

- RAPPORT D'ETUDE -

Mono, 44100Hz

32 bits flottant

Muet

Solo

- +

G D

6k
5k
4k
3k
2k
0k

2017_05_2

2020 N° 4/15

Élaboration d'un système automatique acoustique de suivi de la reproduction des aloses

ALIX F., CAMPTON P., • Mars 2021



Photo de couverture
(© MRM / F.Gardin 2007)

Référence à citer

ALIX F., CAMPTON P., 2021. Élaboration d'un système automatique acoustique de suivi de la reproduction des aloses. Campagne d'Études 2020. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. 21p + Annexes

Remerciements

L'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée (MRM) tient à remercier vivement tous ceux qui, par leur collaboration technique ou financière, ont contribué à la réalisation de cette étude.

PARTENAIRES FINANCIERS

- Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse
- Région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur
- Région Auvergne Rhône-Alpes
- Département du Gard
- Département de la Drôme
- Fédération Nationale pour la Pêche en France
- Compagnie Nationale du Rhône

MEMBRES MRM

- Fédérations Départementales des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique (FDAAPPMA) de l'Ain, des Alpes de Haute Provence, des Hautes-Alpes, des Alpes-Maritimes, de l'Ardèche, de l'Aude, des Bouches-du-Rhône, de la Corse, de la Drôme, du Gard, de l'Hérault, de l'Isère, de la Loire, des Pyrénées-Orientales, du Rhône, de la Savoie, de Haute-Savoie, de Haute-Saône, de la Saône et Loire, du Var et du Vaucluse
- Association Régionale des Fédérations de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique PACA (ARFPPMA PACA)
- Association Régionale des Fédérations de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique Auvergne-Rhône-Alpes (ARPARA)

PARTENAIRES TECHNIQUES

- Fédérations Départementales de pêche de l'Ardèche, des Bouches-du-Rhône, du Gard et du Vaucluse
- Guyot Patrice (IIMT Mines Alès)
- Associations MIGADO et LOGRAMI

PRESTATAIRES

- IIMT Mines Alès
- Association ECATE
- GECO Ingénierie

Résumé

Le projet d'automatisation du suivi de la reproduction des aloses feintes de Méditerranée est un projet qui a vu le jour en 2004. Après de nombreuses avancées et le développement d'un premier algorithme abouti en 2014, il s'avère que celui-ci est difficile d'utilisation. En effet, il nécessite de nombreux paramètres de réglages difficiles à obtenir car ils sont propres à chaque site de suivi et à chaque saison. L'optimisation de cet algorithme nécessitait un nombre de bulls enregistrés conséquent, mais depuis quelques années, le nombre de bulls observés sur l'axe Rhône a fortement chuté. C'est pourquoi il a été choisi de se tourner vers la construction d'un nouvel algorithme sur la base du Deep-Learning. Le Deep Learning est une méthode d'apprentissage profond qui permet d'apprendre à un algorithme de reconnaître une image, un son etc.

Le domaine de l'apprentissage profond ou Deep-Learning a beaucoup évolué récemment et s'avère prometteur dans divers secteurs que ce soit le domaine médical, la reconnaissance vocale ou encore la détection de chants d'oiseaux. Un premier modèle est en cours de développement grâce au partenariat avec l'IMT Mines Alès.

Il ressort des premiers résultats une reconnaissance des sons de bulls à optimiser : de manière générale, les bulls présents sur les bandes sont bien identifiés comme bull, mais beaucoup de bruits divers le sont également. C'est donc la précision du modèle qui est à affiner. Ces tests ont été réalisés sur des audios des années précédentes et/ou confiés par d'autres associations migrateurs (MIGADO / Cellule Charente Seudre/ LOGRAMI). Les réseaux de neurones développés méritent d'être perfectionnés afin d'augmenter l'efficacité de détection des bulls dans les bandes sons.

L'utilisation d'enregistreurs, permettrait de suivre un nombre plus important de frayères et ainsi de mieux caractériser la reproduction et *in fine* la population d'aloise, mais le travail de nuit et la présence humaine sur les frayères resteront indispensables. Cela permettrait d'obtenir plus d'observations sur de nouveaux secteurs, notamment en lien avec le suivi de la réouverture de certains axes grâce à l'investissement de nombreux partenaires

Concernant la phase de terrain, en 2020, 57 heures d'enregistrements ont été obtenues dont moins de la moitié sont exploitables. Des enregistreurs ont été confiés aux équipes du Vidourle, de la Cèze et de la Durance. Des préconisations sont formulées dans ce rapport pour optimiser leur déploiement, leur appropriation par les opérateurs terrain pour favoriser l'obtention de données de bonne qualité.

Le travail de développement d'un algorithme a permis d'aboutir à un premier code. La phase de pré-traitement des données ainsi que leur découpe et insertion dans le code est maintenant finalisée. L'algorithme obtenu mérite encore d'être travaillé. Il reconnaît à ce jour bien les bulls mais identifie d'autres bruits. La précision du modèle mérite d'être affinée.

Sommaire

Introduction	6
1 Suivi de reproduction de l'aloise feinte de Méditerranée	7
1.1 Alosa agone	7
1.2 Suivi de la reproduction des aloses	8
2 Objectifs	10
2.1 Objectifs de la campagne de terrain 2020	10
2.2 Objectifs liés au développement d'un nouvel algorithme	10
3 Matériel et méthodes	11
3.1 Matériel	11
3.2 Déploiement des enregistreurs	11
3.3 Qu'est-ce que le Deep-Learning ?	12
3.4 Méthode déployée	13
a) Données fournies et principes de bases	13
b) Transformation des données	13
c) Réseau de neurones	13
d) Réseau de neurones convolutifs	14
e) Évaluation quantitative des réseaux de neurones	15
4 Résultats	16
4.1 Exploitation des résultats de la campagne de terrain	16
a) Détails des enregistrements sur l'ensemble des sites de suivis	16
b) Résultats par sites	17
4.2 Développement du nouvel algorithme : premiers résultats	17
5 Perspectives d'utilisation et travaux complémentaires	19
5.1 Campagne et Partenariat 2021	19
a) Campagne de terrain	19
b) Amélioration des réseaux de neurones de détection automatique	20
5.2 Perspectives à moyen terme	20
Conclusion	22
Bibliographie	23
Webographie	23
Annexes	25

Introduction

Le suivi de la reproduction de l'alose vise à caractériser l'évolution de la population et à apporter des informations sur la migration de cette espèce (front de colonisation, franchissement d'ouvrages). Ce suivi est actuellement réalisé par des équipes qui comptent manuellement (de manière auditive et visuelle) les actes de reproduction sur certaines frayères identifiées au dispositif de suivi du PLAGEPOMI 2016-2021.

Le suivi de la reproduction est un suivi coûteux et nécessitant une présence terrain importante de nuit. L'objectif de cette étude d'élaboration d'un système automatique acoustique de détection des bulls d'aloses est de disposer d'un outil permettant de multiplier les sites de comptage sans multiplier les coûts humains impartis.

En effet, le linéaire accessible aux aloses et donc le nombre de frayères accessibles sont grâce aux efforts des différents partenaires du bassin Rhône Méditerranée, de plus en plus importants.

Une méthode de détection automatique des bulls d'aloses permettrait d'augmenter le nombre de sites de suivi. Pour autant, la présence humaine au bord de l'eau reste primordiale, en effet, les équipes possèdent une connaissance des frayères précieuse et peuvent ainsi discriminer les secteurs les plus propices à la présence des aloses et confirmer la reproduction effective.

L'automatisation du suivi de la reproduction de l'alose par des enregistrements acoustiques est un projet initié en 2004. Depuis 2011, les efforts ont été portés sur l'obtention d'un système autonome sur dictaphone qui est fonctionnel depuis 2015. L'algorithme permettait d'analyser les enregistrements sur un ordinateur au bureau pour évaluer l'efficacité de détection. Cette dernière était satisfaisante sur une nuit d'enregistrement avec près de 80% des bulls détecté (Diep *et al.*, 2016). A partir de 2016, l'objectif était de parvenir à utiliser l'algorithme en routine pour estimer le nombre de bulls sur une saison. Cependant, le retour d'expérience a depuis démontré que la prise en main du logiciel était difficile. Il nécessitait de régler des paramètres de manière empirique pour chaque bande son afin d'obtenir un score de détection cohérent avec ce qui était observé manuellement. Cet algorithme présentait donc un bon potentiel mais présentait un coût humain élevé et malgré plusieurs années de réglages, celui-ci n'était toujours pas fonctionnel pour déployer la méthode en grand nombre sur le terrain.

La détection automatique d'événements sonore a beaucoup progressé ces dernières années, notamment grâce aux méthodes d'apprentissages profond ou « Deep-Learning ». Ce types de méthodes à fait ses preuves dans divers domaines, dont la détection et la reconnaissance de chants d'oiseaux. Face à ces avancées scientifiques récentes, un partenariat a été mis en place avec Patrice Guyot, chercheur en informatique à l'IMT Mines Alès. Un stagiaire a été recruté spécifiquement pour participer au développement de l'algorithme de détection automatique des bulls d'aloses en employant la méthode du deep-learning.

En 2020, des enregistreurs ont été déployés sur la Cèze, le Vidourle et la Durance.

1 Suivi de reproduction de l'alse feinte de Méditerranée

1.1 *Alosa agone*

L'alse feinte de Méditerranée - *Alosa agone* (Figure 1, Annexe 1) est l'espèce migratrice emblématique du bassin Rhône-Méditerranée.



Figure 1 : *Alosa agone* - © Y.GOUGUENHEIM/MRM

Une fois l'âge de reproduction atteint, l'alse remonte les cours d'eau afin de trouver l'habitat idéal et les meilleures conditions de reproduction. La période de migration se fait entre les mois de mars et de juin. Une fois la reproduction effectuée, les géniteurs regagnent rapidement la mer. La dévalaison des juvéniles a lieu généralement entre juin et octobre. Ces individus resteront en mer jusqu'à atteindre la majorité sexuelle (2 à 3 ans pour les mâles, 3 à 5 ans pour les femelles) (Figure 2).

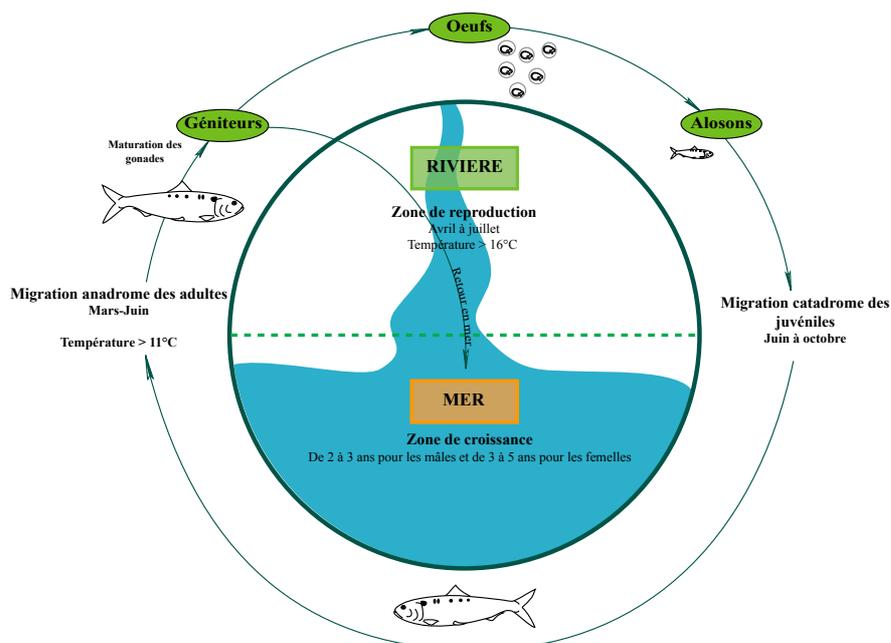


Figure 2 : Cycle de vie de l'alse feinte de méditerranée - MRM

L'acte de ponte, communément appelé « bull », est caractéristique de l'espèce (Figure 3). Les deux individus frappent violemment la surface de l'eau, flanc contre flanc, en décrivant un rapide mouvement circulaire. La durée d'un bull varie entre 2 et 10 secondes, et son diamètre de 1 à 1,2 m. Cette action est particulièrement bruyante, jusqu'à 50 dB. C'est l'exploitation de cette particularité qui permet le comptage auditif et visuel.



Figure 3 : Bull d'Alose - © F. Gardin - MRM

1.2 Suivi de la reproduction des aloses

La méthode de suivi quantitatif consiste à compter et localiser les "bulls" de 23h00 à 4h00 une nuit sur deux pendant une période de 46 nuits sur un site donné. Cette durée permet de couvrir l'ensemble de la période de reproduction sur le bassin du Rhône (Roussel et al., 2013). Une présence humaine assidue de deux personnes par frayère est la seule méthode actuellement validée.

Afin d'évaluer et de comparer le nombre total de bulls sur la saison, la valeur observée est multiplié par deux, par simple extrapolation (Roussel et al., 2013). Ce protocole commun a été mis en place en 2014 avec pour objectif de stabiliser et fiabiliser le descripteur «bulls» en harmonisant l'effort de suivi sur l'ensemble des sites tout en permettant une comparaison directe avec les résultats antérieurs à 2014.

Sur l'axe Rhône, les sites identifiés au PLAGEPOMI sont les suivants (Figure 4) :

- Gardon : frayère de Fournès
- Durance : frayère forcée en aval du seuil de Callet
- Ardèche : frayère de Salavas-Ibie
- Vieux Rhône de Donzère : frayère aval du barrage de Donzère

On trouve également identifiées au sein du PLAGEPOMI les frayères de Saint Laurent d'Aigouze (SLA) et Marsillargues sur le Vidourle.

En complément de ces sites de suivis, des prospections sont effectuées en complément de manière qualitative, comme sur l'Ardèche (site de Sauze et Saint-Martin d'Ardèche), le Vieux Rhône de Donzère (frayères naturelles).

Les prospections sont programmées en fonction des observations sur les sites de suivis quantitatifs, des observations sur le terrain par les techniciens et le retour des captures par les pêcheurs.

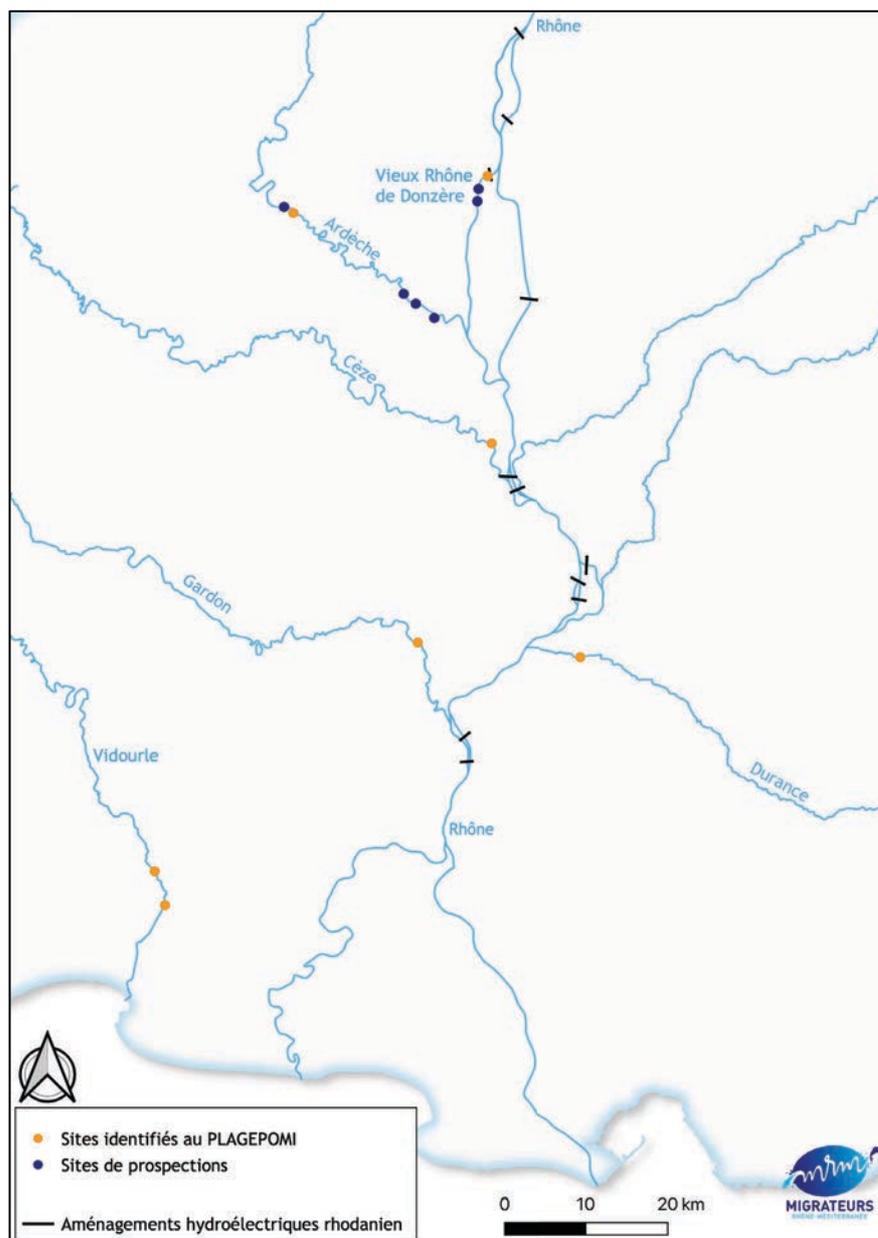


Figure 4 : Localisation des sites de suivis de la reproduction de l'Alose sur l'axe Rhône et le Vidourle

Le nombre de bulls observés lors des prospections ne peut être extrapolé comme sur les sites de suivi quantitatif car l'effort de suivi n'est pas homogène sur l'ensemble de la saison. On parle ici d'un nombre brut, qui donne un indice *qualitatif* de l'intensité de la reproduction et de la fréquentation des différents sites.

2 Objectifs

Le suivi de reproduction est un suivi qui nécessite un investissement humain très important (2 personnes par site suivis et par nuit). Il est de plus compliqué, étant donné le nombre de frayères accessibles d'assurer une présence sur chacune. **L'automatisation du suivi permettrait donc un gain d'information en multipliant les stations de suivis sans augmenter significativement les besoins de suivis manuels.**

La mise en place de stations de comptage fonctionnelles permettrait d'optimiser le suivi saisonnier de l'aloise en lien avec la réouverture des axes migratoires. Les objectifs finaux sont :

- Optimisation du suivi de la reproduction en démultipliant les sites de comptage sur une même nuit
- Diminution du temps d'analyse des enregistrements au bureau

2.1 Objectifs de la campagne de terrain 2020

L'objectif principal de la campagne de terrain 2020 était de réaliser des enregistrements audio en doublon du suivi manuel sur les sites considérés favorables en 2016, pour valider le protocole d'acquisition de bandes sons et préciser la qualité des enregistrements obtenus, en vue de l'optimisation de l'algorithme.

De plus, afin de faciliter le travail, les enregistrements des nuits où des bulls ont été observés par les équipes ont été réécoutés afin de marquer les bandes sons contenant un bull (logiciel Audacity), c'est à dire identifier les bulls sur les bandes sons.

Un second objectif était également de répertorier les divers problèmes techniques et d'utilisation rencontrés par les équipes de suivis pour y remédier les années suivantes (mauvais branchement, panne de batterie ...). En effet, si l'on souhaite que les stations d'enregistrements soient utilisées en routine, il convient de prévenir le maximum de problèmes qui peuvent être rencontrés sur le terrain car ils conditionnent la qualité de la donnée.

2.2 Objectifs liés au développement d'un nouvel algorithme

Face aux différentes limites qui ont été identifiées lors de l'utilisation de l'ancien algorithme acoustique (Bullomat), la création d'un nouvel outil paraît pertinente. Depuis 2010, le champ de la recherche dans le domaine du « Deep-Learning » a beaucoup progressé et a fait ses preuves.

La détection automatique d'événements sonores est une tâche qui mobilise une importante communauté scientifique, comme le montre la participation au récent challenge DCASE [*Concours ouvert à la communauté scientifique d'amélioration d'algorithme - sujet 2018 : détection automatique de chant d'oiseaux*]. Ces dernières années, l'apprentissage profond (Deep Learning) a permis d'augmenter sensiblement les performances des algorithmes d'apprentissage automatiques, que ce soit dans le domaine de l'image ou celui du son (Lecun et al., 2015). Au niveau du son, l'approche la plus courante consiste à considérer les données sonores comme des images par l'intermédiaire de représentations temps/fréquence. Dans ce cadre, de nombreuses optimisations des techniques d'apprentissage profond sont proposées notamment dans le domaine de l'écologie. A ce jour, ces méthodes n'ont pas encore été testées sur la détection de "bulls".

Des enregistrements audios sont effectués depuis plusieurs années lors des suivis de reproduction des aloses, que ce soit sur le bassin du Rhône ou sur le bassin de la Charente ou encore de la Loire. L'objectif de cette campagne est d'exploiter l'ensemble de ces enregistrements au travers de l'utilisation du Deep-Learning pour optimiser le suivi de la reproduction des aloses.

En ce sens, depuis l'année 2019, MRM collabore avec l'IMT Mines Alès pour l'élaboration d'un nouvel algorithme de détection automatique des bulls d'aloses.

L'objectif de cette campagne 2020 était d'affiner l'algorithme afin d'augmenter les détections des bulls d'aloses. Ce travail a débuté avec l'utilisation de réseau de neurones convolutifs et a utilisé la base du pré-traitement des données mis en place en 2019.

Un stagiaire recruté par l'IMT Mines Alès et spécialisé dans le domaine a travaillé sur ce sujet durant 4 mois.

3 Matériel et méthodes

3.1 Matériel

Depuis 2017, un dictaphone est directement branché sur le micro qui est situé au cœur d'une parabole fixée sur le couvercle d'une boîte hermétique. Il n'y a qu'un seul branchement à faire pour les équipes de suivis, ce qui doit limiter les risques de faux contact ou de mauvaise manipulation. De plus, des « scratches » sont installés à l'intérieur de la boîte et sur l'enregistreur afin d'éviter les mouvements lors de la pose du dispositif. Le matériel est confié aux équipes avec un trépied afin de stabiliser l'enregistreur en hauteur. Une fiche d'utilisation a été fournie afin d'éviter les erreurs de manipulations.

3.2 Déploiement des enregistreurs

Chaque équipe de suivi de la reproduction est équipée d'une station d'enregistrement et doit installer le dispositif d'enregistrement sur les sites identifiés comme pertinents en 2016, en lien avec la qualité du signal obtenus (bruit de fond, proximité des bulls).

Les enregistreurs ont été distribués par un membre de l'équipe de MRM aux équipes de la Cèze, de la Durance et du Vidourle (*Tableau 1*). La visite de terrain programmée chaque année sur chacun des sites qui permet de visiter les frayères, de fixer les objectifs de suivis ainsi que la localisation de pose des enregistreurs n'a pas eu lieu en 2020 en raison de la crise sanitaire.

L'équipe de la Cèze a également mené quelques prospections sur le Gardon. L'enregistreur a été posé deux nuits sur le Gardon. Les équipes de l'Ardèche et du Vieux Rhône de Donzère, habituellement productrices de données d'excellentes qualités n'ont pas été équipées d'enregistreurs.

Tableau 1 : Sites où la pose de l'enregistreur a été déployée en 2020 et résultats de l'étude de 2016 (Mutel et al., 2018)

Cours d'eau	Cèze	Durance	Vidourle
Site	Chusclan	Callet	SLA
Suivi manuel	Quantitatif	Quantitatif	Quantitatif
Résultat 2016 favorable à un enregistrement	Oui	Non	Oui

3.3 Qu'est-ce que le Deep-Learning ?

Le Deep-Learning ou apprentissage profond est une forme d'intelligence artificielle. Ce type d'intelligence exploite des réseaux de neurones artificiels. Dans ces réseaux on retrouve une couche d'entrée avec les données à analyser qui sont parfois modifiées pour optimiser l'efficacité de l'algorithme et une couche de sortie qui se présente régulièrement sous forme binaire (« oui » / « non » ; « présence » / « absence »).

Le Deep-Learning a depuis ces dernières années beaucoup progressé et a fait ses preuves dans de nombreux domaines. A titre d'exemple, dans le domaine médical, un algorithme est capable de diagnostiquer des cancers de la peau parfois avec plus de précision qu'un expert (Haenssle et *al.*, 2018).

Dans le domaine de l'écologie, la méthode a également fait ses preuves notamment dans le domaine de la détection de chants d'oiseaux. Ce thème était au cœur du « DCASE Challenge 2018 » où des enregistrements de divers sites étaient transmis à plusieurs équipes [1]. Au préalable, ces bandes audios avaient été écoutées et marquées par des spécialistes. L'équipe ayant remporté le challenge a obtenu un taux de redétection de 88,7 %. Le script du réseau de neurones créé par l'équipe gagnante est disponible en open-source.

En ce qui concerne la détection automatique d'événement sonore utilisant la méthode du deep-learning, c'est souvent « l'image » du son qui est utilisée : le son est affiché sous forme de spectrogramme, c'est à dire la représentation de la fréquence émise au cours du temps.

Le principe de Deep-Learning est simple : il s'agit d'apprendre à l'algorithme à reconnaître par lui-même l'image d'un bull. Pour cela, les données de départ sont essentielles : plus le système accumule d'expériences plus il sera performant. Le but étant qu'il retienne de manière autonome les caractéristiques d'un bull.

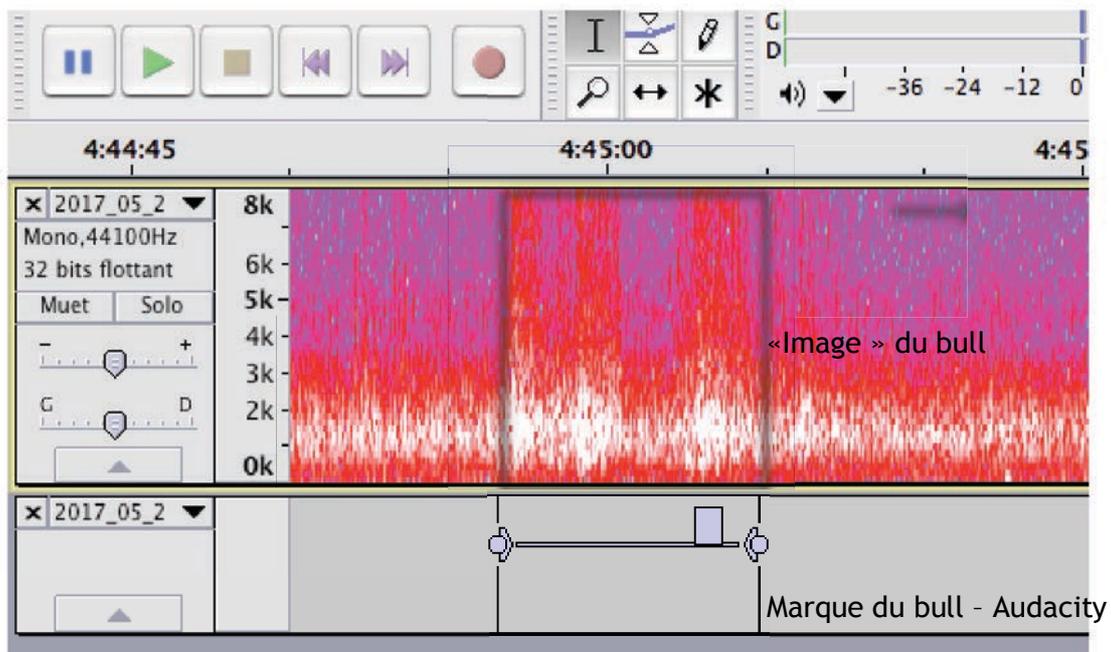


Figure 5 : Spectrogramme d'un bull enregistré sur la Cèze en 2017

3.4 Méthode déployée

a) Données fournies et principes de bases

L'ensemble des enregistrements disponibles à MRM ainsi que leur fichier de marquage ont été fournis à l'IMT Mines Alès. Les fichiers de marquages sont produits lors de la réécoute des bandes sons. Ce sont des fichiers textes contenant les délimitations temporelles du bull sur la bande son. Ce sont donc des fichiers audios de diverses tailles, et provenant de divers sites, accompagnés de leur fichier de marquage qui ont été fournis.

Les fichiers sont partagés en deux catégories : dans la première on retrouve les données d'apprentissages qui sont utilisées pour permettre au réseau de neurones de reconnaître un bull : on indique à l'algorithme que le fichier comporte un bull. La seconde catégorie regroupe les données de tests : rien n'est indiqué à l'algorithme. C'est sur ces données que l'on va tester la performance du réseau de neurones en confrontant ces résultats au fichier de marquage qui représente la vérité terrain.

Le code développé est écrit en langage Python. Une bibliothèque en open-source (Keras) a été utilisée. Celle-ci permet d'interagir avec les algorithmes de réseaux de neurones profonds.

b) Transformation des données

Une première étape est le prétraitement des données : il faut en effet transformer tout ce qui n'est pas numérique en nombre réel. Les données sont ensuite normées afin d'empêcher que les attributs avec de grandes plages prédominent sur les attributs avec de petites plages. La normalisation des données sert à redimensionner les variables numériques pour qu'elles soient comparables.

Il a ensuite été nécessaire de trouver une solution pour découper chaque bande audio sans perte d'information en plusieurs séquences qui pourront être traités par l'algorithme. Effectivement, les fichiers fournis contenaient aussi bien des enregistrements de 15 minutes que de 5 heures. La mise en place du réseau de neurones nécessite des morceaux de fichiers qui ont une taille identique. Il a été choisi de découper chaque fichier en morceau de 15 secondes : pour chaque séquence, une décision binaire est rendue par le réseau de neurones « contient un bull » ou bien « ne contient pas de bull ».

c) Réseau de neurones

L'algorithme est construit sous la forme de ce qui est appelé « réseau de neurones ». Ces réseaux de neurones sont constitués de millions de neurones qui sont répartis dans plusieurs couches. Dans ces architectures, chaque neurone effectue des calculs simples mais les données d'entrées passent à travers plusieurs couches de calcul avant de produire une sortie. Les résultats de la première couche de neurones servent d'entrée au calcul de la couche suivante et ainsi de suite. Il est possible de jouer sur les différents paramètres de l'architecture du réseau : le nombre de couches, le type de chaque couche, le nombre de neurones qui composent chaque couche... [2].

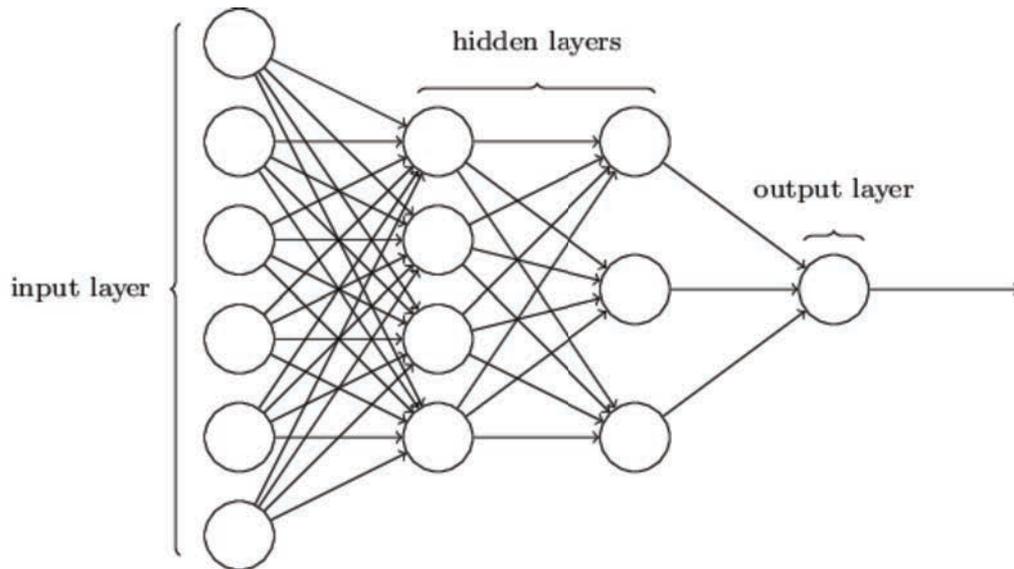


Figure 6 : Schématisation d'un réseau de neurones

d) Réseau de neurones convolutifs

Les réseaux de neurones convolutifs (CNN - Convolutinal Neural Networks) sont une famille de réseau développé en Deep-Learning. Cette famille est très couramment utilisée en reconnaissance d'image. Les réseaux CNN sont inspirés du cortex visuel des animaux dans lesquels les neurones de cette région du cerveau sont arrangés de sorte qu'ils correspondent à des zones qui se chevauchent lors du pavage du champs visuel.

Dans ce type de réseau de neurones, les neurones ne sont pas simplement connectés entres les couches mais également au sein même d'une couche, à l'échelle locale [3].

Les réseaux CNN sont composés de plusieurs types de couches (Figure 7) :

- **La couche de convolution** : il y en a au moins une par réseau. Cette couche va analyser l'image de sorte à repérer les « features » qui correspondent au point d'intérêts de l'image. Le principe de cette couche est de faire « glisser » une fenêtre qui correspond à un filtre sur l'image. Une convolution est ensuite calculée entre le filtre et chaque portion de l'image balayée. La couche de convolution reçoit en entrée plusieurs images et calcule la convolution de chacune d'entre elles avec chaque filtre. Un filtre correspond à un point d'intérêt que l'on souhaite retrouver dans l'image. La couche de convolution produit comme résultats des « features maps ».
- **La couche de Pooling** : cette couche reçoit en entrée l'ensemble des « features maps » produites par la couche de convolution. Son rôle est de compresser les informations issues de l'étape précédente.
- **La couche de correction** : la fonction la plus couramment utilisée est la fonction ReLU. Cette couche remplace toutes les valeurs négatives reçues en entrées par des zéros. Ceci permet de rendre le réseau non linéaire, ce qui est essentiel pour les CNN car la couche de convolution est une couche linéaire. Elle joue également un rôle de couche d'activation.

- **La couche « fully-connected » ou totalement connectée** : cette couche est présente à la fin du réseau de neurones. C'est celle-ci qui produit les valeurs de sorties de la couche de neurones. Elle renvoie en sorti un vecteur, dans notre cas, le vecteur aura une taille de 2 [« présence de bull » ; « absence de bull »]. Chaque valeur qui arrive en entrée de la couche joue dans le résultat de la couche de sortie et chacune se voit attribuer un poids. Nous pourrions par exemple obtenir un résultat tel que [0,9 ; 0,1] ce qui signifierait que l'image à 90% de chance de comporter un bull.

L'avantage des réseaux CNN est qu'ils apprennent seuls : il n'y a aucun paramétrage préalable à régler. Le réseau de neurones convolutif apprend les valeurs des poids de la même manière qu'il apprend les filtres de la couche de convolution : lors de la phase d'entraînement.

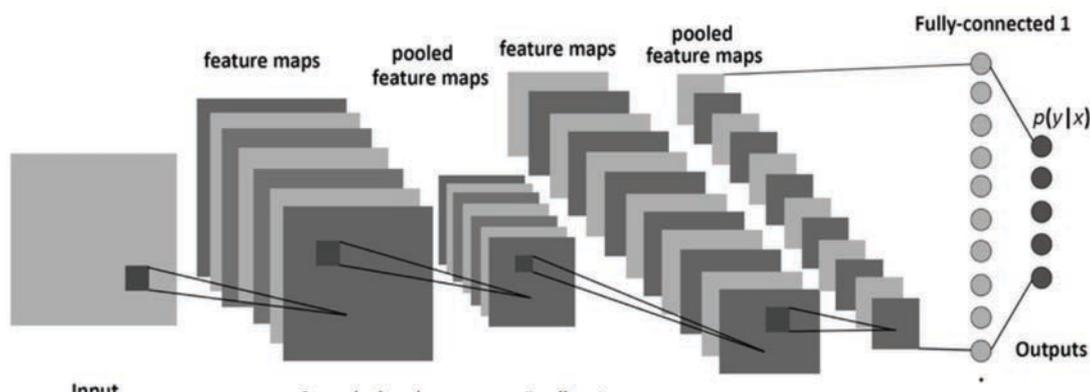


Figure 7 : Schématisation d'un réseau CNN (© ensiwiki.ensimag.fr)

e) Évaluation quantitative des réseaux de neurones

L'évaluation quantitative des réseaux est calculée grâce à une matrice de confusion (Tableau 2) :

Tableau 2 : Matrice de confusion

		Détection automatique	
		Bull	Non Bull
Vérité terrain	Bull	Vrai Positif	Faux Négatif
	Non bull	Faux Positif	Vrai Négatif

Vrai Positif : le bull est présent dans le fichier de vérité terrain et est détecté par le réseau de neurones

Vrai négatif : Aucun bull n'est présent, que ce soit dans le fichier de vérité terrain ou par la détection automatique

Faux négatif : le réseau de neurones ne reconnaît pas de bull alors qu'il y en a un mentionné dans le fichier de vérité terrain

Faux positif : le réseau de neurones reconnaît un bull alors que ce n'en est pas un d'après le fichier de vérité terrain

4 Résultats

4.1 Exploitation des résultats de la campagne de terrain

a) Détails des enregistrements sur l'ensemble des sites de suivis

Les enregistrements des nuits contenant des bulls ont été réécoutés afin de marquer les bulls sur la bande son. Au total, 57 heures d'enregistrements ont été obtenues cette saison dont 28 heures exploitables, soit 48 % des enregistrements (*Tableau 3*). On constate donc un net recul par rapport à l'année 2019 où 82,2 % des enregistrements étaient exploitables. Cette différence peut s'expliquer par les éléments cités ci-dessus (matériel défectueux, sites de l'Ardèche et du Vieux Rhône de Donzère non équipés).

Tableau 3 : Détails des enregistrements disponibles - saison 2020

	Enregistrements (heures)	Enregistrements exploitables (heure)	%
Cèze	18:54:00	07:01:00	37,13
Vidourle	25:26:00	13:24:00	52,69
Gardon	04:32:00	04:32:00	100,00
Durance	08:52:00	03:08:00	35,34
TOTAL	57:44:00	28:05:00	48,64

Les principaux résultats du suivi de reproduction 2020 sont disponibles en annexe 3 (Alix et al., 2021).

On peut souligner le grand investissement des fédérations de pêches des Bouches du Rhône et du Gard. Un effort complémentaire doit en revanche être mené sur la Cèze où une démarche doit être proposée pour que les équipes terrains (qui changent d'une année à l'autre) s'approprient le matériel et les enjeux de suivi. D'autant plus que c'est le secteur sur lequel on observe le plus de bulls depuis quelques années. Ces bulls auraient été précieux pour le développement de l'algorithme.

L'annulation des visites des frayères en pré-campagne a été dommageable. En effet, ces moments d'échanges avec les équipes sont nécessaires pour évoquer les stratégies de suivis mises en place et pour évoquer le projet d'automatisation du suivi de la reproduction. Ces moments sont aussi l'occasion de s'assurer que les équipes ont le matériel ainsi que le protocole en main.

Concernant les problèmes rencontrés sur les enregistrements, ils sont semblables à ceux observés les années précédentes. Les suiveurs se positionnent parfois loin de l'enregistreur, ce qui ne permet pas toujours de comparer le nombre de bulls enregistré et le nombre de bulls compté manuellement. Étant donné que nous sommes dans une phase d'élaboration du système, il est important de pouvoir comparer les résultats manuels et audio.

b) Résultats par sites

- **Cèze**

21 nuits de suivis ont été effectuées sur la Cèze. L'enregistreur a été posé 6 nuits, soit 29% des nuits. De plus, sur ces 6 nuits, c'est la frayère située en aval direct du seuil de Chusclan qui a été équipée. Ce secteur n'est pas favorable à l'enregistrement à cause du bruit ambiant généré par la chute d'eau du seuil. Sur les 19 heures d'enregistrements disponibles, seules 37% sont exploitables (7 heures). Seuls 2 bulls ont été enregistrés, ce qui est regrettable au regard des 149 bulls comptabilisés par l'équipe de suivi de la Cèze. Les opérateurs terrains n'ont pas suffisamment bien pris en main l'outil. Cela montre la nécessité des visites terrain auprès des équipes afin de partager au mieux avec eux les enjeux liés à l'obtention de données de bonne qualité.

- **Vidourle**

L'enregistreur a été posé les deux tiers des nuits. Un enregistreur défectueux a été distribué au début du suivi. Il a été remplacé après la reprise normale d'activité suite au confinement. Ceci explique le faible taux d'enregistrements exploitables. 7 bulls ont été enregistrés lors de 3 nuits de suivis alors qu'une trentaine de bulls qui ont été observés au cours de la saison.

- **Durance**

L'équipe de suivi sur la Durance a installé l'enregistreur lors des nuits de suivis. Cependant, ce site qui n'avait pas été identifié comme favorable à l'enregistrement des nuits en 2016 ne l'est toujours pas. Les enregistrements issus de ce site de suivi ne sont pas exploitables à cause du bruit ambiant trop élevé (chute du seuil 66).

- **Gardon**

L'enregistreur a été posé sur la frayère de Fournès sur le Gardon lors des nuits de prospections. Les enregistrements issus des deux nuits sont de bonne qualité. Malheureusement, ceux-ci ne contiennent pas de bulls (nuits sans reproduction observée).

4.2 Développement du nouvel algorithme : premiers résultats

Plusieurs types d'algorithme ont été testés en 2020. Pour bien comprendre l'efficacité de ceux-ci, il faut distinguer « la précision » et « le rappel ». La précision permet d'identifier la proportion de vrais positifs parmi tous les bulls détectés par l'algorithme (est ce que le bull identifié par l'algorithme est bien un bull ?). Le rappel correspond à la proportion de bulls détectés par l'algorithme parmi tous les bulls présents sur l'enregistrement (parmi tous les bulls présents sur la bande son, combien ont été identifiés correctement ?). Ces deux métriques peuvent être résumées dans une troisième métrique, nommée F1 qui est une moyenne entre la précision et le rappel.

$$\text{Précision} = \frac{\text{Vrais positifs}}{\text{Vrais positifs} + \text{Faux positifs}}$$

$$\text{Rappel} = \frac{\text{Vrais positifs}}{\text{Vrais positifs} + \text{Faux négatifs}}$$

Plusieurs méthodes de constructions d'algorithme ont été mises en œuvre, mais pour le moment aucune ne donne des valeurs de précisions et de rappels très satisfaisantes.

Différentes méthodes d'apprentissage automatiques ont été testées. Toutes reposent sur une approche par réseau de neurone convolutif (CNN). Un réseau pré-entraîné, le VGG 16 a également été testé : c'est un réseau de neurones très performant et déjà entraîné sur une banque d'image, l'idée est d'utiliser sa structure et de lui apprendre à reconnaître les images qui nous concernent, à savoir l'image d'un bull. Le réseau permet également de mettre en place différentes fonctions de coût (ajouts de poids) pour contrebalancer le déséquilibre des données (peu de segments comprenant des bulls par rapport aux segments sans bull). L'idée est de donner un poids plus important aux segments avec bulls afin d'améliorer la précision et le rappel.

Une méthode apparaît tout de même plus pertinente et donne de meilleurs résultats, quelle que soit la provenance des fichiers tests : c'est le CNN over sampling hinge loss (réseau de neurones convolutifs, avec une augmentation de données artificielles et une fonction de coût d'Hinge loss appliquée). Cette méthode permet d'obtenir une métrique F1 vacillant entre 0,21 et 0,46 pour les audios avec bulls et entre 0,89 et 0,91 pour les audios ne contenant pas de bulls. Ces métriques montrent que l'algorithme peine encore à reconnaître un son contenant un bull.

Ces résultats, bien que faibles pour les audios avec bulls, restent encourageants pour la poursuite de l'étude. En effet, il est ressorti du travail effectué qu'avec ce modèle il y a encore une mauvaise reconnaissance des sons de bull, mais que de manière générale, le rappel est bon : il y a peu de faux négatifs, c'est à dire que le réseau de neurones se trompe rarement quand il indique qu'il n'y pas de bulls sur l'enregistrement. Ce qui signifie que l'algorithme a tendance à identifier des sons divers comme étant des bulls alors qu'il n'en est rien. C'est donc la précision du modèle qu'il est nécessaire d'affiner.

L'un des éléments qui est également ressorti et sur lequel il faudra travailler à l'avenir est le manque de données positives : c'est à dire la faible quantité d'enregistrements de bulls par rapport à la quantité d'enregistrements disponibles. Ces données sont essentielles pour la phase d'apprentissage. **Il est donc nécessaire d'augmenter le nombre de bulls enregistrés**, de manière artificielle au travers de moyens numériques ou en obtenant de nouveaux enregistrements de bulls, ce qui est compliqué sur notre bassin. A ce jour, un sous ensemble des données a été utilisé afin d'avoir un jeu de données équilibré. Ce sous ensemble représente 5% des données disponibles.

Au final, il nous faut retenir que **la structure permettant le pré-traitement des données est maintenant précisément définie**, mais que la partie de détection des bulls au sein d'un enregistrement doit encore être travaillée : **la précision du modèle doit être affinée.**

5 Perspectives d'utilisation et travaux complémentaires

5.1 Campagne et Partenariat 2021

a) Campagne de terrain

Un dépouillement des bandes sons est réalisé par un technicien, mais l'objectif est de montrer l'efficacité du dispositif et de l'affiner. **Par conséquent, lors des prochaines saisons et jusqu'à l'optimisation du dispositif, une attention particulière sera apportée au fait que les suiveurs passent une partie de la nuit à proximité de l'enregistreur afin de pouvoir comparer les résultats manuels et audio.**

Une autre attention sera portée lors de la visite de terrain pré-campagne à ce que les équipes de suivis se sentent investies et concernées par le développement de ce système automatique afin d'enrayer certains dysfonctionnements récurrents (panne de batterie, mauvais branchement etc...). **Une fiche récapitulative du fonctionnement de l'enregistreur sera de nouveau fournie aux équipes de terrain avec l'enregistreur (Annexe 2).** En effet, la résolution des problèmes techniques pourrait augmenter significativement le nombre d'heures exploitables. **Il est nécessaire, une à deux fois pendant la saison de s'assurer du bon fonctionnement des enregistreurs auprès de chaque équipe et de recueillir les ressentis des opérateurs vis-à-vis des contraintes d'utilisation des enregistreurs.**

En 2021, il est souhaité que les frayères suivantes soient équipées :

- La frayère de Fournès sur le Gardon
- Les frayères de Chusclan sur la Cèze
- La frayère de Salavas-Ibie et de Sauze, Petite Mer et de Saint Martin d'Ardèche sur l'Ardèche
- Les frayères naturelles du Vieux Rhône de Donzère
- Les frayères de Saint-Laurent d'Aigouze et de Marsillargues sur le Vidourle
- Les frayères de Moussoulens sur l'Aude

Deux nouveaux enregistreurs de type Tascam ont été achetés en fin d'année 2020. Investir dans du matériel d'enregistrement spécifique pourrait permettre d'augmenter l'aire et la qualité des bandes son. Ce matériel mérite d'être testé sur la saison 2021.

Si possible, deux enregistreurs seront confiés à certaines équipes, le but étant de multiplier les points d'écoute (par exemple sur le Gardon où il n'est pas possible de couvrir l'ensemble de la frayère avec un seul enregistreur) mais également d'effectuer des tests : à quelle distance pouvons-nous capter un bull ? Quel est l'impact des différentes conditions météo (vent / pluie) ? Y a-t-il une différence notable de détection entre les secteurs ?

Un élément récurrent et indépendant des équipes de terrain perturbe régulièrement l'obtention d'enregistrements de bonne qualité : le vent. Ainsi, par temps de vent, disposer de plusieurs enregistreurs permettrait de tester divers positionnements du dispositif et notamment de hauteur de pose. Classiquement, le vent est moins fort au ras du sol. L'équipement des micros avec des bonnettes paraît également indispensable pour enrayer le vent.

b) Amélioration des réseaux de neurones de détection automatique

Plusieurs voies sont envisagées pour la poursuite des travaux. L'objectif est ici d'augmenter la précision du modèle. Des nouveaux tests vont être réalisés à l'IMT Mines Alès sur des ordinateurs plus puissants. Le fait d'utiliser des ordinateurs plus puissants permet d'augmenter le nombre de données utilisées en même temps, tout en améliorant les temps de calculs nécessaires. En effet, les investigations 2020 ont été limitées par la fermeture de l'école des Mines du mois de mars à septembre (précautions sanitaires) ce qui a contraint à l'utilisation de PC portable ou ordinateurs personnels qui n'ont pas les capacités des outils disponibles en laboratoire.

Pour contrer les problèmes de mémoire, une piste envisagée consiste à utiliser la génération de données à la volée. Actuellement, il y a un enregistrement des segments produits lors de chaque étape de l'algorithme, entre chaque couche. L'idée de la projection à la volée est de ne pas stocker ces segments à long terme mais seulement dans la plage de temps où ils sont nécessaires et ainsi d'augmenter le nombre de données utilisables en libérant de la mémoire.

Une partie du projet se verra confiée à un groupe d'étudiants de l'école des Mines dans le cadre de leur projet tuteuré. Leur travail consistera à incorporer la phase de découpage (séquences de 15 secondes) pendant l'apprentissage du réseau en utilisant un générateur de données. Dans un deuxième temps, leur travail visera à utiliser des outils d'augmentation de données (obstruction partielle de spectrogrammes, translations, ajouts de bruits, etc.) pour améliorer la robustesse du modèle.

Les bandes sons de l'année 2021 seront traitées par l'algorithme et marquées manuellement afin de comparer les résultats obtenus entre le comptage manuel et automatique et pour préciser les conditions d'utilisation de ce nouvel outil en routine.

Dans un deuxième temps, la création d'une interface pour communiquer avec l'algorithme est à envisager pour le rendre à la portée de tous les opérateurs (importation du fichier audio / lecture des résultats etc ...).

Au plus nous disposerons de données à fournir en entrée du réseau, au plus celui-ci apprendra et augmentera sa performance. Pour cela, les quelques fichiers marqués en 2020 seront ajoutés au corpus et les autres associations migrateurs qui utilisent des enregistreurs lors de leur suivi de reproduction seront sollicitées pour nous partager quelques enregistrements. Un temps sera nécessaire à leur marquage. Le retour d'expérience montre en effet qu'une vérification des notations sur certains fichiers méritent d'être effectuée.

5.2 Perspectives à moyen terme

L'utilisation en simultanée du suivi manuel et des enregistreurs peut être envisagée si les sites de suivis sont assez proches géographiquement afin d'optimiser les déplacements et donc limiter les moyens humains. A l'heure actuelle, l'utilisation telle que décrite ci-dessous n'est pas envisageable pour les saisons 2021-2022. En effet, 2021 sera la première année où une écoute des bandes sons par l'algorithme sera testée, les résultats qui seront obtenus mériteront d'être confortés en 2022. Si les expérimentations vont dans le bon sens, l'utilisation d'enregistreur devrait se développer au cours du prochain PLAGEPOMI (2022-2027).

La présence humaine sur les frayères reste primordiale pour s'assurer de la présence des aloses et de la reproduction. De plus, une bonne connaissance du terrain et des zones de reproduction est indispensable pour réaliser des enregistrements représentatifs de la reproduction sur une frayère.

A l'origine du projet, l'automatisation du suivi visait à diminuer le travail de nuit pour le suivi de la reproduction. Or avec le retour d'expérience, l'objectif qui se profile est plutôt l'optimisation du suivi de la reproduction. L'automatisation, ou plutôt l'utilisation d'enregistreurs, pourrait en effet permettre de suivre un nombre plus important de frayères, mais le travail de nuit et la présence humaine sur les frayères restent indispensables.

L'utilisation future de l'algorithme peut être proposé comme suit (*Figure 8*) :

Début de nuit : plusieurs enregistreurs disposés par une équipe de suivi sur des secteurs qui restent géographiquement proches

Milieu de nuit : l'équipe de suivi alterne sa présence sur l'ensemble des frayères de sortes à passer un peu de temps sur chacune d'elles et de noter les activités qui peuvent s'y produire

Fin de nuit : les enregistreurs sont relevés

A posteriori : il s'en suit un travail de post traitement au cours duquel les bandes sons sont passées au travers de l'algorithme et un opérateur valide les bulls détectés

Bien que le travail de post-traitement soit encore difficile à estimer, ce sera toujours plus avantageux que la mobilisation de plusieurs binômes sur une saison pour un même cours d'eau. Dans le cas de notre exemple de la *figure 8*, cela nécessiterait 8 personnes de nuit sur l'ensemble de la saison au lieu d'un binôme avec utilisation d'enregistreur.

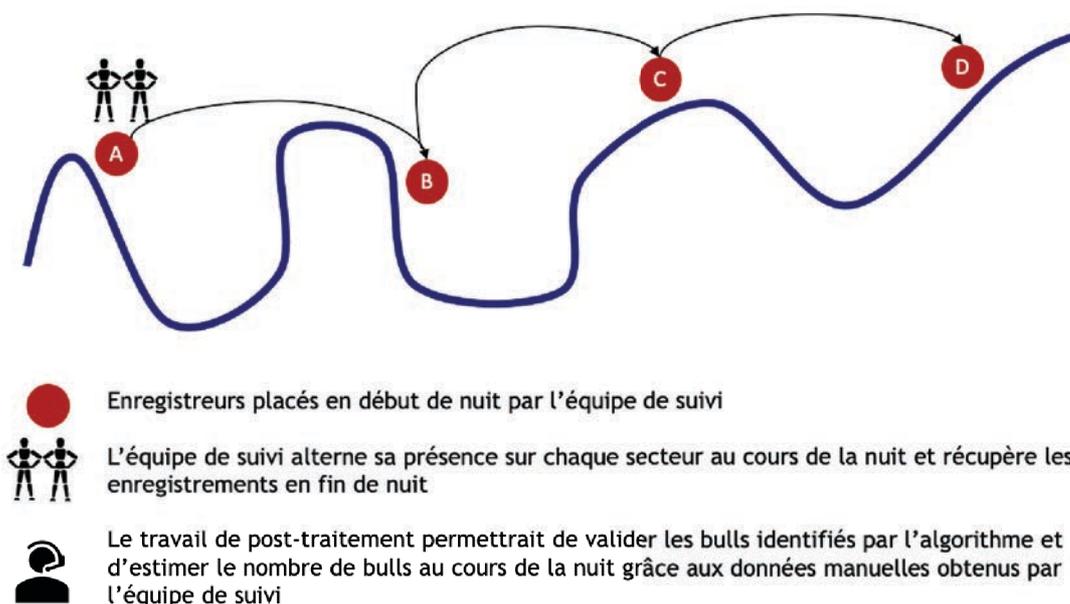


Figure 8 : Schématisation de l'utilisation des enregistreurs & de l'algorithme à moyen terme

A plus long terme, et selon les évolutions de l'algorithme, des systèmes indépendants pourront être envisagés avec la pose d'enregistreurs plus performants et une récolte des données hebdomadaires. Ce type de systèmes permettrait alors de déployer des stations en plus grands nombre sur le bassin Rhône Méditerranée et sur des secteurs où les moyens humains sont plus difficilement mobilisables. **Pour le moment et à moyen terme, la présence humaine et la relève quotidienne des enregistreurs restent indispensables.**

Conclusion

L'objectif *in fine* de cette étude est de déployer des enregistreurs sur de nombreux sites potentiels de reproduction. Un tel déploiement permettrait de suivre plus de frayères et par conséquent de mieux comprendre la répartition des aloses feintes de Méditerranée sur le bassin Rhône Méditerranée.

Le travail mené lors de cette campagne a été double : il s'agissait premièrement d'obtenir des enregistrements de bonne qualité et deuxièmement de poursuivre le développement d'un nouveau système automatique du suivi de la reproduction des aloses.

Seulement 57 heures d'enregistrements ont été recueillies avec moins de 50% de bonne qualité. Ceci est principalement dû au fait que les équipes de l'Ardèche et du Vieux Rhône de Donzère, habituellement producteurs d'enregistrements d'excellentes qualités n'ont pas pu être équipés.

Concernant le développement de l'automatisation du suivi de la reproduction, un premier modèle est en cours de développement grâce au partenariat avec l'IMT Mines Alès. Bien que beaucoup de bruit divers soient classés comme « bulls » par le modèle, l'algorithme détecte la majorité des bulls réellement présents. C'est la précision du modèle qui est à affiner.

La campagne 2020 de suivi de la reproduction confirme l'intérêt de poursuivre les efforts de comptages manuels des bulls. Un effort de suivi très important est toujours indispensable pour des résultats cohérents. Les enregistrements représentent un outil de suivi complémentaire potentiellement très pertinent si leur exploitation est optimisée.

L'automatisation telle que définie au début du projet doit être revue. Il s'agit plutôt d'utiliser les enregistrements en complément du suivi manuel de la reproduction. Multiplier les enregistrements sur les sites potentiels pour identifier les sites les plus actifs permettrait déjà d'optimiser le suivi de la reproduction au regard de la réouverture des linéaires accessibles pour les aloses. La calibration de l'algorithme de détection pourra se faire au fur et à mesure, en fonction du nombre de bulls enregistrés.

Bibliographie

ALIX F., RIVOALLAN D., CAMPTON P., 2021. Suivi quantitatif des frayères d'aloses sur le bassin rhodanien. Campagne d'Études 2020. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. Nombre 36p + annexes

BAGLINIERE J. L., ET ELIE P., (2000) Les Aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.), Quae Edition. Cemagref/Inra. 278pp

DIEP D., MARC, I., NONON, H., BARLES, A., MUTEL M., et ABDALLAH Y., 2016. Elaboration d'un système de automatique de suivi de la reproduction des Aloses - Rapport d'étude 2015. Association Migrateurs Rhône Méditerranée. 29 pp.

HAENSSLE, H.A., FINK, C., SCHNEIDERBAEUR, R., TOBERER, F., BUHL, T. BLUM, A., KALLOO, A., BEN HADJ HASSEN, A., THOMAS, L., ENK, A., UHLMANN, L. (2018) Man against machine: diagnostic performance of a deep learning convolutional neural network for dermoscopic melanoma recognition in comparison to 58 dermatologists - *Annals of Oncology* 29: 1836-1842, 2018 doi:10.1093/annonc/mdy166

LECUN Y., BANGIO Y., HINTON G., 2015 Deep Learning, The multidisciplinary nature of machine intelligence, *Nature* 521, 436-444

MUTEL, M., CAMPTON, P. 2018. Élaboration d'un système automatique de suivi de la reproduction des aloses - Campagne d'études 2017. Association MRM, 21 pp. + Annexes

ROUSSEL E, ABDALLAH Y, LEBEL I (2013a) Analyses statistiques sur le jeu de données "frayères aloses" en vue d'une réduction de l'effort de suivi- campagne 2012. Biotope-MRM.

ROUSSEL E, ABDALLAH Y, LEBEL I (2013b) Analyses statistiques sur le jeu de données "frayères aloses" en vue d'une réduction de l'effort de suivi- campagne 2013. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée et Biotope, Arles.

Webographie

[1] <https://dcasecommunity/challenge2018/>

[2] <https://dataanalyticspost.com> - consulté le 20 janvier 2021

[3] <https://openclassrooms.com/fr/courses/4470531-classez-et-segmentez-des-donnees-visuelles/5088816-apprenez-a-construire-un-cnn-et-gagnez-du-temps-avec-le-transfer-learning> - consulté le 23 octobre 2019

Liste des figures

Figure 1 : Alosa agone - © Y.GOUGUENHEIM/MRM	7
Figure 2 : Cycle de vie de l'alose feinte de méditerranée - MRM	7
Figure 3 : Bull d'Alose - © F. Gardin - MRM.....	8
Figure 4 : Localisation des sites de suivis de la reproduction de l'Alose sur l'axe Rhône et le Vidourle	9
Figure 5 : Spectrogramme d'un bull enregistré sur la Cèze en 2017	12
Figure 6 : Schématisation d'un réseau de neurones.....	14
Figure 7 : Schématisation d'un réseau CNN (© ensiwiki.ensimag.fr)	15
Figure 8 : Schématisation de l'utilisation des enregistreurs & de l'algorithme à moyen terme.....	21

Liste des tableaux

Tableau 1 : Sites où la pose de l'enregistreur a été déployée en 2020 et résultats de l'étude de 2016 (Mutel et al., 2018).....	11
Tableau 2 : Matrice de confusion	15
Tableau 3 : Détails des enregistrements disponibles - saison 2020	16

Liste des annexes

Annexe 1 : Alose feinte de Méditerranée, Alosa agone, Scopoli, 1786	25
Annexe 2 : Fiche de notice et d'informations fournie aux équipes pour la pose d'un enregistreur	27
Annexe 3 : Résultats du suivi de la reproduction 2020 (Alix <i>et al.</i> , 2021)	29

Annexes

Annexe 1 : Alose feinte de Méditerranée, *Alosa agone*, Scopoli, 1786

L'alose feinte de Méditerranée (*Alosa agone*), poisson migrateur amphihalín de la famille des clupéidés est endémique au bassin méditerranéen et vit sur le plateau continental et en zone littorale. Elle se reproduit en eau douce, potentiellement à plusieurs centaines de kilomètres de l'embouchure. Historiquement, l'alose était présente sur la Saône et le Rhône jusqu'au lac du Bourget, soit à plus de 650 km de la mer.

Les géniteurs retournent en eau douce au printemps (mars à juin) pour se reproduire après 2 à 5 ans en mer pour les mâles, généralement un an de plus pour les femelles (Le Corre *et al.*, 1997, 2005) (Figure 1). Le rhéotactisme positif très marqué leur permet de trouver l'embouchure des fleuves et d'être « guidés » vers les zones de frayères (Baglinière et Elie, 2000).

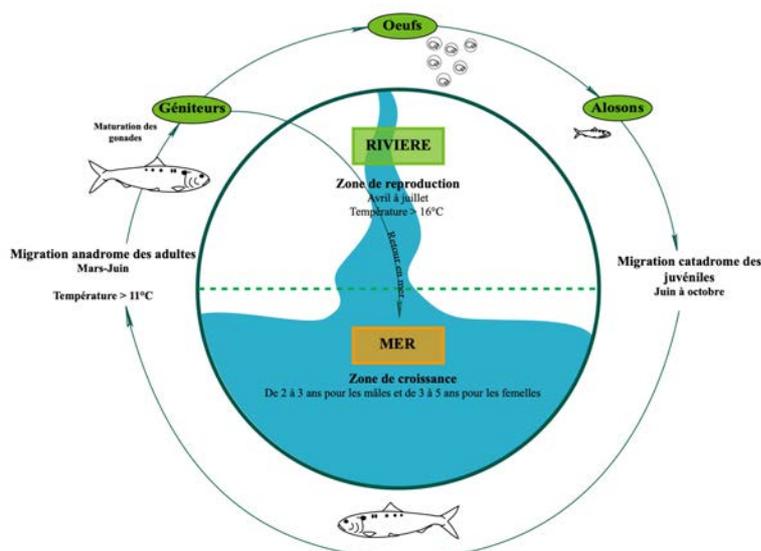


Figure 9 : Cycle de vie de l'alose feinte de Méditerranée

Les caractéristiques d'une frayère naturelle pour l'alose ont une profondeur de 0,8 à 1,6 m, une vitesse de courant d'environ 80 cm/s et une granulométrie grossière composée de cailloux voire de pierres fines. La température influence le métabolisme du poisson et un seuil de migration à 11°C et de reproduction à 16°C ont été avancés (Aprahamian *et al.*, 2002; Cassou-Leins *et al.*, 2000).

Lors de l'acte de reproduction (Figure 10 2), les aloses se manifestent en surface en effectuant des déplacements circulaires et en frappant l'eau de leur nageoire caudale afin de créer un tourbillon qui favorise la fécondation des œufs (Baglinière et Elie, 2000). Cette phase appelée « bull » est exclusivement nocturne, peut être particulièrement bruyante jusqu'à 50dB et peut durer jusqu'à dix secondes, ce qui permet de repérer facilement les zones de frai.



Figure 10 : Acte de ponte ou « Bull » chez l'alose feinte de Méditerranée (F.GARDIN/MRM)

Les œufs pondus en grand nombre (90 000 à 300 000 / kg, Cassou-Leins et Panisello, données non publiées) sont de très petite taille (Hoestlandt, 1958), et présentent un temps d'incubation très court (3 à 5 jours pour une température de l'eau de 18 à 20°C). Les juvéniles rejoignent la mer 2 à 4 mois après l'éclosion, période pendant lesquels ceux-ci

connaissent une croissance importante (Arahamian et Aprahamian, 2001; Crivelli et Poizat, 2001; Gendre *et al.*, 1997a).

L'alse feinte de Méditerranée est capable de se reproduire plusieurs fois au cours de sa vie (itéroparité) et les adultes qui survivent à la reproduction rejoignent la mer dès le début de l'été si l'hydrologie le permet.

La phase de croissance marine et le séjour en estuaire sont relativement peu connus, les travaux portant principalement sur les aloses de la façade atlantique (Bardonnnet et Jatteau, 2008; Gerkens et Thiel, 2001; Lochet, 2006; Lochet *et al.*, 2009).

Références

BARDONNET A., et JATTEAU P. 2008. Salinity tolerance in young Allis shad larvae (*Alosa alosa* L.). Ecology of Freshwater Fish, 17: 193-197.

CASSOU-LEINS F., CASSOU-LEINS J. J., BOISNEAU P., et BAGLINIERE J. L., 2000, La reproduction. In Les Aloses, Cemagref-I, pp. 73-92. Éd. par J. L. Baglinière et P. Elie. Cemagref/Inra

CRIVELLI A. J., et POIZAT G. 2001. Timing of migration and exceptional growth of YOY *Alosa fallax rhodanensis* (Roule, 1924) in a lagoon in southern France. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture: 761-772.

GENDRE, L., MENELLA, J., et CORRAO, B. 1997a. Suivi de la dévalaison des alosons. Campagne d'étude 1995. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. 40 pp.

GERKENS M., ET THIEL R., 2001 Habitat use of age - 0 Twaite shad (*Alosa fallax*, Lacépède, 1803) in the tidal freshwater region of the Elbe river, Germany-Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture : 773 - 784.

HOESTLANDT H. 1958. Reproduction de l'alse atlantique (*Alosa alosa* Linné) et transfert au bassin méditerranéen. Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie, 13: 736-742.

LE CORRE M., BAGLINIERE J.L., SABATIE R., MENELLA J.Y., PONT D., 1997 Données récentes sur les caractéristiques morphologiques et biologiques de la population d'alse feinte du Rhône '*Alosa fallax rhodanensis* Roule, 1924). Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 346, pp. 527-545

LE CORRE M., ALEXANDRIONO P., SABATIE R., APRAHAMIAN M.W., BAGLINIERE J. L., 2005, Genetic characterisation of the Rhodanian twaite shad, *Alosa fallax rhodanensis*, Fisheries Management and Ecology, Volume 12, Issue 4, p 275-282

LOCHET A., 2006 Dévalaison des juvéniles et tactiques gagnantes chez la Grande Alose (*Alosa alosa*) et l'alse feinte (*Alosa fallax*) : Apports de la microchimie et de la microstructure des otolithes. Université Bordeaux I - Ecole Doctorale Sciences du Vivant-Geosciences-Sciences de l'environnement

LOCHET A., BOUTRY S., et ROCHARD E. 2009. Estuarine phase during seaward migration for allis shad *Alosa alosa* and twaite shad *Alosa fallax* future spawners. Ecology of Freshwater Fish, 18: 323-335. <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1600-0633.2008.00350.x>.

Annexe 2 : Fiche de notice et d'informations fournie aux équipes pour la pose d'un enregistreur

Utilisation du dictaphone

- 1) Brancher le fil dans la prise micro ()
- 2) Allumer le dictaphone
placer l'enregistreur dans la boîte
- 3) Pour lancer l'enregistrement : Appuyer sur REC
Fermer la boîte

Au début du suivi : **Annoncer l'heure, le site, les observateurs**

A la fin du suivi : **Annoncer l'heure, le site, le nombre de bulls observés, toutes observations intéressantes**

- 4) Pour arrêter l'enregistrement : Appuyer sur stop
- 5) Pour charger la batterie : un bouton poussoir au dos vous permet de faire sortir un connecteur USB



Intérêt du dictaphone

Voilà un moment que MRM vous demande de poser ces enregistreurs, dans une boîte qui ne paie pas de mines...

Mais à quoi bon ?

L'objectif final est de trouver une méthode qui permette d'automatiser le suivi de la reproduction des aloses. L'expérience montre que nous ne pourrions certainement pas nous passer de la présence humaine au bord de l'eau mais pourquoi pas de multiplier le nombre de sites suivis en une nuit sans trop augmenter la charge de travail.

Un premier algorithme est né de ces investigations en 2014, mais il était que trop peu fonctionnel : la recherche de paramètres caractérisant la bande son pour chaque site et chaque saison était nécessaire et ce de manière empirique : ce qui demandait un effort de traitement très important.

Mais la science évolue (et vite !). Depuis 2019, MRM travaille en collaboration avec Patrice Guyot, chercheur en informatique (Ecole des Mines) pour développer un algorithme sur la base de l'apprentissage profond (ou Deep Learning), une sorte d'intelligence artificielle !

Aujourd'hui, les bases de l'algorithme sont posées, et les premiers résultats plutôt prometteurs (sur une bande son testée, 70% des bulls ont été retrouvés !). L'algorithme a besoin d'être rendu plus performant, pour cela, il nous faut augmenter le nombre de bulls qu'on lui donne au démarrage pour qu'il apprenne à de mieux en mieux les reconnaître au sein d'une bande son. Donc plus nous aurons de bulls, provenant d'univers sonores différents, de conditions météo différentes, plus nous pourrons rendre l'algorithme performant.

C'est pourquoi la pose de l'enregistreur par vos soins est importante ! Chaque bull compte !

Annexe 3 : Résultats du suivi de la reproduction 2020 (Alix *et al.*, 2021)

Axe Rhône	Durance	Cèze	Ardèche			Rhône	
	Seuil de Callet	Chusclan	Salavas – Ibie	Prospections amont	Prospections aval	Barrage Donzère	Prospections RCC
Première nuit de suivi	04/05/2020	04/05/2020	12/05/2020	27/05/2020	11/05/2020	11/06/2020	12/05/2020
Dernière nuit de suivi	09/07/2020	20/06/2020	29/06/2020	27/06/2020	28/06/2020	29/06/2020	30/06/2020
Période de suivi (j.)	66	47	48	33	48	18	49
Nombre de nuits de suivi	13	21	21	10	21	21	21
Nombre de nuits de fraie	8	16	0	0	1	0	0
en %	62%	76%	-	-	5%	-	-
Nombre max de bulls	27	19	-	-	11	-	-
Première nuit d'activité	04/05/2020	04/05/2020	-	-	21/05/2020	-	-
Dernière nuit d'activité	09/07/2020	10/06/2020	-	-	21/05/2020	-	-
Période d'activité (j.)	67	37	-	-	1	-	-
Nombre de bulls par nuit avec activité	8	9,31	-	-	11,00	-	-
Nombre de bulls par nuit (période)	1,97	6,34	-	-	-	-	-
Nombre de bulls (brut)	65	149	-	-	11	0	0
Nombre de bulls extrapolés	130	298	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Nb aloses min	37	85	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Nb aloses max	52	119,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

n.a. : formule non applicable

* : à titre indicatif

Fleuves Côtiers	Aude		Vidourle
	Moussoulens	Saint Nazaire	Saint Laurent d'Aigouze
Première nuit de suivi	05/05/2020	27/05/2020	11/05/2020
Dernière nuit de suivi	23/06/2020	16/06/2020	10/06/2020
Période de suivi (j.)	49	20	30
Nombre de nuits de suivi	10	3	23
Nombre de nuits de fraie	5	0	9
en %	50%	-	39%
Nombre max de bulls	32	20	12
Première nuit d'activité	05/05/2020	02/05/2019	11/05/2020
Dernière nuit d'activité	16/06/2020	19/06/2019	31/05/2020
Période d'activité (j.)	43	49	20
Nombre de bulls par nuit avec activité	16	-	3,67
Nombre de bulls par nuit (période)	3,31	-	2,20
Nombre de bulls (brut)	81	0	33
Nombre de bulls extrapolés	162	n.a.	66
Nb aloses min	46	n.a.	19
Nb aloses max	64,8	n.a.	26,4

n.a. : formule non applicable

* : à titre indicatif

Financeurs

L'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée ne pourrait agir sans l'engagement durable de ses partenaires financiers



Membres de l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée

Fédérations Départementales des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique :

- Ain
- Alpes de Haute-Provence
- Hautes-Alpes
- Alpes-Maritimes
- Ardèche
- Aude
- Bouches-du-Rhône
- Corse
- Drôme
- Gard
- Hérault
- Isère
- Loire
- Pyrénées-Orientales
- Rhône
- Haute-Saône
- Saône et Loire
- Savoie
- Haute-Savoie
- Var
- Vaucluse

Association Régionale des Fédérations de Pêche de PACA (ARFPPMA PACA)

Association Régionale des Fédérations de Pêche Auvergne Rhône-Alpes (ARPARA).

ASSOCIATION MIGRATEURS
RHÔNE-MÉDITERRANÉE

ZI Nord, rue André Chamson, 13200 Arles
contact@migrateursrhonemediterranee.org
Tél. : 04 90 93 39 32
www.migrateursrhonemediterranee.org

