyennes à hautes.

Il existe aussi des passes à anguilles qui permettent le franchissement exclusivement des anguilles voire des lamproies. Ce sont des rampes parfois très pentues avec un substrat rugueux pour faciliter la reptation. Tout le long du coursier coule un filet d'eau pour avoir une surface constamment humide. Ces ouvrages sont peu coûteux et viennent en complément avec d'autres passes à poissons.

Enfin, il y a tous les récents dispositifs qui sont encore peu utilisés et où peu d'expérimentations ont été réalisées pour tester l'efficacité. On retrouve notamment l'ascenseur à vis qui produit de l'électricité à partir d'une vis d'Archimède et qui en même temps remonte le poisson à travers les pales de l'hélice. Il y a aussi des passes qui utilisent un siphon ou encore des passes totalement automatisées de nouvelle génération comme le prototype du Whooshh Passage Portal.

Cependant, aucun des dispositifs présentés ne rend l'obstacle totalement transparent. De plus, il n'est pas possible de dégager lequel a le meilleur rapport coût / efficacité, car il y a plus d'une centaine de design de passes et qu'il y a encore trop peu d'analyses statistiques pour dire précisément lequel est le plus performant (Hershey, 2021).

Deux opinions s'opposent entre ceux qui pensent que la science va avancer suffisamment pour développer des passes de plus en plus efficaces jusqu'à tendre vers la transparence. De l'autre côté, il y a ceux qui pensent que les passes à poissons sont seulement partiellement efficaces, et qu'elles ne représentent qu'une partie de la solution pour répondre aux problèmes de la fragmentation des habitats (Roscoe & Hinch, 2010).

2. 3. Les barrages de la CNR et leurs ouvrages de franchissement

2. 3. 1. Synthèse des obstacles à l'écoulement sur le Rhône

Sur le Rhône, de multiples aménagements hydrauliques ont été construits afin de satisfaire les usages pour la navigation, l'agriculture, la production hydroélectrique, la protection contre les inondations et la stabilisation du fleuve.

A ce jour, dans le ROE entre la mer Méditerranée et le lac Léman, il y a 88 obstacles à l'écoulement sur le Rhône et ses contre-canaux (**Figure 7**) et la CNR gère 17 ouvrages sur les affluents.

La majeure partie correspond à des seuils pour la stabilisation du profil en long ou de la ligne d'eau. Ils sont surtout placés sur les confluences entre les bras du Rhône ou avec les affluents.

Il y a aussi quelques ouvrages qui sont spécifiquement construits pour les transports routiers, pour la protection contre les inondations comme les 3 barrages de garde de Donzère, ou d'autres barrages mobiles pour venir en appui à la gestion de la ressource en eau comme le barrage de Printegarde (**Annexe 3**).

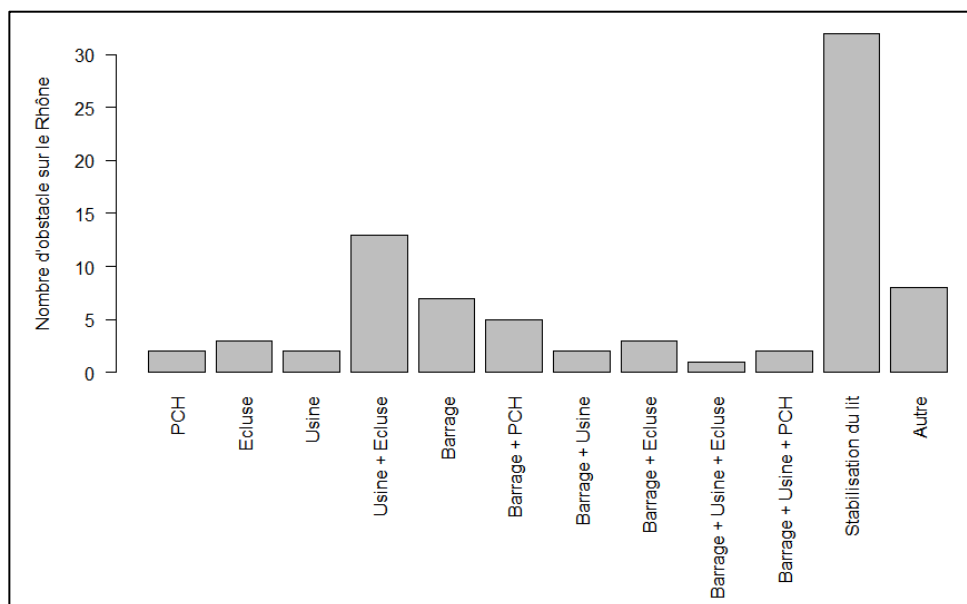


Figure 7 : Les obstacles à l'écoulement de la CNR sur le Rhône et ses contre-canaux

Enfin, jusqu'au lac Léman, 22 sites hydroélectriques ont été aménagés et 18 appartiennent exclusivement à la CNR. Le barrage et la centrale de Jons sont gérés par EDF, Verbois et Seujet sont sur le territoire Suisse, et le site de Chancy-Pougny est cogéré par la CNR et la **Société des Forces Motrices de Chancy-Pougny (SFMCP)** (**Annexe 3**).

De plus, sur le site d'Avignon / Sauveterre, il y a 2 aménagements hydroélectriques car dans cette zone le Rhône se sépare en 2 bras, ce qui ramène le nombre de barrages entièrement géré par la CNR à 19. Un dernier aménagement est aussi en projet sur la commune de **Saint-Romain-de-Jalionas (SRJ)** et l'étude de faisabilité est en cours.

La conception des ouvrages hydroélectriques s'adapte en fonction de la topographie et du débit. Sur le Rhône, il s'agit en majorité d'un fleuve de plaine avec peu de relief. Dans ce cas-ci, la faible pente ne permet pas de générer beaucoup d'énergie mais cela est compensé par un débit important. Ainsi, les aménagements sont dits de basse chute car leur dénivelé est inférieur à 30 m (Ulrich, 2015), et hormis quelques contre-exemples ils ont tous la même conception (**Figure 9**). Le seul aménagement de moyenne chute est celui de Génissiat avec un dénivelé de plus de 60 m et une retenue d'eau de 56 millions de mètres cubes (**Figure 8**).



Figure 8 : Le barrage-centrale de Génissiat

Le principe de fonctionnement d'un aménagement de basse chute consiste d'abord à la construction d'un barrage mobile sur le lit naturel du fleuve pour réguler les hauteurs d'eau selon les besoins. Ensuite, un canal de dérivation est creusé pour former un bras artificiel sur lequel est installé la centrale électrique. Selon la configuration du site, la longueur du canal est comprise entre 5 et 20 km pour une largeur entre 120 et 200m (Bravard & Clemens, 2008). Entre ces deux bras, des digues

sont édifiées pour protéger les plaines environnantes. Parfois des contre-canaux longeant les digues sont aussi creusés pour aider à l'irrigation, à drainer les cultures et surtout pour équilibrer les niveaux d'eau par rapport à la nappe. Une écluse peut aussi être construite la plus fréquemment à proximité de la centrale pour permettre la circulation des bateaux.

Ainsi, dans ce mode de conception, le barrage mobile forme une hauteur de chute et bloque les écoulements qui se redirigent vers le canal de dérivation. L'eau passe à travers la centrale qui utilise la hauteur de chute formée pour faire tourner ses turbines. L'eau est après restituée au vieux-Rhône par le canal de fuite.

L'autre mode de fonctionnement est appelé barrage-usine, c'est-à-dire que le barrage est directement accolé à la centrale. Seul Sauveterre, Vaugris, Verbois et Seujet sont équipés de ce type d'aménagement.

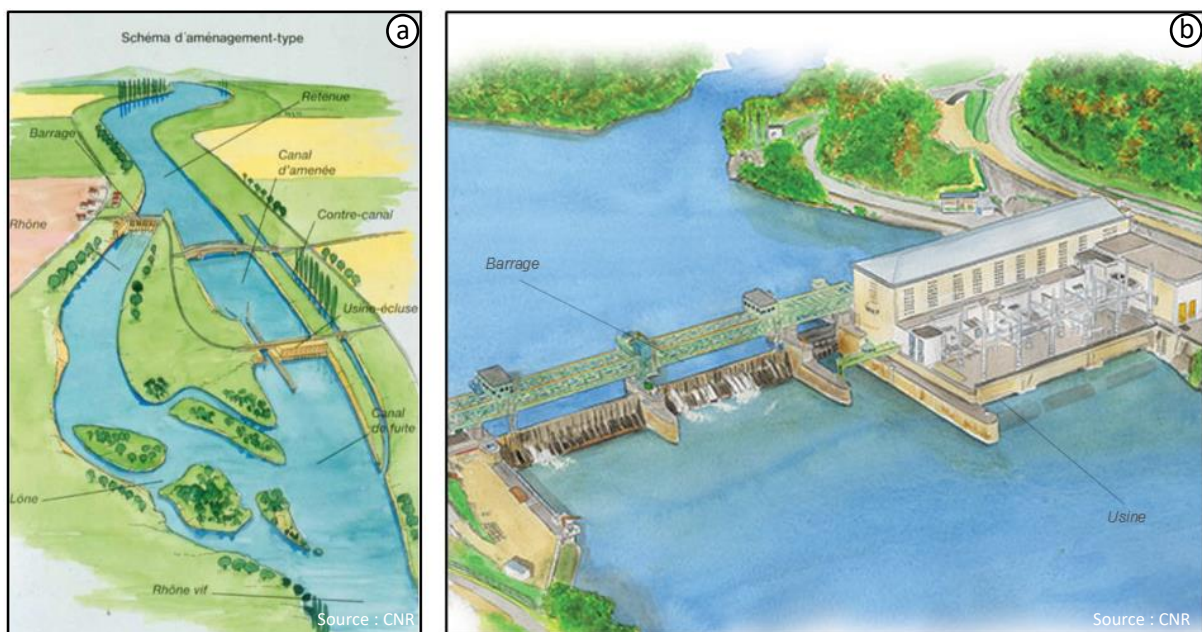


Figure 9 : Les aménagements hydroélectriques de la CNR : a) alimentation de la centrale par un canal de dérivation, b) Barrage-Usine.

Excepté pour le site de Génissiat, chacun de ces aménagements est de dit au fil de l'eau car la retenue n'entraîne pas la formation d'un lac artificiel comme le lac de Serre-Ponçon sur la Durance. Cependant, ils entraînent tout de même une perturbation des écoulements pouvant s'étendre jusqu'à 20 km en amont.

De plus, dans le lit naturel du Rhône, les barrages doivent laisser un débit minimum, appelé débit réservé, pour assurer le maintien des écosystèmes et des usages. Par conséquent, ce débit ne passe pas dans l'usine ce qui représente une perte énergétique et de rendement pour la CNR. Des **Petites Centrales Hydroélectriques (PCH)** sont alors construites pour turbiner le débit de réserve. A ce jour, 7 barrages sont équipés d'une PCH et 5 sont encore au stade de projet. Il y en a aussi 1 sur le seuil de Yenne et 1 sur le canal de répartition des eaux à Vallabrègues.

Tous ces ouvrages font que le Rhône est fortement tronçonné tout le long de son trajet et en tant que gestionnaire la CNR se doit de les rendre franchissables pour les migrations piscicoles.

2. 3. 2. Synthèse des dispositifs de franchissement de la CNR

La CNR possède 71 ouvrages de franchissement et 15 autres sont des passes à poissons qui sont au stade de projet (**Figure 10** et **Figure 11**). Les premiers dispositifs construits étaient les écluses Borland et les écluses de navigation à partir des années 50. Les passes à bassins construites dans les années 80

ont souvent dû être renouvelées car les critères de franchissement d'aujourd'hui ne sont pas les mêmes que ceux d'avant (**Figure 12**), comme celle de Donzère-Mondragon ou celle de l'Ouvèze.

La majorité des passes en projet vont servir à équiper les futures PCH des barrages hydroélectriques, comme sur Bourg-Lès-Valence ou encore Beauchastel. Sinon, elles serviront à rénover certains dispositifs qui ne répondent pas aux objectifs de franchissement comme celle sur le seuil de la Durance.

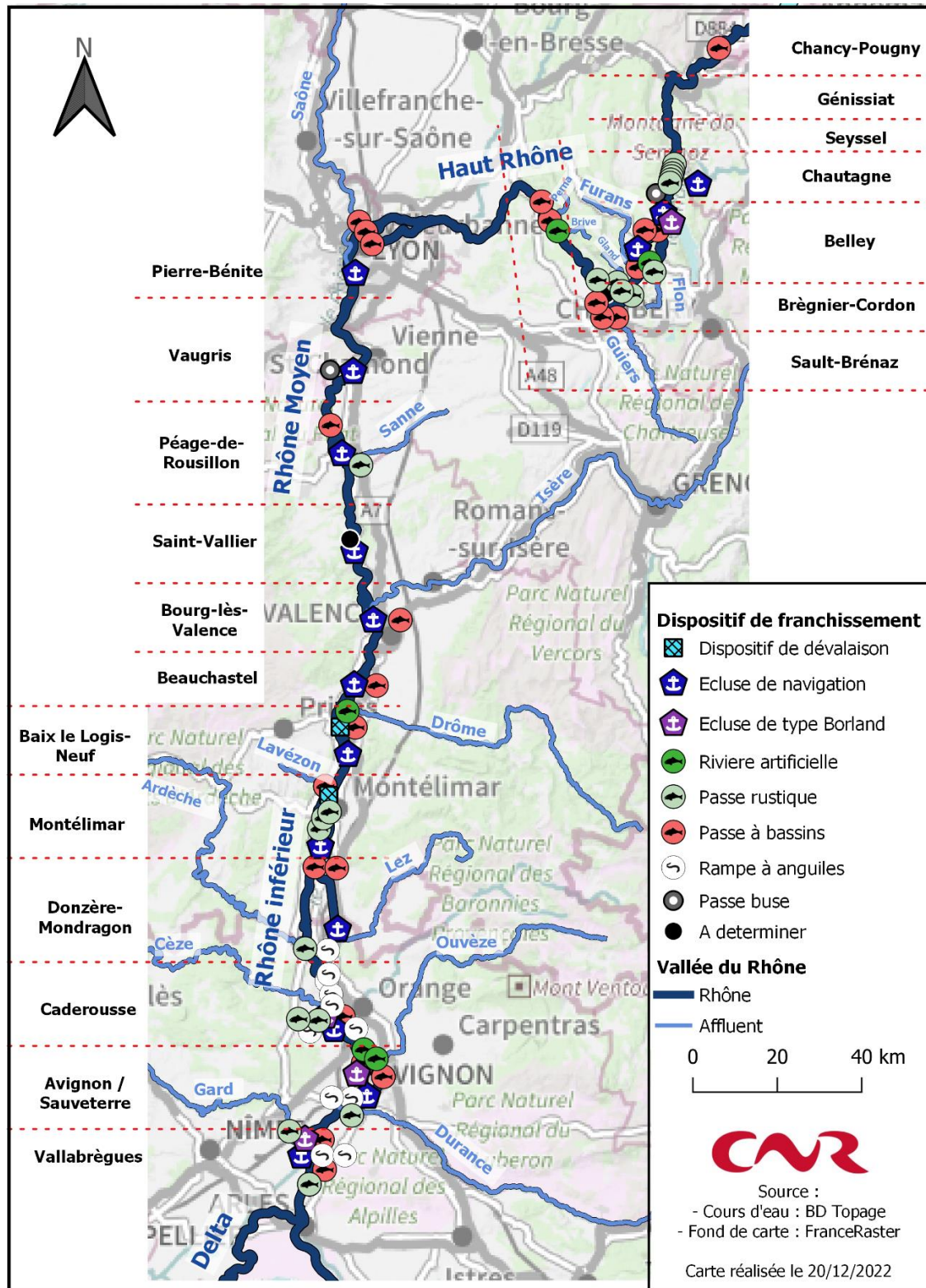


Figure 10 : Les dispositifs de franchissement gérés par la CNR

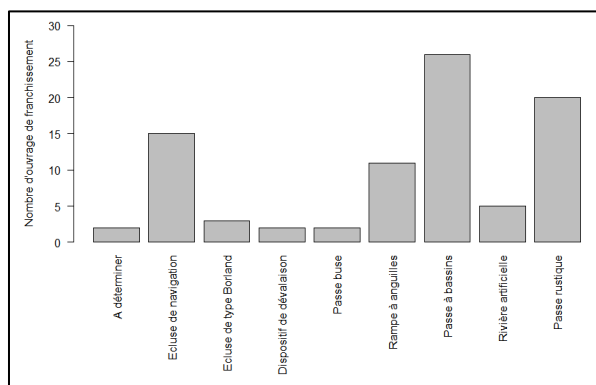


Figure 11 : Les ouvrages de franchissement sur le Rhône et ses affluents

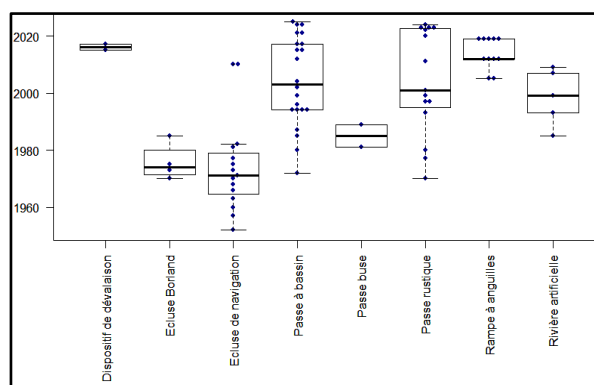


Figure 12 : Les dates de construction des ouvrages de franchissement

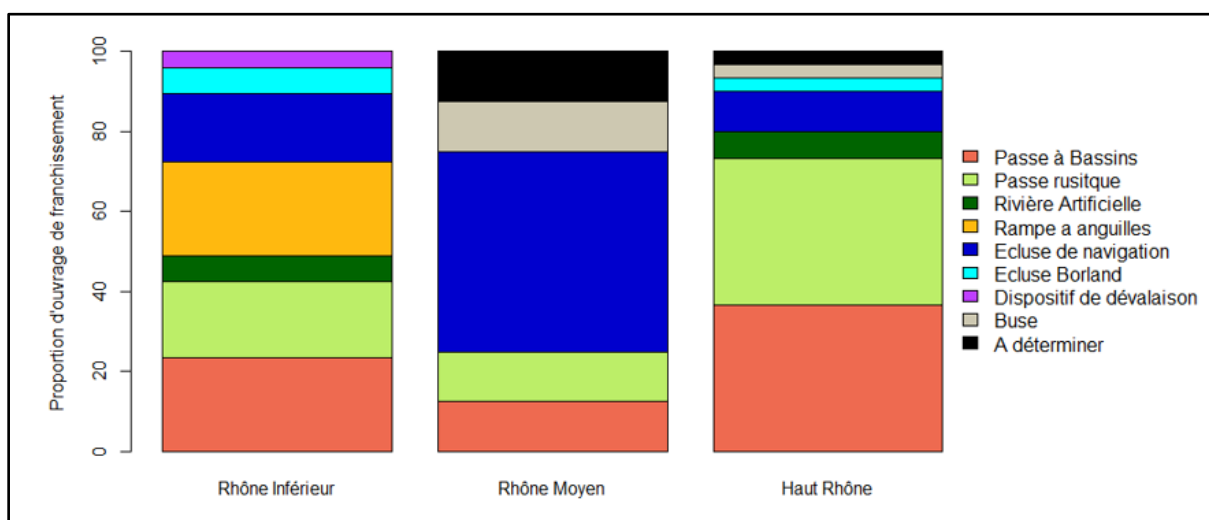


Figure 13 : Proportion des types d'ouvrage entre les 3 secteurs du Rhône

Le type et l'implantation des ouvrages dépendent en partie du contexte piscicole (**Figure 13**). D'abord, il y a un fort enjeu pour les anguilles au niveau des 3 premiers aménagements aval (Vallabrègues, Avignon et Caderousse) dû aux confluences avec plusieurs masses d'eau importantes comme le Gard et l'Ardèche. Ainsi, pour assurer les migrations de l'anguille, une rampe à brosses est construite en rive droite et en rive gauche sur chacun de ces 3 aménagements (**Figure 14**). Il faut aussi ajouter à ça, les 5 plus petites rampes à l'aval du lez qui équipent les seuils de stabilisation. Avant la mise en place de ces passes, il n'y avait qu'un dispositif d'éclusage pour assurer la continuité des centrales. Or, cela n'est pas adapté au comportement de l'anguille car elle se déplace essentiellement la nuit quand les écluses sont fermées.



Figure 14 : Rampe à anguilles en RD de la centrale d'Avignon

Il y a aussi 2 dispositifs de dévalaison accolés contre des PCH. Leur conception est basique avec une grille qui forme une barrière physique pour les anguilles argentées et ainsi les empêcher d'entrer en contact avec les turbines. Les barreaux de la grille sont espacés de 15 mm et ils sont légèrement inclinés pour inciter le poisson à se diriger vers le chenal prévu pour les amener vers l'aval (CNR, 2018).

Ensuite, la CNR compte 21 écluses. Les 2 écluses qui sont situées sur le delta du Rhône ne sont pas prises en compte pour le franchissement piscicole parce que sur ce tronçon il y a déjà une bonne continuité. Les 19 autres sont séparées en 2 groupes :

- 15 écluses de navigation : leurs vocations premières sont de permettre aux bateaux d'atteindre les parties amont ou aval mais certains poissons peuvent aussi en bénéficier. Elles sont accolées contre les centrales ou les barrages-usines.

- 4 écluses de type Borland : elles sont spécifiquement dédiées pour le franchissement des poissons et elles sont accolées contre les barrages. 3 sont situées sur Vallabrègues, Avignon et Caderousse et la dernière est située à Belley pour assurer la continuité avec le canal de Savières. Il est estimé par la CNR qu'elles sont 10 fois plus efficaces que les écluses de navigation pour le franchissement piscicole

Concernant maintenant les passes à poissons, la majorité sont des passes à bassins à fentes verticales. En effet, ce sont les dispositifs qui permettent le franchissement du plus grand nombre d'espèces et la CNR cherche de plus en plus à avoir une vision multi-espèce. On les retrouve sur n'importe quels contextes piscicoles et sur n'importe quels types d'ouvrage (seuil de stabilisation, barrage ou centrale). A noter aussi, que les barrages de Verbois et de Seujet sont aussi équipés de passe à bassins mais qu'elles ne sont pas gérées par la CNR.

Il y a aussi les passes rustiques qui sont aménagées sur les seuils de stabilisation des contres canaux ou des affluents. Leur conception diffère entre les sites, soit il y a un creusement d'une échancrure sur le seuil, soit des macrorugosités sont ajoutées au fond du lit, soit il s'agit de rampes (**Figure 15**).



Figure 15 : les différents types de passes rustiques de la CNR. a) Echancrure sur le seuil du flon, b) Macrorugosité sur le seuil de l'Ardèche, et c) Rampe sur le seuil des Comps (Gard)

La CNR a aménagé 5 rivières artificielles dès que l'emprise spatiale le permettait. Pour ce faire, un bras sinueux est creusé à proximité du seuil avec un ajout systématique de rugosité en béton ou d'enrochement. La plus importante est sur le seuil de Livron dans la Drôme car elle a pour espèce cible l'apron et il fallut créer une pente faible pour s'adapter à sa capacité de nage restreinte. Sur le seuil de la Yenne au niveau de Belley, la rivière de contournement permet aussi un parcours pour les canoës-kayaks.

Le dernier dispositif de franchissement est plus anecdotique avec les 2 passes buses des contre-canaux de Chautagne et Vaugris. Les buses peuvent rapidement devenir infranchissables à cause des tirants d'eau faibles à l'intérieur, la vitesse du courant est accélérée due au manque de rugosité et il peut y avoir à l'aval la formation d'une chute verticale. Les buses peuvent aussi engendrer des changements brusques de luminosité et former des encombres à l'amont qui bloquent les écoulements. Ainsi, la CNR a mis en place des dispositions pour assurer le franchissement de ses buses.

2. 3. 3. Synthèse des dispositifs de franchissement sur tout le bassin du Rhône

La CNR a la charge de quelques passes à poissons au niveau des confluences entre le Rhône et ses affluents. Pour avoir une vision plus globale sur le devenir des migrations piscicoles après le franchissement de ces dispositifs, une analyse rapide est réalisée sur la continuité des affluents. Cette

étude est réalisée à partir de la base de données ROE qui n'est pas forcément complète ni mis à jour (**Annexe 4**).

Sur les cours d'eau de Perna, de Brive, du gland, de l'Ouvèze et de la Sanne, la CNR est le seul gestionnaire qui gère des dispositifs de franchissement alors qu'il peut y avoir des obstacles à l'amont infranchissables ou du moins entraînant des retards à la migration. La continuité est assurée directement sur la confluence avec le Rhône, ce qui est primordiale pour les espèces migratrices amphihalines et pour le brassage de gènes entre les populations. Cependant, il y a encore une forte fragmentation de ces cours d'eau.

Sur les autres affluents, la continuité est bien assurée surtout sur les tronçons aval. Il s'agit des rivières avec le plus d'enjeux piscicoles comme l'Ardèche, le Gard, la Durance ou le Guiers. Ces affluents bénéficient de plus de moyens financiers pour réaliser des travaux de restauration au titre de la ZAP anguille ou du programme life pour l'apron. Il y a encore des améliorations à réaliser et certaines passes sont aussi à rénover car inefficaces.

De plus, il y a certains types d'ouvrages de franchissement dont ne dispose pas la CNR, comme l'ascenseur à poissons géré par EDF du seuil de la Fourvoirie sur le Guiers qui n'était pas fonctionnel lors de sa mise en service dans les années 90 mais qui a récemment été rénové (SIAGA, 2012).

Résumé

La CNR gère 71 ouvrages de franchissement et 15 autres sont en projet. Ils permettent d'assurer les migrations à la montaison ou à la dévalaison que ce soit pour les espèces amphihalines ou holobiotiques, même s'ils restent encore des améliorations ou des restaurations à réaliser. Ces dernières décennies, elle a acquis de nombreuses compétences lui permettant de faire de la conception de dispositifs de franchissement et d'assurer la maîtrise d'ouvrage.

Un des objectifs de la CNR est de réduire les coûts de construction de ses dispositifs tout en assurant la pérennité des écosystèmes. La recherche et développement ont permis la conception de multiples dispositifs qui s'adaptent à un contexte précis, à des espèces cibles, à des conditions hydrauliques particulières... Cependant, il n'existe toujours pas de passe permettant la transparence d'un obstacle à l'écoulement et il y aura toujours un impact sur les milieux aquatiques.

De plus, il est nécessaire de mener des études d'efficacité pour vérifier que les objectifs en matière de continuité biologique ont bien été respectés. Ces études rajoutent aussi un coût supplémentaire et il n'est pas possible de prévoir l'efficacité même avec des modèles numériques car trop de paramètres rentrent en compte et certains sont encore mal connus, à commencer par le comportement des poissons dans l'ouvrage. Chaque dispositif de franchissement est unique tout comme devrait l'être son analyse d'efficacité.

3. L'efficacité d'une passe à poissons

3. 1. Les outils pour mesurer l'efficacité

3. 1. 1. Avant-propos et méthode de recherche

Il existe toute une variété de suivi pour étudier les différents paramètres d'un ouvrage :

- Suivi biologique : Permet de vérifier si les poissons arrivent bien à franchir la passe. L'attractivité, l'efficacité de passage ou l'efficacité d'espèce peuvent être étudiées séparément selon les protocoles utilisés

- Suivi hydraulique : Permet de vérifier que les hauteurs d'eau ou les vitesses d'écoulement ne dépassent pas les capacités de franchissement des espèces cibles

- Suivi physico-chimique : Mesure essentiellement la température ou l'oxygène dissous en continu dans la passe pour corréliser ces données avec le taux de migration. En effet, une bonne oxygénation est indispensable pour qu'un poisson puisse être endurant, et la température conditionne en partie les migrations en période de reproduction. Par exemple, la truite se reproduit quand la température est inférieure à 12 °C et elle exige une bonne oxygénation de l'eau

- Suivi sédimentaire : Il est possible de suivre les dépôts sédimentaires dans la passe pour limiter l'engravement et s'assurer du bon transit des sédiments

Il est aussi intéressant de mener l'analyse d'efficacité après le passage dans la passe car la retenue d'eau à l'amont de l'obstacle peut perturber les espèces rhéophiles (Kemp, 2016). Elles peuvent ainsi se perdre et entraîner des retards à la migration supplémentaires fragilisant encore plus les populations.

Néanmoins, dans ce rapport, il sera présenté seulement les différents protocoles pour le suivi biologique. L'objectif n'est pas pour l'instant de les décrire précisément et de les adapter aux ouvrages de la CNR mais plutôt de présenter ce qui se fait déjà et ce qui est envisagé pour les futurs suivis.

Tout comme pour la description des dispositifs de franchissement, une recherche exploratoire sera effectuée pour présenter les méthodes de suivi biologique. Pour ce faire, les ressources en ligne de la bibliothèque de Polytech Tours et les retours d'expérience des différents gestionnaires seront consultés. De plus, MRM est un acteur important dans le bas-Rhône pour la connaissance des poissons migrateurs, et dans ce cadre elle est amenée à rédiger des rapports sur la dégradation des connexions amont/aval et sur le suivi des populations.

3. 1. 2. Suivre les poissons de l'approche jusqu'à la sortie de la passe

Suivre les poissons de l'approche jusqu'à la sortie permet de mesurer séparément l'attractivité et l'efficacité de passage. Grâce à ça, il est possible de connaître la proportion d'individus qui ont détecté la passe, ceux qui sont rentrés, ceux qui l'ont franchie et le temps de passage entre chacune de ces étapes.

La seule technique viable pour obtenir ces données est le marquage du poisson par un tag électronique (**Figure 16**) émettant un signal pour identifier l'individu (Cooke & Hinch, 2013).

Il existe 3 types de marquages avec d'abord la télémétrie acoustique ou le radiopistage qui permet de suivre les déplacements des poissons dans le temps et dans l'espace, particulièrement utile pour discriminer des



Figure 16 : Marquage d'un poisson par RFID

points bloquants. Des récepteurs radios ou des hydrophones sont placés autour de la passe pour capter le signal du tag et par triangulation la position de l'individu est détectée.

Cependant, la technique la plus utilisée est le transpondeur passif avec les capteurs RFID car ces tags sont déjà plus légers, le dispositif à mettre en place est moins conséquent et ils n'ont pas de batterie ce qui permet d'avoir une période d'étude plus étalée que pour de la télémétrie. A contrario, il n'y a qu'une simple détection de l'individu et pas un suivi en continu de tous les déplacements.

La méthode d'Ovidio et al (2017) utilise au minimum 4 antennes pour détecter le signal RFID, une à proximité de l'obstacle, une devant la passe, une dans les premiers mètres après l'entrée, et une dernière à la sortie. Dans le cas où la longueur de l'ouvrage est importante, il faudrait mettre un autre récepteur à mi-chemin et en doublant les antennes cela permet de savoir si le déplacement est vers l'amont ou vers l'aval (Grimardias et al, 2022).

Le principe est que chaque antenne va détecter la présence du tag dans un rayon délimité et il sera possible de suivre la proportion d'individus qui ont atteint l'étape de l'approche, de l'entrée et du passage jusqu'à la sortie. L'utilisation d'un transpondeur passif s'adapte bien pour les passes à poissons car c'est un environnement étroit et que les signaux des antennes ont une courte portée (Cooke et al, 2013).

Ces techniques demandent quand même d'importants moyens humains et financiers. D'abord car il faut capturer et marquer un échantillon conséquent de poissons, parfois plusieurs milliers afin d'avoir une analyse statistique viable et une bonne représentativité.

De plus, les motivations de migration sont encore mal connues, il n'est donc pas assuré qu'en relâchant les poissons à l'aval du barrage, ils aient une volonté de traverser la passe. Pour réduire cette incertitude, certains articles ont capturé les poissons à l'amont de l'obstacle puis les ont relâchés à l'aval, tout ça pendant la période de reproduction afin d'enclencher des mouvements vers la montaison. Cependant, les poissons capturés à l'amont ont pu déjà traverser la passe ce qui pourrait faciliter le deuxième passage par un apprentissage et ainsi surestimer l'étude de l'attractivité. Par conséquent, trouver la localisation de capture n'est si évidente.

Quelques biais sont aussi occasionnés par cette méthode car le marquage sur le poisson est stressant et le tag peut être gênant. Tout ceci entraîne probablement une baisse de motivation pour migrer ou une réduction des capacités de franchissement (Cooke & Hinch, 2013).

Une fois la proportion de réussite d'approche [A], d'entrée [E] et d'efficacité de passage [P] obtenue, il est possible de calculer l'efficacité globale [I] (Ovidio et al, 2017) grâce à la formule suivante :

$$[I] = [A] * [E] * [P] \text{ (Silva et al, 2017)}$$

3. 1. 3. Compter les poissons à la sortie de la passe

Un autre moyen pertinent pour mesurer l'efficacité est de réaliser une analyse quantitative sur le nombre total d'individus capables de franchir la passe ou simplement qualitative en s'intéressant juste à vérifier si les espèces cibles sont capables de franchir la passe. D'ailleurs, les études d'attractivité et d'efficacité de passage peuvent aussi venir en complément.

Pour ce faire, il faut réaliser un comptage systématique ou faire des observations à la sortie de l'ouvrage de franchissement.

Ce comptage peut d'abord être effectué en piégeant les poissons à l'amont par une nasse équipée d'une grille anti-retour, par un bassin de dérivation ou par un filet. Ensuite, fréquemment des opérateurs doivent se rendre sur place pour inventorier, mesurer et peser les individus capturés. Il y a nécessairement une manipulation du poisson et une accentuation du risque de blessure dans le piège qui sont de gros inconvénients, sachant aussi que cela nécessite d'importants moyens humains.

Néanmoins, l'intérêt est que l'identification des espèces est fiable et des observations précieuses sur la biométrie viennent compléter la connaissance des migrations.

Il existe aussi des techniques utilisant des sondeurs acoustiques qui arrive à détecter automatiquement le passage des poissons. Cette méthode est bien adaptée pour identifier les grands bancs de poissons et relativement lents mais cela l'est moins dans le cas des passes à poissons pour des individus solidaires. De plus, l'identification des espèces est beaucoup moins précise.

Dans le même esprit que les sondeurs acoustiques, il y a les compteurs à résistivité qui arrive à détecter des changements dans la conductivité de l'eau. Un individu nageant proche d'électrodes est automatiquement détecté grâce à la différence de conductivité entre le poisson et l'eau. Même si l'installation de ces équipements est peu couteuse, une nouvelle fois l'identification des espèces n'est pas viable.

C'est la technique de vidéocontrôle qui s'est imposée en France dans les années 1980. Elle permet en effet l'identification d'une majorité des espèces et le comptage d'un grand nombre d'individus, sans manipulation des poissons.

Le principe reste le même à chaque fois, il y a un éclairage dans l'eau qui permet de faciliter la visibilité et une caméra immergée ou non s'enclenche dès lors qu'elle détecte le passage d'un poisson. Les enregistrements vidéo sont ensuite triés pour enlever tout ce qui n'est pas un poisson comme des branches ou des perturbations lumineuses. Puis ils sont dépouillés, c'est-à-dire que les informations intéressantes sont récupérées comme la date, le nombre d'individus, l'identification de chacun, la taille et le sens de migration (**Figure 17**).

Depuis plus de 30 ans d'utilisation du vidéocomptage, il y a eu des évolutions dans la conception, la qualité des vidéos et le dépouillement des images. Le guide de Dartiguelongue (2020) pour concevoir une station de vidéocomptage s'est fondé sur une multitude de retours sur expérience et il décrit très bien les étapes à respecter pour obtenir les meilleurs résultats en termes de coûts, de données et de durabilité.

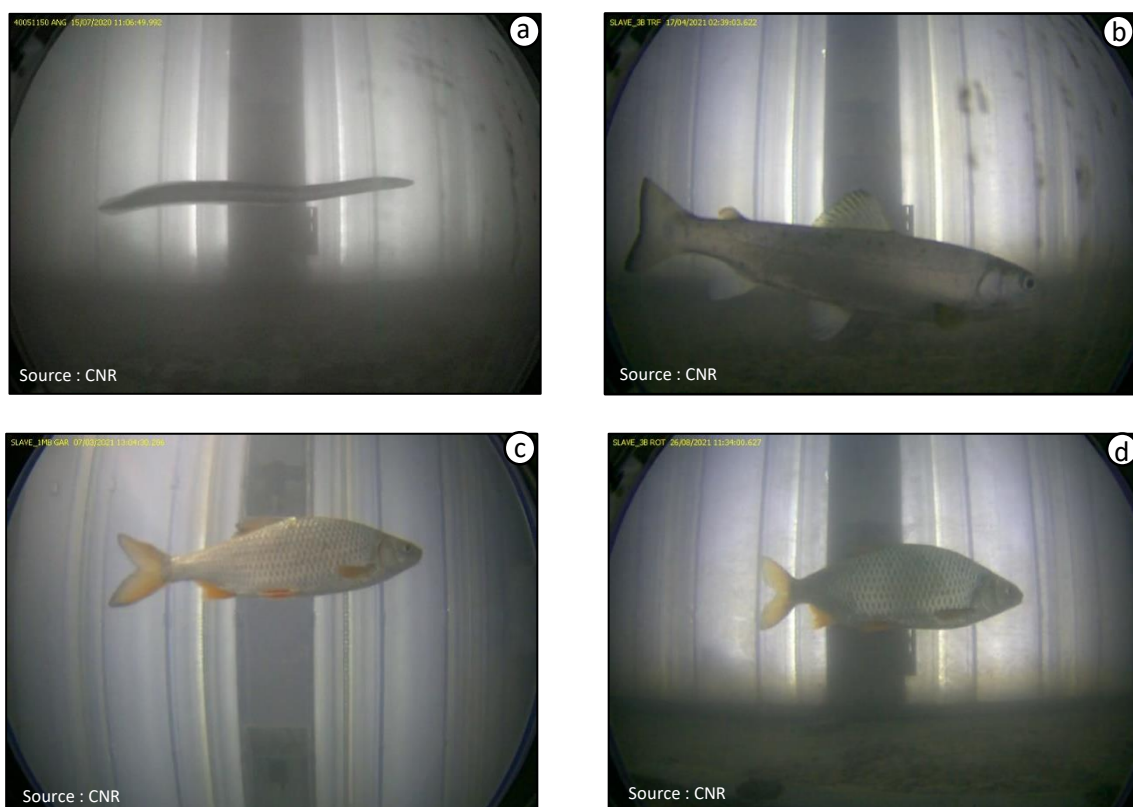


Figure 17 : Individus détectés par une station de vidéocomptage. a) Anguille, b) Truite, c) Gardon et d) Rotangle

Pour avoir un suivi sur plusieurs années, il est nécessaire de construire une chambre bétonnée à l'amont de la passe pour placer tous les équipements d'enregistrement vidéo et d'éclairage avec en plus un poste de contrôle.

Dans le cas où le suivi ne doit durer que quelques années, il est aussi possible d'avoir recours à des modules intégrant l'éclairage et les caméras. Cela correspond à des panneaux qui peuvent être facilement installés le temps de l'étude et ensuite enlevés pour aller dans un autre ouvrage (**Figure 19**).

Cependant, l'étude d'efficacité par vidéocomptage peut rapidement se révéler onéreuse. En effet, il y a le coût de conception et de construction de la station, sachant aussi qu'il faut penser aux opérations de maintenance pour enlever les encombres, pour laver les vitres ou les panneaux. Ensuite, selon les flux migratoires, il peut y avoir des centaines d'heures d'enregistrement vidéo chaque mois et tout ceci doit être traité, ce qui prend énormément de temps.

Des logiciels ont été créés pour faciliter le dépouillement. Un des plus utilisés est le système : **Surveillance Informatisée des Passes A Poissons (SYSIPAP)**, développé le GHAAPE et l'ENSEEIH de Toulouse (**Figure 18**) (Cattoen, Larinier & Thomas, 1999).

Il comprend deux logiciels un pour faire l'acquisition des images et un autre pour aider à traiter les données. De nos jours, ce système arrive bien à faire la différence entre un poisson et les objets flottants diminuant le nombre d'enregistrements inutiles. En revanche, il peut encore y avoir des améliorations surtout sur la partie traitement des données afin notamment d'automatiser les processus d'identification.



Figure 18 : Dépouillement des enregistrements sur une station de vidéocontrôle

3. 1. 4. Développement d'outils ambitieux

La recherche et le développement avancent pour diminuer les coûts des suivis d'efficacité tout en ayant une meilleure qualité de données. Plusieurs pistes sont envisagées pour améliorer les méthodes présentées.

Sur les transpondeurs passifs ou la télémétrie pour étudier l'attractivité et l'efficacité de passage, il est espéré de réduire le poids des capteurs tout en augmentant leur portée de transmission. Un autre point intéressant serait que les capteurs puissent enregistrer et transmettre des données sur l'état physiologique du poisson marqué. Par exemple, l'indication de si le poisson est mort ou vivant pourrait être une piste afin d'étudier l'impact de prédation des silures au pied de l'ouvrage. Sinon, cela pourrait aussi transmettre l'état de fatigue du poisson pour corrélérer ça avec l'énergie dépensée pour traverser la passe (Cooke et al, 2013).

Concernant le vidéocomptage, l'intelligence artificielle devrait devenir un outil indispensable pour faciliter l'automatisation du dépouillement. En effet, cela pourrait permettre l'identification des poissons, mesurer la taille ou repérer des maladies.

Ce domaine de recherche s'appelle la "vision par ordinateur" et l'objectif est de donner les enregistrements vidéo à un programme pour qu'ils puissent récupérer les informations demandées. Pour ce faire, c'est la technique du Deep Learning qui est utilisée. Le principe est de fournir une grande quantité de photos de différentes espèces piscicoles à réseau de neurones artificielles (Artificial Neural Network) pour que le programme puisse de lui-même établir les règles lui permettant d'identifier l'individu. Il y a donc une première phase d'entraînement du réseau de neurones avant qu'il soit

autonome. Différents types de réseaux ont été développés et certains sont fréquemment utilisés pour la reconnaissance des poissons comme le Convolutional neural network ou le SOM neural networks.

Il existe déjà des programmes viables pour identifier les poissons mais dans des conditions idéales, c'est-à-dire avec une bonne luminosité, sans reflet et une bonne qualité d'image (Rauf et al, 2019 ; Saleh et al, 2022). Or, les images prises par un système de vidéocomptage ne respectent pas ces critères, car dans l'eau, elles sont fortement dégradées à cause de la turbidité et elles sont souvent perturbées par des remous ou des bulles (Rico-Díaz et al, 2020).

De plus, les critères permettant l'identification ne sont pas toujours présents à l'image et c'est parfois compliqué même pour un humain expérimenté (Cattoen, Larinier & Thomas, 1999). Plus la morphologie du poisson est atypique, plus il est facile de l'identifier automatiquement, comme une anguille ou une truite. En revanche, pour discriminer un gardon d'un rotengle la tâche est plus compliquée (**Figure 17**). C'est pour toutes ces raisons qu'il n'est pas encore possible d'identifier automatiquement et efficacement les poissons dans une passe par simple vidéocomptage.

Un moyen pour obtenir de meilleures images serait de sortir brièvement le poisson de l'eau pour le faire passer devant une caméra et ensuite le réinjecter dans la passe. L'intelligence artificielle serait alors capable de collecter les informations demandées plus facilement et plus précisément. Ce genre de système est déjà utilisé aux Etats-Unis et c'est ce qui se rapproche le plus de l'automatisation des études d'efficacité (Grasty, Messina & Bryan, 2021).

L'intelligence artificielle peut aussi améliorer d'autres domaines comme pour la détection des poissons et pour éviter de compter le même individu 2 fois (Rico-Díaz et al, 2020).

Rodriguez et al (2011) ont proposé de suivre les déplacements d'un poisson tout le long de la passe à l'aide d'une succession de caméras. L'objectif est le même que pour de la télémétrie, c'est-à-dire trouver les points bloquants dans l'ouvrage. En revanche, cette méthode permet de s'affranchir du marquage par un capteur et permet l'observation de tous les individus qui essayent de traverser la passe.

Afin de suivre la trajectoire et de séparer le poisson de l'arrière-plan pour diminuer le stockage des données, ils ont utilisé des techniques d'intelligence artificielle. Il reste encore des améliorations à faire mais l'équipe de chercheurs continue à travailler sur cette idée (Rodriguez et al, 2014).

Au-delà de l'étude d'efficacité, le Deep Learning pourrait aussi aider à l'élaboration de nouveaux modèles pour prédire le comportement des poissons dans une passe. L'intelligence artificielle pourrait aussi régler les vitesses d'écoulement dans l'ouvrage par des vannes afin de s'adapter aux capacités de franchissement des individus. Pour avoir une passe multi-espèce, cela serait intéressant. A contrario, elle pourrait identifier les espèces invasives et empêcher leur migration vers l'amont en augmentant le débit dans la passe.

Finalement les champs de réflexions sont tout de même assez élargis mais ça mettra encore du temps avant que toutes ces techniques soient pleinement opérationnelles.

3. 2. Les mesures d'efficacité des passes à poissons de la CNR

La CNR a mis en place plusieurs protocoles pour suivre l'efficacité de ses ouvrages de franchissement. Dans les années 60-70, c'est-à-dire lors de l'installation des premières passes à poissons, l'efficacité était suivie grâce à des campagnes d'observation visuelle et de capture d'individus par des épuisettes pour faire de la biométrie. Si l'eau était trop turbide, il était toujours possible de placer des filets carrelets à l'amont pour piéger les poissons.

C'est ce protocole qui a été utilisé pour le suivi du seuil de Beaucaire ou sur l'écluse Borland de Vallabrègues par le CTGREF (1975). Cette étude a déterminé que la passe de Beaucaire était inefficace pour l'aloise et depuis ce temps elle a été réaménagée, et encore une autre est en projet. Même chose

pour toutes les écluses Borland d'époque qui étaient peu attractives pour les aloses à cause d'un débit d'attrait insuffisant et de son comportement grégaire.

Ensuite, initialement les écluses de navigation n'étaient pas construites pour le franchissement piscicole et cette idée est venue bien après leur construction, afin de répondre à l'inefficacité pour les aloses des écluses Borland (Vialle, 1987).

Ces techniques ont depuis considérablement évolué. D'abord, la première étape est de connaître les peuplements piscicoles dans le Rhône afin d'avoir un diagnostic sur leur pérennité et leur diversité. Pour ce faire, la CNR demande à des prestataires de réaliser des inventaires piscicoles ou des suivis de reproduction surtout sur le bas-Rhône pour les aloses.

La technique de l'ADN environnementale (ADNe) est aussi utilisée pour détecter la présence ou l'absence de certaines espèces. L'intérêt majeur est de pouvoir déterminer jusqu'où les migrateurs amphihalins sont remontés. C'est une technique au stade expérimentale mais la campagne de 2021 sur le site de Donzère a permis entre autres de montrer l'absence de l'aloise à l'amont du barrage. L'ADNe est encore trop imprécise pour avoir des données quantitatives fiables mais cela donne une première idée sur la quantité d'individus et la recherche avance dans ce sens (Takahara, 2012).

Ensuite, pour les rampes à anguilles, MRM est le prestataire qui se charge du suivi car les données obtenues intéressent aussi cette association pour surveiller les migrations. Cela consiste à piéger les anguilles à la sortie de la rampe et ensuite des opérateurs viennent faire la biométrie des individus capturés pour après les relâcher à l'amont du barrage (MRM, 2009). Des mesures de quelques facteurs environnementaux sont aussi récupérées avec le débit, la température de l'eau, le pH et les phases lunaires, tout ceci afin de caractériser au mieux les dynamiques migratoires. Ce suivi s'effectue depuis 2009 et il est renouvelé chaque année sur toute la période de migration de l'anguille, soit entre avril et novembre.

L'efficacité des rampes des anguilles sur les sites d'Avignon, Caderousse et Vallabrègues dépend en premier lieu du bon fonctionnement des équipements et surtout de la pompe hydraulique pour alimenter le coursier. Il y a de multiples raisons qui entraînent l'arrêt de la passe comme la mise hors d'eau de la pompe ou son colmatage (Lambremon & Rivoallan, 2022).

L'attractivité ou l'efficacité des rampes n'ont pas encore été trop analysées. En revanche, une baisse significative dans le nombre d'anguilles est observée chaque année à cause de la régression de recrutement des civelles. Ensuite, plus un ouvrage est proche de la mer plus la moyenne de taille des individus est petite. En effet, sur le site de Vallabrègues la classe de taille dominante est celle < 100 mm, alors que pour Caderousse c'est celle > 200 mm. Cette différence peut s'expliquer par plusieurs causes avec notamment la baisse dans le recrutement ou les retards à la migration (Lambremon & Rivoallan, 2022).

Finalement, ces suivis d'efficacité des rampes permettent d'avoir une analyse scientifique non exhaustive sur la diminution des migrations de l'anguille même si pas encore trop de raisons sont avancées pour expliquer ce phénomène. En revanche, il devrait y avoir une optimisation dans les temps de fonctionnement des passes pour assurer en continu les connexions amont-aval.

Concernant maintenant les rivières de contournement, plusieurs protocoles de suivi ont été mis en place. Par exemple, sur le seuil du Livron dans la Drôme, des nasses anti-retours à l'amont de la rivière artificielle ont été installées pour piéger les poissons. Comme pour les rampes à anguilles, des opérateurs viennent ensuite faire la biométrie de tous les poissons capturés pour après les relâcher. Sur cette passe, il est d'autant plus important de vérifier l'efficacité car l'apron faisait partie des espèces cibles.

Une nouvelle fois, c'est MRM le prestataire qui se charge du suivi biologique sur 3 ans (Abdallah, Monnier & Lebel, 2013). La CNR s'est chargée des analyses hydrauliques et physicochimiques afin de vérifier la compatibilité des hauteurs de chute et des vitesses d'écoulement par rapport à ce qui a été calibré.

Il est intéressant de noter que le piégeage sur cette passe s'est révélé insatisfaisant à cause d'abord de l'engrèvement du dispositif et du manque d'étanchéité de la nasse, la maille des grilles laissant possiblement s'échapper les poissons. Néanmoins, d'autres campagnes de piégeage effectuées sur les passes de la CNR se sont révélées plus efficaces.

Des pêches électriques peuvent aussi être organisées pour inventorier les poissons qui transitent dans la rivière artificielle. Le même protocole a été réalisé sur la rivière de contournement du seuil de la Yenne ou du Livron. Néanmoins, il est parfois difficile d'effectuer ce genre de pêche à cause des débits importants, et le plus souvent des données ponctuelles sont récupérées pendant les pêches de sauvetage pour les maintenances nécessitant une vidange du chenal.

Pour les passes rustiques, l'efficacité de la plupart reste à confirmer. En effet, la majorité d'entre elles correspond à une simple échancrure sur le seuil et leur efficacité n'a pas été précisément analysée.

Pour les écluses de navigation de Caderousse, Villeneuve (Avignon) et Beaucaire (Vallabrègues) une étude de radiopistage a été menée pour suivre la migration des aloses. L'intérêt était de connaître l'efficacité de ces écluses par rapport au débit d'attrait qui est censé être adapté pour les aloses. Ainsi, 200 individus ont été équipés d'un capteur radio entre 2004 et 2006 et 18 antennes ont été placées le long du Rhône pour les suivre (Roche et al, 2007).

Enfin, pour les passes à bassins, des suivis par piégeage avec des nasses ou des pêches électriques ont déjà été effectués par le passé, mais de nos jours, la CNR met en place de plus en plus des dispositifs de vidéocomptage. Sur le bassin rhodanien, il existe deux méthodes de suivi par vidéocontrôle.

La première est située exclusivement sur la passe à poissons de Sauveterre et elle utilise le logiciel SYSIPAP. Cette station est unique sur le Rhône dans sa conception, car au centre de la passe il y a le système d'éclairage et sur les deux côtés il y a un chenal qui permet le passage des poissons ainsi que l'enregistrement vidéo (**Figure 19**).

Il s'agit d'un suivi pérenne et un rapport bilan sur les migrations piscicoles est réalisé chaque année. Le prestataire de ce suivi est une nouvelle fois MRM qui se charge du dépouillement des images et de la rédaction des bilans (Matheron, Rivoallan & Campton, 2021).

L'autre dispositif utilise le système Ibaï Begi développé par la société Hizkia et cela consiste par la mise en place de deux panneaux immergés, un pour l'éclairage et un pour l'acquisition vidéo (**Figure 19**). A contrario de Sauveterre, les suivis d'efficacité ne durent généralement que 1 ou 2 ans. Ils ne sont pas là pour suivre l'évolution des migrations à travers les années mais plutôt pour donner une appréciation des fonctionnalités de la passe.

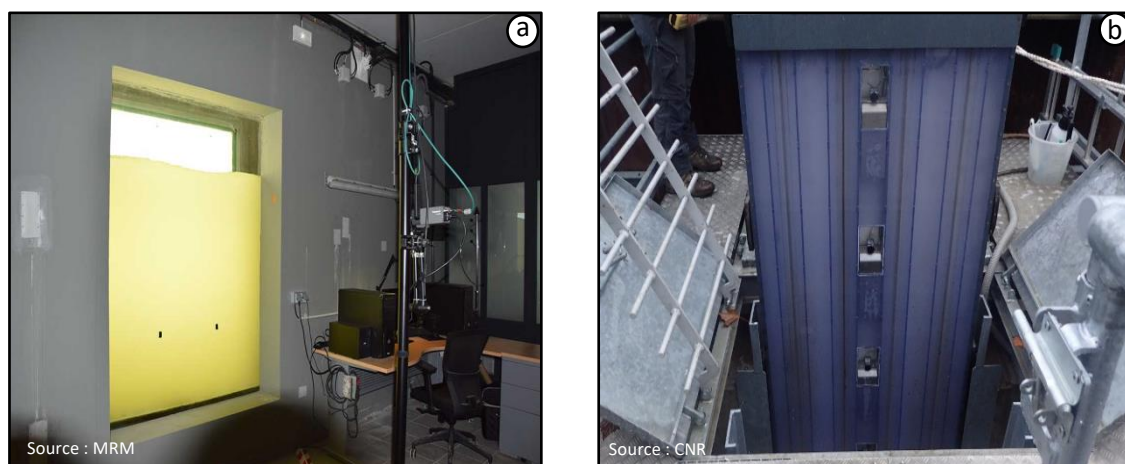


Figure 19 : Les systèmes de vidéocomptage utilisés par la CNR. a) Local de comptage sur Sauveterre, b) Panneau amovible de vidéocomptage sur Villebois

C'est sur le seuil du Livron en 2013 que le système de Hizkia a été utilisé expérimentalement pour la première fois par la CNR. De plus, c'est la société Scimabio qui se charge du dépouillement des images et elle fait appel à l'entreprise Giroud Pêche Professionnelle pour assurer des opérations de maintenance comme le lavage des panneaux.

Il n'est pas possible de comparer les deux systèmes de vidéocomptage car le contexte et les objectifs sont différents. Cependant, le gros intérêt des panneaux est qu'ils ne demandent pas une emprise spatiale importante et il ne faut pas lors de la conception prévoir la construction d'une armature en béton. Les coûts sont donc considérablement réduits.

Pour l'instant la CNR a terminé 2 suivis utilisant des panneaux de vidéocomptage sur le barrage de Rochemaure (Montélimar) et du Pouzin (Baix Logis-neuf). 3 autres sont en cours d'acquisition de données avec Sauveterre, Villebois et Donzère. Il est aussi possible de rajouter à ça, le suivi par vidéocomptage sur la rivière artificielle de Jons gérée par EDF, de Chancy-Pougny et de Verbois en Suisse.

L'enjeu le plus important pour la CNR réside dans les 9 stations de vidéocomptages qui sont en projet (**Figure 20**). En effet, elle compte turbiner le débit de réserve à l'aide de PCH qui seront équipées de passe à poissons. Pour vérifier leur efficacité, il est déjà prévu de faire une campagne de mesure par vidéocomptage sur 1 ou 2 ans. La passe à bassins de l'Ouvèze récemment rénovée devrait aussi être suivie.

Or, chaque dispositif de vidéocomptage coûte plusieurs centaines de milliers d'euros que ce soit pour la pose des panneaux, pour l'entretien et pour le dépouillage. C'est pour ces études que la CNR espère réduire au maximum les coûts tout en assurant la même qualité d'acquisition de données. Elles cherchent donc à explorer de nouvelles méthodes à travers surtout l'intelligence artificielle déjà abordée dans la partie précédente pour automatiquement dépouiller les images.

Il faut aussi rajouter que Scimabio a déjà réalisé des études RFID pour déterminer l'attractivité, les temps et l'efficacité de passage de certaines passes comme sur Donzère où plus de 3000 individus ont été marqués. Ce qui rajoute des coûts supplémentaires dans le cas où la CNR désire avoir ces informations.

Résumé

Il existe de nombreux protocoles pour mesurer l'efficacité des passes à poissons. Certains permettent de mesurer l'efficacité, l'attractivité ou inventorier les espèces qui peuvent franchir. Il faut choisir ces protocoles en fonction du contexte, des informations qu'on cherche à avoir et des moyens financiers ou humains disponibles. Ces techniques évoluent constamment et procurent de plus en plus de données qui à termes faciliteront le diagnostic quantitatif des peuplements piscicoles.

Par conséquent, la CNR essaye constamment de s'adapter par rapport à ses nouvelles techniques. Elle a déjà utilisé quelques protocoles pour vérifier l'efficacité de ses passes, avec du piégeage des individus par des nasses, des suivis par radiopistage et du RFID. C'est surtout sur le vidéocomptage où elle espère pouvoir automatiser au maximum les processus car le dépouillement des images et l'identification des poissons demandent beaucoup de moyens.

Ainsi, la CNR cherche à explorer et à expérimenter les techniques qui automatiseraient le vidéocomptage comme l'intelligence artificielle.

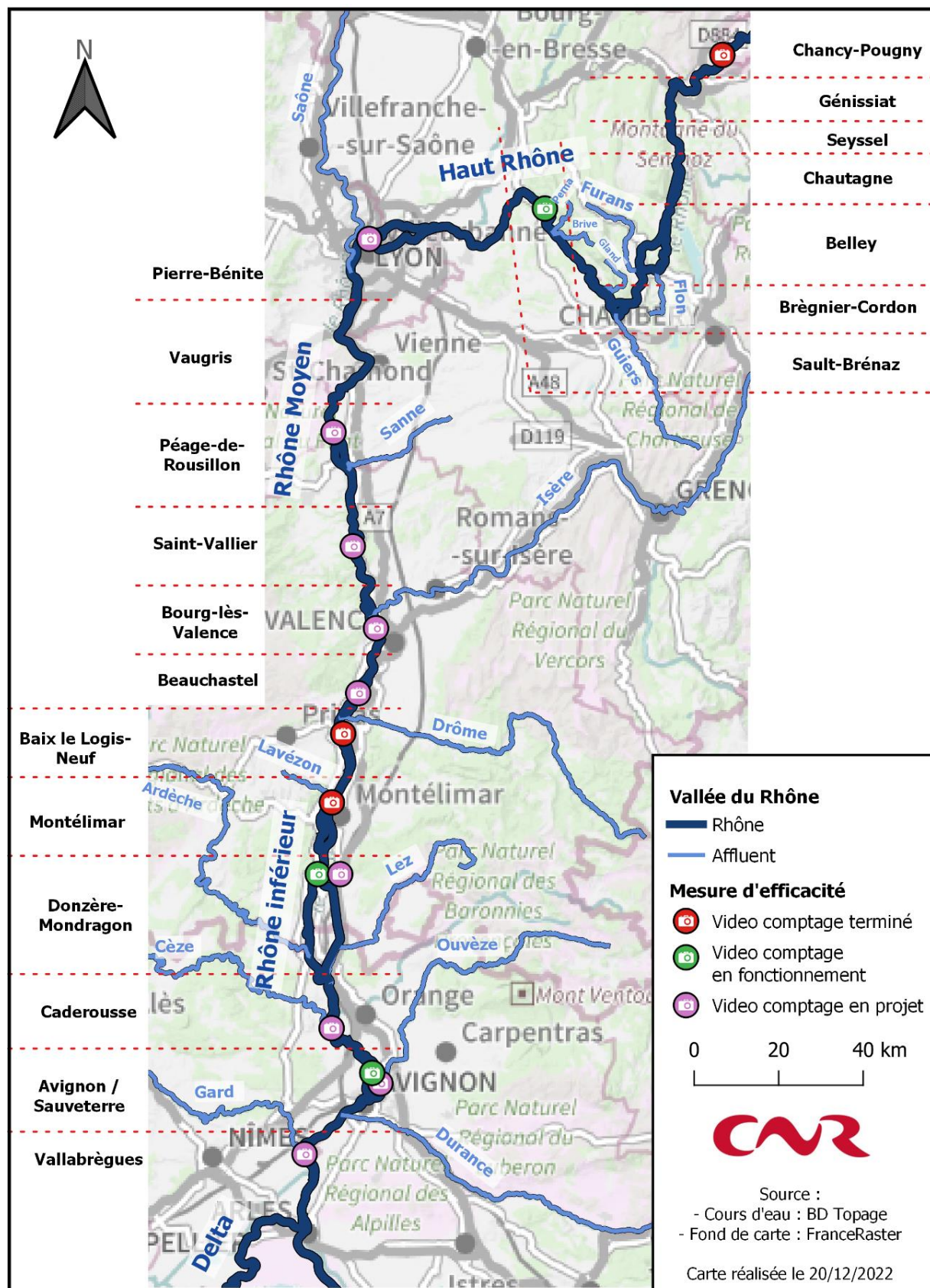


Figure 20 : Les stations de vidéocomptage de la CNR

Conclusion

La recherche avance pour développer de nouveaux ouvrages de franchissement. Même si encore de nos jours, il n'existe pas de designs qui permettent la transparence totale d'un obstacle, l'efficacité de passage et l'attractivité sont constamment améliorées. Le comportement des poissons dans les passes est un critère qui reste encore peu étudié mais de nouveaux modèles numériques essayent de le prédire. De plus, les nouveaux designs tendent vers une automatisation avec le moins de maintenances possibles.

Les exigences en matière d'efficacité seront sûrement de plus en plus strictes avec une volonté de prendre en compte un nombre important d'espèces cibles. Par conséquent, lors de l'analyse d'efficacité il faudra collecter encore plus d'informations sur l'espèce, le nombre d'individus, la taille et la condition de santé de chacun. Afin de respecter ces conditions, il faudra en partie automatiser l'acquisition des données et l'intelligence artificielle pourrait justement être à la base de systèmes innovants dans la reconnaissance d'individus.

Ainsi, la CNR cherche à prévoir ces futures avancées et à les appliquer à ses propres dispositifs. Lors de la seconde phase de cette alternance, l'objectif sera donc de rentrer dans les détails techniques afin d'établir des protocoles innovants pour étudier l'efficacité des passes à poissons de la CNR et d'avoir une idée des coûts. Pour ce faire, il faudra aussi contacter les différentes entreprises ou les instituts de recherche qui développent des méthodes d'automatisation opérationnelles, puis regarder si cela peut être adapté au contexte du Rhône.

Bibliographie

Abdallah, Y., Monnier Y., & Lebel I. (2013) Suivi biologique de la passe à poissons de Livron sur la Drôme. Rapport de synthèse des campagnes 2010 à 2013. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée et Fédération Départementale des Associations de Pêches et de la Protection des Milieux Aquatiques de la Drôme. 28 p.

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

Barran, P. & Bascilico, L. (2011) Plan de sauvegarde de l'anguille : Quelles solutions pour optimiser la conception et la gestion des ouvrages ? ONEMA. 81 p.
https://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/anguilles-synthese-rencontres.pdf

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

Boisneau, C., Ruaux, B. & Boisneau, P. (2011) Reconstitution des cohortes de grande alose (*Alosa alosa* L.) en Loire de 1980 à 2005, liens entre indice d'abondance et facteurs environnementaux. halshs-01015461

Bravard, J. & Clemens, A. (2008) Le Rhône en 100 Questions. ZABR, GRAIE. Villeurbanne. 295p.

Bunt, C. M. (2001) Fishway entrance modifications enhance fish attraction. *Fisheries Management and Ecology*, 8(2), pp. 95–105. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2400.2001.00238.x>.

Bunt, C. M., Castro-Santos, T., & Haro, A. (2011) Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Research and Applications*, 28(4), 457-478. doi:10.1002/rra.1565

Cattoen, M., Larinier, M., & Thomas, N. (1999) Système et logiciels pour la surveillance des passes à poissons. *Bulletin Français De La Pêche Et De La Pisciculture*, (353-354), 263-277. doi:10.1051/kmae:1999015

Cooke, S.J. et al. (2013) "Tracking animals in freshwater with electronic tags: Past, present and future," *Animal Biotelemetry*, 1(1), 5 p. <https://doi.org/10.1186/2050-3385-1-5>.

Cooke, S. & Hinch, S. G. (2013) Improving the reliability of Fishway attraction and passage efficiency estimates to inform Fishway Engineering, science, and Practice. *Ecological Engineering*, 58, 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.06.005>

CNR. (2018). Petite centrale hydroélectrique et passe à poissons de Vallabrègues : dossier d'exécution pièce 1 notice technique. 92 p.
http://documents.projets-environnement.gouv.fr/2019/10/07/630711/630711_PZIP.pdf

CNR. (2019) Rapport Responsabilité sociétale d'entreprise. 27 p. <https://www.cnr.tm.fr/wp-content/uploads/2020/08/Rapport-RSE-2019-BaT-ok.pdf>

SIAGA. (2012) Contrat de bassin Guiers - Aiguebelette : Fiches Actions Volet B1. 48 p. https://www.gesteau.fr/sites/default/files/gesteau/content_files/document/FasciculeA.pdf

Crivelli, A., & Hermeloup, C. (2013) *L'anguille européenne*. Tour du Valat. 32 p. https://tourduvalat.org/wp-content/uploads/2017/11/brochure_anguille-ok_web_0.pdf

CTGREF (1975) Les obstacles à la Migration des poissons du Rhône dans le département du Gard. Groupement du CTGREF d'Antony, division Qualité des Eaux Pêche et Pisciculture. 83 p.
https://belinra.inrae.fr/doc_num.php?explnum_id=4655

Dartiguelongue, J. (2020) Guide pour la conception d'une station de vidéocontrôle dans une passe à poissons. L'expérience française : critères, matériels et pratiques. Rome, *Food & Agriculture*. 102 p.

Delmotte, S., Guillerault, N., Poulet, N. & Santoul, F., (2015) Etudes des interactions du Silure glane (*Silurus glanis*) avec l'ichtyofaune métropolitaine. *Rapport final de l'Onema*. 71 p.

DIREN Rhône-Alpes. (2007) Programme de gestion de l'anguille sur les lagunes méditerranéennes 2007-2008. Délégation de bassin - Secrétariat du COGEPOMI RM et C. 6p. https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/sites/siarm/files/content/migrate_documents/plan-anguille-france_volet-local-RMed.pdf

Braud, S. & Albert, A. (2013) Synthèses des connaissances & proposition d'une méthode d'évaluation de l'impact des ouvrages transversaux sur la continuité sédimentaire des cours d'eau. DREAL Centre-Val de Loire. 76 p. https://side.developpement-durable.gouv.fr/Default/doc/SYRACUSE/342527/syntheses-des-connaissances-proposition-d-une-methode-d-evaluation-de-l-impact-des-ouvrages-transver?_lg=fr-FR

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

Floury, M., Chandesris, A. & Souchon, Yves. (2020) Réservoirs Biologiques du bassin Rhône Méditerranée - Analyse de contexte et perspectives. INRAE. 106 p. <https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/sites/siarm/files/content/2020-06/RapportExpertiseRbio-INRAE-2020.pdf>

Georget, M. (2019) Retours sur deux programmes Life et un plan national d'action en faveur de l'apron du Rhône. Sciences Eaux & Territoires, (Cahier spécial IV), 2–5. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2019.cs4.01>

Gisen, D. C., Schütz, C., & Weichert, R. (2022) Development of behavioral rules for upstream orientation of fish in confined space. PLOS ONE, 17(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263964>

Grasty, S., Messina, M., Bryan, J. (2021) Upstream and Downstream –Exciting Advances to Modernize Fish Passage and Improve Data Collection. *American Fisheries Society*, 4, <https://doi.org/10.1002/fsh.10513>

Grimardias, D., Chasserieau, C., Beaufils, M., & Cattaneo, F. (2022) Ecological connectivity of the Upper Rhône River : Upstream fish passage at two successive large hydroelectric dams for partially migratory species. *Ecological Engineering*, 178, 106545. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106545>

Hahn, L. et al. (2020) Semi-natural fishway efficiency for Goliath catfish (*Brachyplatystoma* spp.) in a large dam in the Amazon Basin. *Hydrobiologia*, 849(2), pp. 323–338. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04438-0>.

Hershey, H. (2021) Updating the consensus on Fishway Efficiency: A meta-analysis. *Fish and Fisheries*, 22(4), 735–748. <https://doi.org/10.1111/faf.12547>

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

Katopodis, C. (2016) Not all fishways are created equal. Conférence: Proceedings of the 11th International Symposium on Ecohydraulics, ISBN: 978 0 7340 5339 8At: Melbourne, Australia, 7-12 February 2016. University of Melbourne

Kemp, P. S. (2016) Meta-analyses, metrics and motivation : Mixed messages in the fish passage debate. *River Research and Applications*, 32(10), pp. 2116–2124. <https://doi.org/10.1002/rra.3082>.

Lucas, M. C. & Baras, E. (2001) *Migration of freshwater fishes*. Oxford: Blackwell Science.

Lambremon J. & Rivoallan D., (2022) Suivi des passes-pièges à anguilles sur le Rhône aval. Campagne d'Études 2021. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. 15 p.

Mateo, S. (2020) Procédure pour conduire avec succès une revue de littérature selon la Méthode Prisma. *Kinésithérapie, la Revue*, 20(226), pp. 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2020.05.019>.

Matheron C., Rivoallan D. & Campton., (2021) Suivi de la station de vidéo-comptage de Sauveterre. Campagne d'Études 2020. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. 31 p.

MRM. (2009) Suivi des passes-pièges à anguilles de l'usine de Beaucaire Campagne d'étude 2009. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. 48 p. https://www.rhonemediterranee.eaufrance.fr/sites/siarm/files/content/migrate_documents/Beaucaire_2009.pdf

MTES : Ministère de la transition écologique et solidaire. (2020). Projet de prolongation de la concession du Rhône : dossier de concertation. Cereg 118 p.

<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Prolongation%20concession%20Rh%E2%94%9C%E2%94%A4ne%20dossier%20de%20concertation.pdf>

Noonan, M.J., Grant, J.W. & Jackson, C.D. (2011) A quantitative assessment of Fish Passage Efficiency. *Fish and Fisheries*, 13(4), pp. 450–464. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2011.00445.x>.

Ovidio, M., Sonny, D., Dierckx, A., Watthez, Q., Bourguignon, S., de le Court, B., Detrait, O., & Benitez, J. P. (2017) The use of behavioural metrics to evaluate fishway efficiency. *River Research and Applications*, 33(9), 1484–1493. <https://doi.org/10.1002/rra.3217>

Rauf, H. T., Lali, M. I., Zahoor, S., Shah, S. Z., Rehman, A. U., Bukhari, S. A. (2019). Visual features based automated identification of fish species using deep convolutional neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 167, 105075. doi:10.1016/j.compag.2019.105075

Richer, E. E. *et al.* (2020) Multispecies Fish Passage Evaluation at a rock-ramp fishway in a colorado transition zone stream. *North American Journal of Fisheries Management*, 40(6), pp. 1510–1522. <https://doi.org/10.1002/nafm.10516>.

Roche P., Balle G., Brosse L., Delhom J., Gomez P., Lebel I., Subra S. & Vanel N. (2007) Etude par radiopistage de la migration de l'Alose dans le Rhône aval. Rapport final ; Synthèse 2004-2005- 2006. Rapport ONEMA– MRM – CNR, 57 p.

Rico-Díaz, Á.J. *et al.* (2020) An application of fish detection based on eye search with Artificial Vision and Artificial Neural Networks. *Water*, 12(11), p. 3013. <https://doi.org/10.3390/w12113013>.

Rodríguez, Á. *et al.* (2011) Optical fish trajectory measurement in fishways through computer vision and Artificial Neural Networks. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 25(4), pp. 291–301. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000092](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000092).

Rodríguez, Á, Bermúdez, M., Rabuñal, J. R., & Puertas, J. (2014) Fish tracking in vertical slot fishways using Computer Vision Techniques. *Journal of Hydroinformatics*, 17(2), 275–292. doi:10.2166/hydro.2014.034

Roscoe, D. W. & Hinch, S. G. (2010) Effectiveness monitoring of fish passage facilities: Historical trends, geographic patterns and future directions. *Fish and Fisheries*, 11(1), pp. 12–33. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2009.00333.x>.

Saleh, A., Sheaves, M., Jerry, D. & Rahimi Azghadi, M. (2022) Applications of Deep Learning in Fish Habitat Monitoring : A Tutorial and Survey. *Science and Engineering*, 1-26. doi:arXiv:2206.05394v1

Silva, A. T., Lucas, M. C., Castro-Santos, T., Katopodis, C., Baumgartner, L. J., Thiem, J. D., Aarestrup, K., Pompeu, P. S., O'Brien, G. C., Braun, D. C., Burnett, N. J., Zhu, D. Z., Fjeldstad, H.-P., Forseth, T., Rajaratnam, N., Williams, J. G. & Cooke, S. J. (2017) The future of Fish Passage Science, engineering, and Practice. *Fish and Fisheries*, 19(2), 340–362. <https://doi.org/10.1111/faf.12258>

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

Takahara, T., Minamoto, T., Yamanaka, H., Doi, H., & Kawabata, Z. (2012) Estimation of fish biomass using environmental DNA. *PLoS ONE*, 7(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035868>

Ulrich, T. (2015). Les ouvrages hydrauliques. Encyclopédie de l'énergie

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

Vialle, M. (1987) Les passes à aloses : Expérience de la CNR. *La Houille Blanche*, 73(1-2), 59–64. <https://doi.org/10.1051/lhb/1987005>

Zylberblat, M., Roche, P. & Pautrat, P. (2011) “Le rétablissement de l’axe de migration sur le Rhône : Une Stratégie partagée,” *La Houille Blanche*, 97(6), pp. 22–27. <https://doi.org/10.1051/lhb/2011057>.

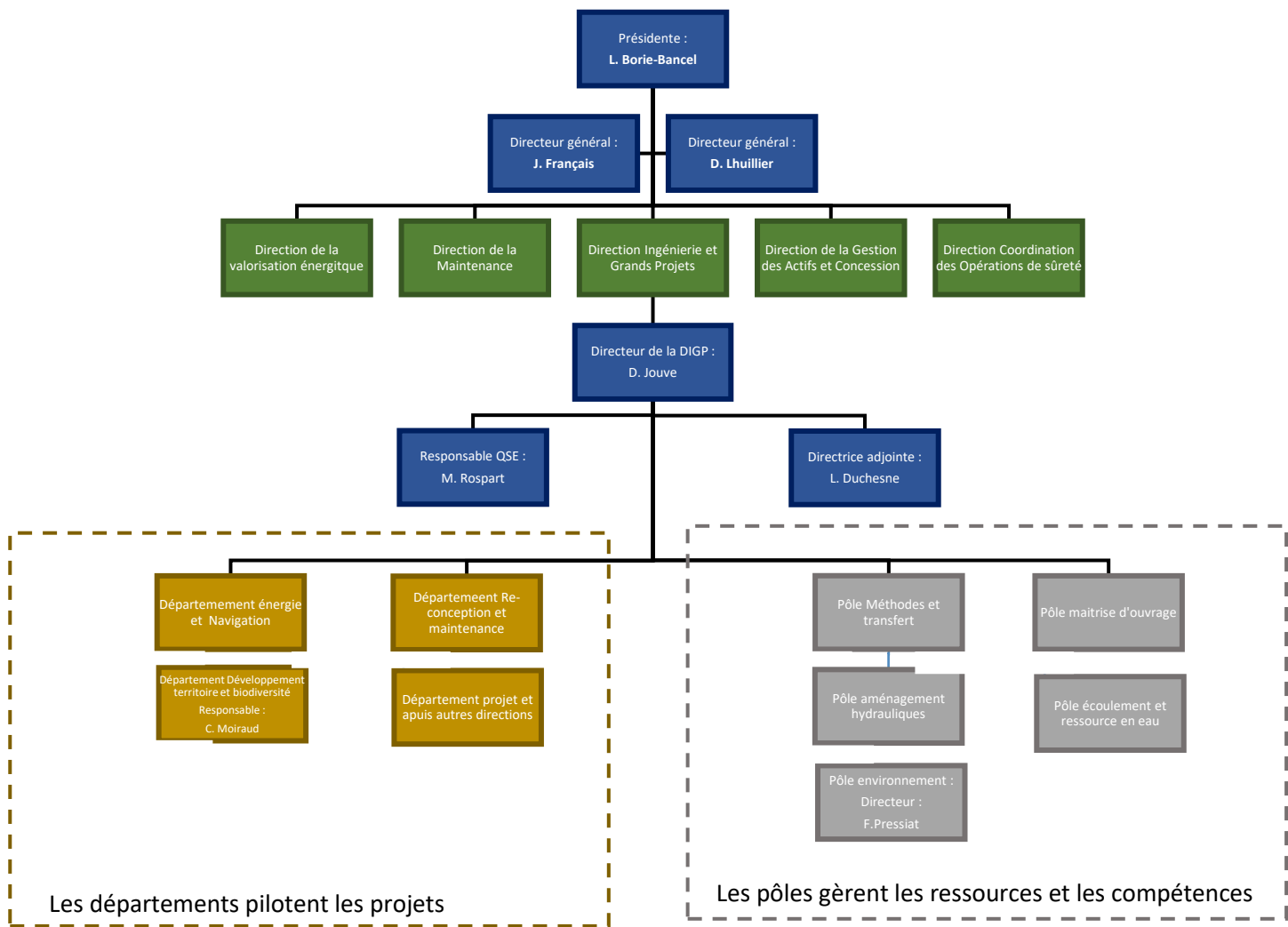
Index des illustrations et des tableaux

Figure 1 : Vue aérienne du Rhône. Source : CNR	2
Figure 2 : Localisation du Rhône et de ses principaux affluents	3
Figure 3 : Sectorisation et classement du Rhône	4
Figure 4 : Les espèces à fort enjeux et qui effectuent des migrations importantes sur le Rhône : a) Alose, b) Anguille, c) Lamproie planer, d) Lamproie marine, e) Apron du Rhône, f) Brochet, g) Truite fario, h) Ombre commun	4
Figure 5 : Les 4 dimensions d'un hydrosystème. Source : Floury, Candesris et Souchon (2020)	6
Figure 6 : Les méthodes pour franchir un obstacle : a) Saut, b) nage, c) Accrochage et d) reptation.....	9
Tableau 1 : Les métriques biologiques utilisées pour déterminer l'efficacité d'une passe à poissons (Ovidio et al, 2017)	11
Figure 7 : Les obstacles à l'écoulement de la CNR sur le Rhône et ses contre-canaux.....	15
Figure 8 : Le barrage-centrale de Génissiat.....	15
Figure 9 : Les aménagements hydroélectriques de la CNR : a) alimentation de la centrale par un canal de dérivation, b) Barrage-Usine. Source : CNR.....	16
Figure 10 : Les dispositifs de franchissement gérés par la CNR.....	17
Figure 11 : Les ouvrages de franchissement sur le Rhône et ses affluents	18
Figure 12 : Les dates de construction des ouvrages de franchissement	18
Figure 13 : Proportion des types d'ouvrage entre les 3 secteurs du Rhône	18
Figure 14 : Rampe à anguilles en RD de la centrale d'Avignon	18
Figure 15 : les différents types de passes rustiques de la CNR. a) Echancrure sur le seuil du flon, b) Macrorugosité sur le seuil de l'Ardèche, et c) Rampe à poissons sur le seuil des Comps (Gard)	19
Figure 16 : Marquage d'un poisson par RFID	21
Figure 17 : Individus détectés par une station de vidéocomptage. a) Anguille, b) Truite, c) Gardon et d) Rotangle	23
Figure 18 : Dépouillement des enregistrements sur une station de vidéocontrôle	24
Figure 19 : Les systèmes de vidéocomptage utilisés par la CNR. a) Local de comptage sur Sauveterre, b) Panneau amovible de vidéocomptage sur Villebois	27
Figure 20 : Les stations de vidéocomptage de la CNR	29

Index des annexes

Annexe 1 : Organigramme de la CNR.....	1
Annexe 2 : Les différents types d'ouvrages de franchissement	2
Passe à ralentisseurs	2
Passe à bassins	2
Echancrure.....	3
Rampe à poissons.....	3
Pré-barrage.....	4
Rivière de contournement	4
Ecluse de navigation.....	5
Ecluse à poissons	5
Ascenseur à poissons.....	6
Ascenseur à vis	6
Rampes à anguilles	7
Passe à siphon	7
Whooshh Passage Portal.....	8
Passe à bassins en spirale ou Ecluse à poissons en spirale	8
Annexe 3 : Les obstacles à l'écoulement sur le Rhône et ses affluents	9
Annexe 4 : Les dispositifs de franchissement sur les affluents du Rhône .	10

Annexe 1 : Organigramme de la CNR (Source : le site internet de la CNR « www.cnr.tm.fr »)



Annexe 2 : Les différents types d'ouvrages de franchissement

Passé à ralentisseurs



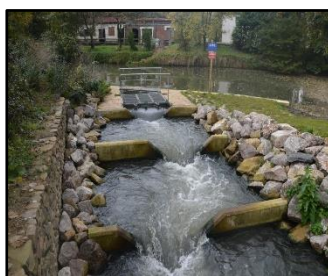
Description : il s'agit d'un canal le plus souvent rectiligne avec la présence de déflecteurs sur les côtés et sur le fond pour ralentir la vitesse du courant. La pente est le plus souvent forte. Il existe plusieurs formes de déflecteurs qui changent la rugosité du lit.

Attractivité	Efficience de passage
Attractif car la vitesse à l'entrée de la passe est souvent importante ce qui permet aux poissons migrateurs de bien localiser la passe	Pertinent pour les espèces salmonicoles car ils ont une bonne capacité de nage. Sélectif pour les individus moins bons nageurs
Avantages	Inconvénients
- Réalisation simple - Moins coûteux que d'autres types de passe - S'adapte bien dans un contexte salmonicole	- Inadéquat pour des hauteurs de chute > 2,5 m - Dispositif sélectif - Sensible aux colmatages

Source : - Bunt, C. M., Castro-Santos, T., & Haro, A. (2011). Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. River Research and Applications, 28(4), 457-478. doi:10.1002/rra.1565

- Aigouï, F., & Dufour, M., (2008). Guide passes à poissons. OFB. 78 p. https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/png/PNG%202011/f_08-05_cle29b691.pdf

Passé à bassins



Description : Le principe est de diviser la pente d'un obstacle par une série de bassins. Le niveau d'eau dans les bassins est contrôlé par des cloisons échancrées. Plusieurs designs existent dans la forme des cloisons et dans la dissipation de l'énergie avec notamment les échancrures latérales ou les fentes verticales

Attractivité	Efficience de passage
Dépend essentiellement du débit d'attrait qui est laissé à l'entrée de la passe. De plus, le contraste entre le béton de la passe et le lit naturel du cours d'eau pourrait diminuer l'attractivité	Selon les passes, l'efficience peut être moyenne ou forte. Dépend des conditions hydrauliques entre chaque bassin. Il suffit d'une mauvaise transition entre 2 bassins pour que la passe soit totalement infranchissable
Avantages	Inconvénients
- Concorde avec de nombreux contextes topologiques et hydrauliques - Mutli-espèce surtout pour les fentes verticales - Peu influencé par les variations de niveau d'eau	- Sensible aux encombres qui bloquent l'ouvrage - Nécessite un entretien régulier (curage) - Besoin d'un débit d'attrait pour être attractif

Source : - Bunt, C. M., Castro-Santos, T., & Haro, A. (2011). Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. River Research and Applications, 28(4), 457-478. doi:10.1002/rra.1565

- Aigouï, F., & Dufour, M., (2008). Guide passes à poissons. OFB. 78 p. https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/png/PNG%202011/f_08-05_cle29b691.pdf

Echancrure



Description : Il s'agit ici d'une sous-catégorie de passe rustique. Le principe est de creuser une échancrure dans la structure bétonnée du seuil pour diminuer la hauteur de chute et pour augmenter la hauteur d'eau localement. Pour compléter ça, il est aussi possible de rehausser le niveau d'eau à une dizaine de mètres à l'aval de l'obstacle en créant un radier

Attractivité	Efficience de passage
Dépend de la taille de l'échancrure par rapport à la largeur de la rivière	Dépend des conditions hydrauliques et de la pente
Avantages	Inconvénients
• Facile de conception et de construction • Peu onéreux • Peu s'adapter à une grande quantité d'espèces	• Réservé pour les petits seuils • Le creusement de l'échancrure peut affaiblir les fondations de l'obstacle

Source : - EPAGE. (2019) Travaux de restauration de la continuité écologique sur la Bezonde à Saint Maurice sur Fessard. <https://www.epageloing.fr/index.php/le-bassin-du-loing/les-actions-de-l-epage/131-travaux-de-restauration-de-la-continuite-ecologique-sur-la-bezonde-a-saint-maurice-sur-fessard> (Consulté le : 05/01/2022).

Rampe à poissons



Description : Les rampes sont des passes rustiques. Elles sont situées à côté ou sur le coursier de l'obstacle. Elles permettent de lisser la hauteur de chute et une rugosité artificielle est le plus souvent ajoutée pour réduire les vitesses d'écoulement. Cela correspond à des enrochements ou des macrorugosités bétonnées

Attractivité	Efficience de passage
Dépend de la largeur de la passe par rapport au cours d'eau mais le plus souvent forte attractivité	La faible pente permet un franchissement efficace de beaucoup d'individus
Avantages	Inconvénients
• Multi-espèce • Bonne attractivité et efficience de passage performante	• Adapté à des hauteurs de chute faibles (>2m) • Sensible aux conditions hydrauliques du cours d'eau

Source : - Aigoui, F., & Dufour, M., (2008). Guide passes à poissons. OFB. 78 p. https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/png/PNG%202011/f_08-05_cle29b691.pdf

Pré-barrage



Description : Succession de plusieurs petits seuils séparés par un bassin afin de casser la pente d'un plus gros obstacle. L'écoulement se fait exclusivement par surverse, soit sur une portion de l'obstacle soit sur toute sa largeur.

Attractivité	Efficience de passage
Forte car la largeur de la voie de passage est importante et qu'il y a formation de remous à l'entrée grâce aux seuils	Dès lors que le poisson est un individu sauteur ce genre de passe à une bonne efficience, mais si l'écoulement est à jet plongeant, infranchissable pour les espèces non sauteuses peu importe la hauteur de chute du seuil
Avantages	Inconvénients
• Facile de conception et de construction • Pas de maintenance nécessaire • Attractivité idéale	• Ouvrage sélectif • Limité à une hauteur de chute > 2 m • Efficacité dépendante des conditions hydrauliques

Source : - Aigoui, F., & Dufour, M., (2008). Guide passes à poissons. OFB. 78 p. https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/png/PNG%202011/f_08-05_cle29b691.pdf

Rivière de contournement



Description : Un chenal artificiel est creusé autour de l'obstacle pour reproduire des conditions naturelles d'écoulement. La pente est généralement faible et des déflecteurs/épis ou des macrorugosités sont positionnés sur le chenal pour contraindre le courant. Des parcours de canoés peuvent être aménagés dans le chenal

Attractivité	Efficience de passage
La faible pente et les faibles vitesses de courant à l'entrée ne permettent souvent pas une bonne attractivité de la passe	Facilement franchissable pour un grand nombre d'espèces grâce aux conditions hydrauliques favorables
Avantages	Inconvénients
• Mutli-espèce • Efficience de passage performante	• Adaptée à des hauteurs de chute > 3 m • Emprise spatiale importante • Nécessite un entretien régulier (curage)

Source : - Aigoui, F., & Dufour, M., (2008). Guide passes à poissons. OFB. 78 p. https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/png/PNG%202011/f_08-05_cle29b691.pdf
- Bunt, C. M., Castro-Santos, T., & Haro, A. (2011). Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. River Research and Applications, 28(4), 457-478. Doi :10.1002/rra.1565
- Richer, E. E., Fetherman, E. R., Krone, E. A., Wright, F. B., & Kondratieff, M. C. (2020). Multispecies Fish Passage Evaluation at a rock-ramp fishway in a colorado transition zone stream. North American Journal of Fisheries Management, 40(6), 1510-1522. Doi :10.1002/nafm.10516

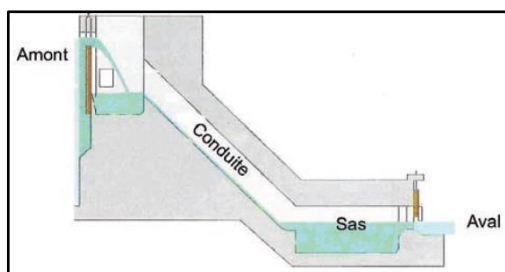
Ecluse de navigation



Description : Les écluses servant pour le passage des bateaux peuvent aussi servir pour le passage des poissons. Il y a toute de même des modifications à faire pour rendre l'écluse compatible. Ainsi, il est nécessaire d'assurer un débit d'attrait en ouvrant les aqueducs de remplissage tout en laissant la porte aval ouverte

Attractivité	Efficience de passage
Dépend de la localisation de l'écluse et l'attractivité est fragmentée entre les cycles de remplissage et de vidange	Tous les poissons continuent leur migration dès lors qu'on laisse un débit de circulation dans l'écluse même après la fin du remplissage
Avantages	Inconvénients
- Les modifications pour rendre compatible l'écluse avec les migrations piscicoles sont peu coûteuses - Pas de maintenance supplémentaire outre celles pour la sécurité des biens et des personnes	- Intéressant pour compléter d'autres dispositifs mais peu difficilement se suffit à lui seul - Peu adapté pour l'anguille qui se déplace la nuit quand les écluses sont le plus souvent fermées
Source : - Groux F., Therrien J., Chanseau M., Courret D., Tétard S. 2015. Actualisation des connaissances sur l'efficacité et la conception des dispositifs de montaison pour l'aloise - Projet LIFE09 NAT/DE/000008 - Conservation and restoration of the Allis shad in the Gironde and Rhine watersheds – Action A1. Rapport de WSP à l'ONEMA. 85 p	

Ecluse à poissons ou Ecluse Borland

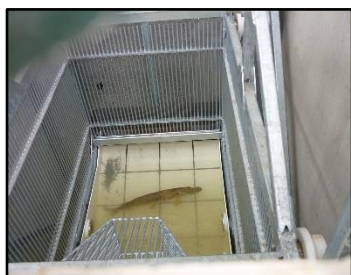


Description : Cet ouvrage se compose d'un sas à l'aval pour contenir les poissons le temps du remplissage de l'écluse. Le sas est relié à l'amont par un conduit incliné ou vertical jusqu'à une chambre connectée à la rivière. Une fois ce processus terminé, les vannes à l'aval s'ouvrent pour vidanger l'écluse et attirer les nouveaux poissons dans le sas. Ainsi, il y a 4 étapes à retenir : l'attrait du poisson dans l'ouvrage, le remplissage, la sortie du poisson et enfin la vidange

Attractivité	Efficience de passage
Techniquement une bonne attractivité mais le système fonctionne en discontinue	Aucune blessure ou mortalité lors du transfert amont / aval
Avantages	Inconvénients
- Multi-espèce - S'adapte à de nombreux contextes topologiques	- Pour accomplir un cycle, il faut compter plusieurs heures en fonction de la hauteur de chute - Emprise importante - Nécessite une maintenance surtout pour les équipements électriques

Source : - Arrignon, J. (1974). Dispositifs de franchissement des barrages par les poissons migrateurs. L'Ecluse "Borland". Bulletin Français De Pisciculture, (252), 125-130. doi:10.1051/kmae:1974022
 - Aigouï, F., & Dufour, M., (2008). Guide passes à poissons. OFB. 78 p. https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/png/PNG%202011/f_08-05_cle29b691.pdf

Ascenseur à poissons



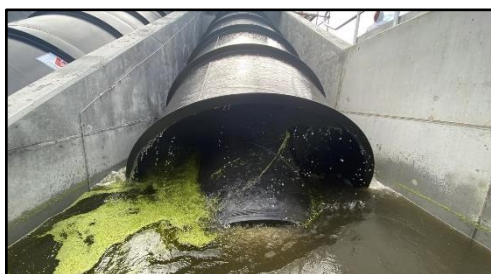
Description : L'objectif est de piéger les poissons dans une nasse ou une cuve à l'aval de l'obstacle. Ensuite, la nasse est remontée mécaniquement par un treuil jusqu'à l'amont pour après déverser les poissons. Le franchissement se fait donc en 3 étapes, piégeage, remontée et déversement

Attractivité	Efficience de passage
Nécessite obligatoirement un débit d'attrait sans lequel l'ascenseur est inutile, et même avec il y a un manque d'attractivité. D'ailleurs, le dispositif anti-retour des nasses n'est pas forcément étanche et des poissons peuvent s'échapper	Aucune blessure/mortalité occasionnée lors de la montée de la nasse
Avantages	Inconvénients
- Ne nécessite pas une grande emprise spatiale. Idéale dans les vallées étroites pour les barrages hydroélectriques de moyennes chutes - Peu sensible aux variations hydrauliques	- Coût d'exploitation important - Maintenance fréquente surtout lors des pannes du mécanisme de remontée

Source : - Groux F., Therrien J., Chanseau M., Courret D., Tétard S. 2015. Actualisation des connaissances sur l'efficacité et la conception des dispositifs de montaison pour l'aloise - Projet LIFE09 NAT/DE/000008 - Conservation and restoration of the Allis shad in the Gironde and Rhine watersheds – Action A1. Rapport de WSP à l'ONEMA. 85 p

- Aigoui, F., & Dufour, M., (2008). Guide passes à poissons. OFB. 78 p. https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/png/PNG%202011/f_08-05_cle29b691.pdf

Ascenseur à vis ou Vis d'Archimède



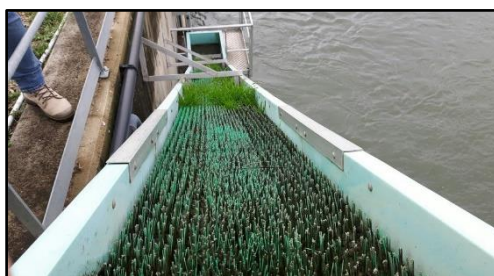
Description : Les vis d'Archimède sont utilisées en Europe pour produire de l'électricité. Ces dernières décennies, il a été envisagé d'adapter ces vis pour le franchissement des poissons. Le mouvement mécanique lent enclenché par la vis sans fin permet de faire monter l'eau de la rivière dans laquelle les poissons sont présents, même chose lors de la dévalaison

Attractivité	Efficience de passage
Nécessite un débit d'attrait pour permettre aux poissons de localiser l'ouvrage	Pas encore d'étude menée à ce sujet mais pas de blessures observées sur les individus lorsqu'ils traversent
Avantages	Inconvénients
- Permet de turbiner le débit qui traverse la passe - Multi-espèce	- Peu d'études et de retour d'expérience réalisée - Coût important - Production d'électricité faible

Source : - Zielinski, D. P., Miehl, S., & Lewandoski, S. (2022). Test of a screw-style fish lift for introducing migratory fish into a selective fish passage device. Water, 14(15), 2298. doi:10.3390/w14152298

- Posada, G., Enrique, M., (2018) Two-way fish lift allowing fish to cross obstacles in rivers, generating electricity. <https://patentscope.wipo.int/search/fr/detail.jsf?docId=WO2018154156>

Rampe à anguilles

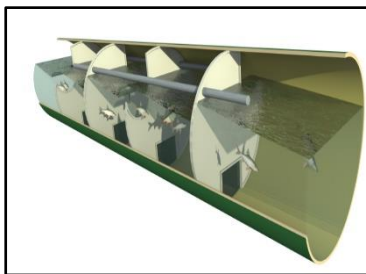


Description : La capacité de reptation de l'anguille lui permet de franchir des obstacles avec une forte pente et un sol humide. Ainsi, les passes à anguilles sont des rampes composées de rugosité artificielle pour faciliter la montaison et l'humidité du coursier est assurée par une pompe hydraulique ou par gravité. Les revêtements à brosse ou à macroplot sont les plus utilisés pour augmenter la rugosité

Attractivité	Efficience de passage
Bonne attraction de ces ouvrages parfois supérieure à 80% grâce à la turbulence à l'aval générée par la forte pente	Reste encore mal compris pour les différentes classes de tailles, bien qu'il ait été montré qu'elles peuvent avoir un haut niveau d'efficience
Avantages	Inconvénients
• Réalisation simple • Ouvrage relativement peu onéreux • Adapté aux anguilles voire aux lamproies • Concorde avec de nombreux contextes topologiques et hydrauliques	• Dispositif sélectif • Nécessite parfois le fonctionnement d'une pompe qui peut être en panne

Source : - Hume, J. B., Lucas, M. C., Reinhardt, U., Hrodey, P. J., & Wagner, C. M. (2020). Sea Lamprey (*petromyzon marinus*) transit of a ramp equipped with studded substrate: Implications for fish passage and Invasive Species Control. *Ecological Engineering*, 155, 105957. doi:10.1016/j.ecoleng.2020.105957

Passé à siphon

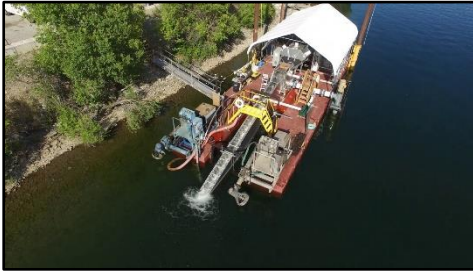


Description : Développé aux Pays-bas ces dernières décennies, ce dispositif est équipé d'une pompe à vide pour contrôler le volume d'une bulle d'air à l'intérieur d'un tuyau. Cette bulle permet de réguler le débit dans le siphon. A l'intérieur, il y a une succession de section avec une fente qui permet la formation de bassin équivalente à une zone de repos

Attractivité	Efficience de passage
Pas d'étude précise a été menée à ce sujet, cependant, le manque de luminosité dans le siphon est une première limite. De plus, comme le tuyau doit être toujours sous l'eau à l'amont et à l'aval, lors des périodes de hautes eaux les espèces pélagiques pourraient manquer l'entrée	Les espèces rhéophiles sont avantagées pour traverser le siphon à cause des turbulences
Avantages	Inconvénients
• Peu onéreux • Débit réglable grâce à la pompe à vide • Construction à partir de préfabriqué	• Sensible aux pannes et aux encombres • Attractivité contraignante • Peu d'étude ou de retours sur expérience

Source : - Kiyoshi, W. & Yukio, O. (2015) Development of the siphon system pipe-type fishway and monitoring of fish migration. 3rd ESDP-2015. https://multisite.itb.ac.id/fts/wp-content/uploads/sites/8/2015/11/E7_Kiyoshi-Wada-and-Yukio-Otab_Development-of-the-Siphon-System.pdf
 - Arcadis (2012) Monitoring of 22 fish migration facilities spring 2012. 36 p. https://fishflowinnovations.nl/wp-content/uploads/2016/12/Arcadis_Rapport_monitoring_fish_migration_facilities_20-09-2012_Definitief_ENGELS.pdf

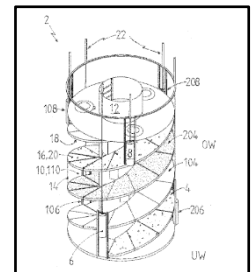
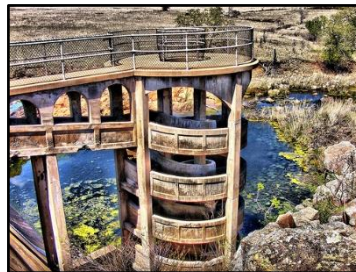
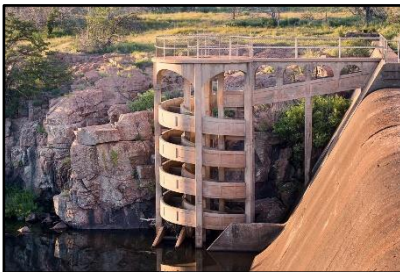
Whooshh Passage Portal



Description : Il s'agit d'un nouveau prototype de passe présent essentiellement aux Etats-Unis. Cette passe a été initialement inventée pour les migrations des saumons. Une première rampe est installée à l'aval du barrage où le poisson peut s'engouffrer. Une fois arriver en haut, il est scanné par un système d'intelligence artificielle afin de trier les poissons. L'individu est ensuite aspiré dans un tube pour être envoyé à l'amont du barrage

Attractivité	Efficience de passage
Pas d'information n'a été trouvé à ce sujet bien qu'un débit d'attrait soit utilisé	Seulement des études sur les saumons ont été trouvées. Peu de blessures ont été réparée lors du passage et une bonne efficience
Avantages	Inconvénients
• Système portable qui peut être facilement installé et désinstallé • Automatique et collecte de nombreuses données sur les migrations • Adaptable à toutes les hauteurs de chutes	• Peu de retour sur expérience • Sensible aux pannes et nécessite des maintenances • Essentiellement conçu pour les saumons mais pourrait être adaptable à d'autres espèces
Source : Grasty, S., Messina, M., Bryan, J. (2021) Upstream and Downstream –Exciting Advances to Modernize Fish Passage and Improve Data Collection. American Fisheries Society, 4, https://doi.org/10.1002/fsh.10513	

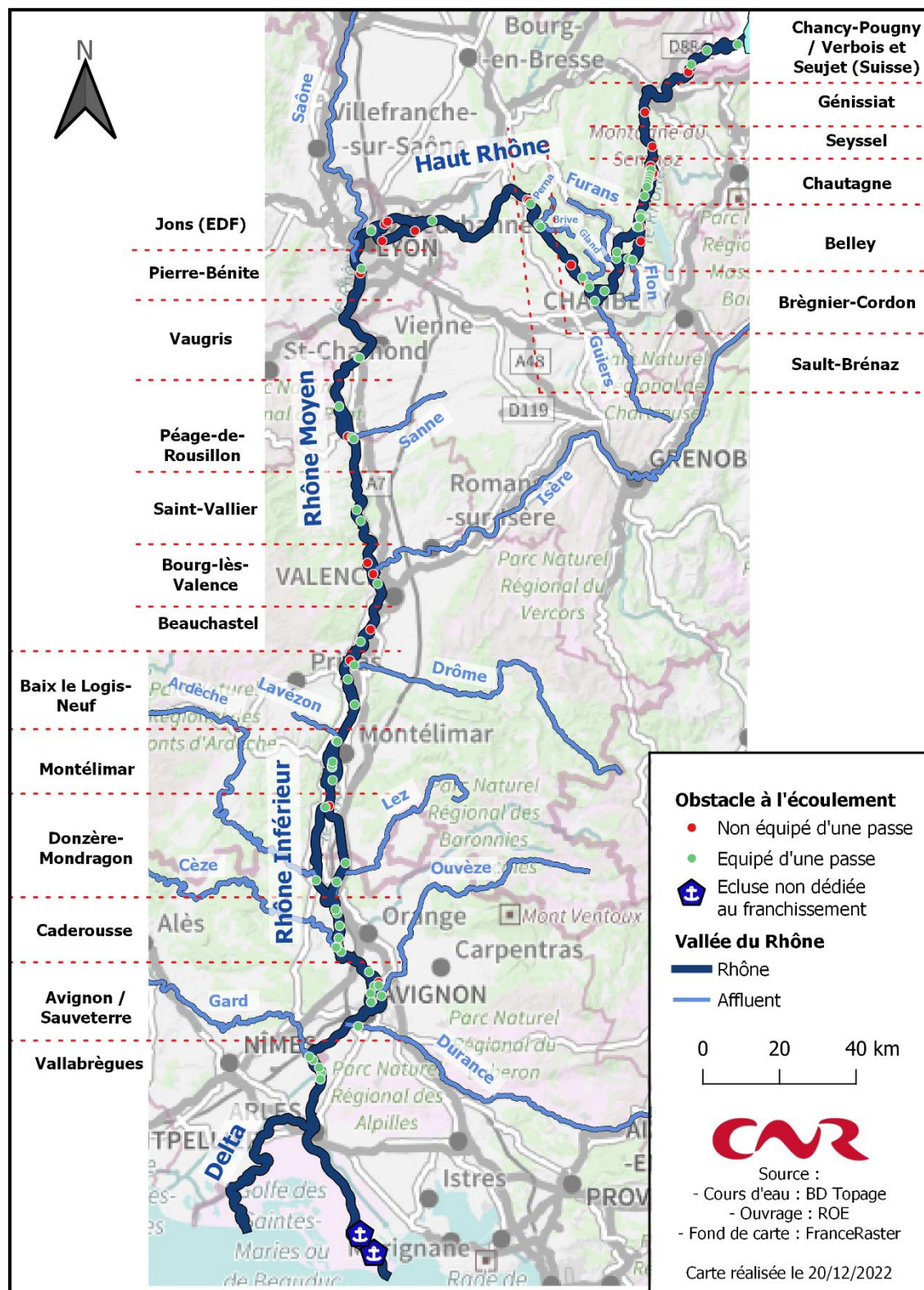
Passe à bassins en spirale ou Ecluse à poissons en spirale



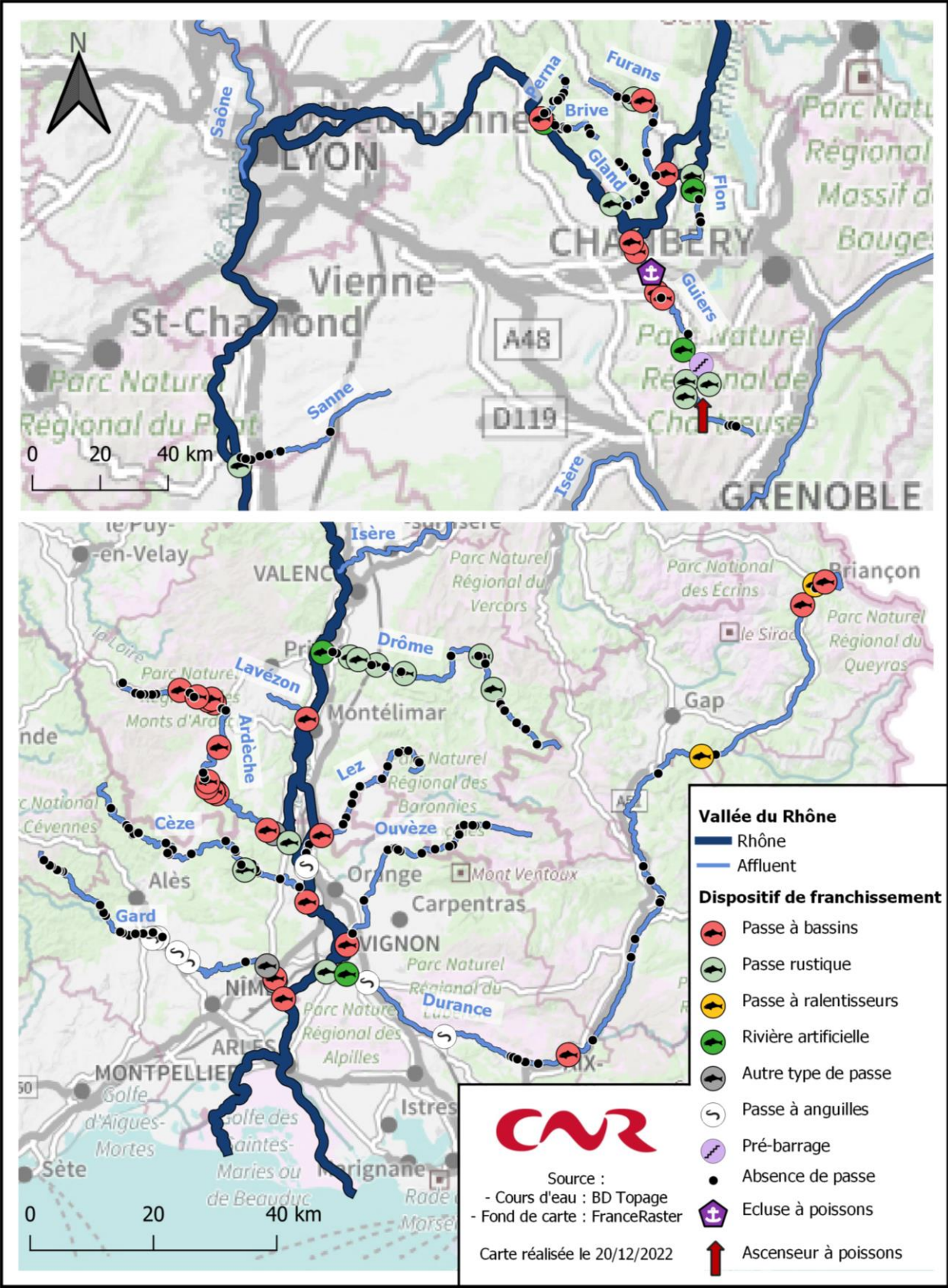
Description : Ces genres de passes sont peu répandues et leur forme en spirale réduit l'emprise spatiale de la structure. Pour les passes à bassins ce dispositif n'est pas nouveau datant des années 50 mais plus récemment, il a été proposé une écluse à poissons en spirale. Cependant, aucun retour sur expérience n'a été trouvé à propos de ces dispositifs.

Source : Zeiler, G., Flach, B. (2017). Demande de brevet européen : Dispositif de passage du poisson par l'entreprise AquaTEM GmbH. EP 3 231 942 A1. <https://patents.google.com/patent/EP3231942A1/en>

Annexe 3 : Les obstacles à l'écoulement sur le Rhône et ses affluents



Annexe 4 : Les dispositifs de franchissement sur certains affluents du Rhône





POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS



Julien BOCCHINO
22013056
2022-2023

Titre : Les nouvelles méthodes pour étudier l'efficacité des passes à poissons

Résumé : La CNR est le premier producteur d'énergie verte en France grâce notamment à l'exploitation de ses centrales hydroélectriques sur le Rhône. Or, chacun de ces ouvrages transversaux dégrade la continuité écologique en fragmentant et perturbant les habitats.

Comme la CNR est le gestionnaire du Rhône, il lui est demandé d'assurer la libre circulation des poissons lors de leurs migrations. C'est ainsi que de nombreux dispositifs de franchissement ont déjà été construits tandis que d'autres sont encore en projet. Ces structures sont complexes et demandent un haut niveau de connaissances techniques, biologiques et physiologiques sur les poissons.

Beaucoup de paramètres sont requis pour assurer l'efficacité d'une passe. Par conséquent, après chaque construction d'un dispositif de franchissement une étude d'efficacité doit être menée pour vérifier du bon fonctionnement de la passe.

Dans l'optique de réduire les coûts tout en améliorant les données acquises lors de ces études, la CNR cherche à développer de nouvelles de méthodes. Ce rapport va donc dans un premier décrire les différents types de dispositifs de franchissement puis explorer les techniques qui sont envisagées dans la littérature scientifique pour suivre l'efficacité d'une passe à poissons.

Tuteur entreprise :

Franck Pressiat

Directeur du pôle environnement de la DIGP

Entreprise :

Compagnie Nationale du Rhône

2 Rue André Bonin, 69004 Lyon

Tuteur académique :

Catherine Boisneau

Université de Tours - UMR CITERES

