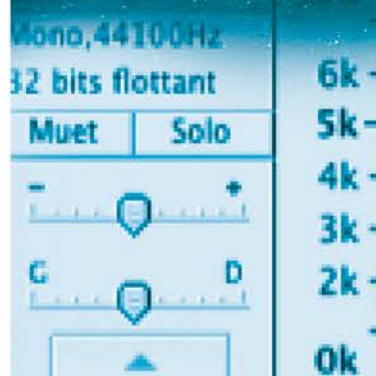


- RAPPORT D'ETUDE -



2019 N° 4/15

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

ALIX F., RIVOALLAN D. • Mars 2020

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

Référence à citer

ALIX F., RIVOALLAN D., 2020. Élaboration d'un système automatique acoustique de suivi de la reproduction des aloses. Campagne d'Études 2019. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. 26p + 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
- 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
- Institut de la Recherche informatique de Toulouse (Guyot Patrice)
- Compagnie Nationale du Rhône, Direction Régionale d'Avignon
- Associations MIGADO et LOGRAMI
- 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 aboutit 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. De plus, l'optimisation de cet algorithme nécessitait un nombre de bulls enregistrés conséquent mais depuis quelques années, le nombre de bull 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.

Concernant la phase de terrain, en 2019, 388 heures d'enregistrements ont été obtenues, 82% sont exploitables. Le nombre d'heure d'enregistrement de bonne qualité obtenu est encourageant pour la poursuite du projet. Des bulls ont cette année été observés sur le Gardon, la Cèze, l'Ardèche et le Vieux Rhône de Donzère.

Sur le Gardon, très peu de bulls ont été enregistrés, seulement 12, alors que 196 bulls ont été observés. Cette perte d'information est regrettable et s'explique par différents paramètres : le dispositif d'enregistrement a dysfonctionné en début de saison et il a été parfois posé loin des zones de fraies actives. Pour contrer ces éléments perturbateurs, des solutions sont envisagées pour la saison 2020 comme multiplier les enregistreurs afin de couvrir l'ensemble de la frayère.

Sur le Vieux Rhône de Donzère aucun bull n'a été enregistré. Sur l'Ardèche, peu de bull ont été enregistré. Le nombre de nuit d'activité des aloses sur l'Ardèche a été très faible cette année. Malheureusement, la nuit qui s'est révélée la plus active avec plus de 50 bulls n'a pas été enregistrée.

C'est, tout comme les années précédentes, la Cèze qui se démarque avec 50% des bulls observés qui ont été enregistrés. Cet écart est normal puisqu'un enregistreur posé sur l'une des frayères ne permet pas de détecter un bull ayant lieu sur une frayère plus éloignée. Il est demandé à l'un des suiveurs de rester sur la même frayère où est disposé l'enregistreur et au second de prospecter les autres frayères.

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. MRM à cette année travaillé avec l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT) afin de développer un nouvel outil plus performant sur la base du Deep-Learning. Les premiers réseaux de neurones construits dans ce cadre donnent des résultats qui s'avèrent prometteur allant jusqu'à l'obtention d'une performance de 70%. Ces tests ont été réalisés sur des audios réalisés les années précédentes et/ou confiés par d'autres associations migrateurs (MIGADO / LOGRAMI). Ces réseaux méritent d'être perfectionnés afin augmenter le taux d'efficacité de détection des bulls dans les bandes sons.

L'automatisation, ou en tout cas l'utilisation d'enregistreurs, pourrait permettre de suivre un nombre plus important de frayères et ainsi de mieux caractériser la reproduction et *in fine* la population d'Alose mais le travail de nuit et la présence humaine sur les frayères ne pourra pas être significativement réduite.

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 6 |
| 1 Rappel du contexte de l'étude et des campagnes précédentes | 7 |
| 1.1 Alosa agone | 7 |
| 1.2 Suivi de la reproduction des aloses | 8 |
| 1.3 Genèse des travaux d'automatisation du suivi de la reproduction | 10 |
| 2 Objectifs | 11 |
| 2.1 Objectifs de la campagne de terrain | 11 |
| 2.2 Objectifs liés au développement d'un nouvel algorithme | 12 |
| 3 Méthodes et résultats | 12 |
| 3.1 Matériel | 12 |
| 3.2 Déploiement des enregistreurs | 12 |
| 3.3 Exploitation des résultats | 13 |
| a) Détails des enregistrements sur l'ensemble des sites de suivis | 13 |
| b) Détails et exploitations des enregistrements sites par sites | 13 |
| 4 Développement du nouvel algorithme : Méthodes et premiers résultats | 15 |
| 4.1 Qu'est-ce que le Deep-Learning ? | 15 |
| 4.2 Méthode déployée | 16 |
| a) Données fournies et principes de bases | 16 |
| b) Transformation des données | 17 |
| c) Réseau de neurones multicouches : perceptron multicouche | 17 |
| d) Réseau de neurones convolutifs | 18 |
| e) Évaluation quantitative des réseaux de neurones | 19 |
| 4.3 Premier résultat 2019 | 20 |
| a) Réseau de neurones multicouches | 20 |
| b) Réseau de neurones convolutifs | 20 |
| 5 Perspectives d'utilisation et travaux complémentaires | 20 |
| 5.1 Campagne et Partenariat 2020 | 20 |
| a) Campagne de terrain | 20 |
| b) Amélioration des réseaux de neurones de détection automatique | 21 |
| 5.2 Perspectives à moyen terme | 22 |
| Conclusion | 23 |
| Bibliographie | 25 |
| Webographie | 25 |
| Annexes | 27 |

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.

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 suivi de la reproduction des aloses est de permettre de multiplier les sites de suivis sans multiplier les coûts humains impartis. En effet, le linéaire accessible aux aloses est, grâce aux efforts des différents partenaires du bassin rhodanien, de plus en plus important. Le nombre de frayère accessible est donc également de plus en plus important. Une méthode de détection automatique des bulls d'aloses permettrait d'augmenter le nombre de site de suivi. Pour autant, la présence humaine au bord de l'eau reste primordiale, en effet, les équipes possèdent une connaissance des frayères précieuses et peuvent ainsi discriminer les frayères les plus propices à la fraie, 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 et interrompu en 2009 et 2010. 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. De plus, 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'événement 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 chant d'oiseaux. Face à ces avancées scientifiques récentes, un partenariat a été mis en place avec l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse et plus particulièrement avec Patrice Guyot, chercheur en informatique. Un stagiaire de niveau M2 a en 2019 été recruté spécifiquement pour participer au développement d'un nouvel algorithme de détection automatique des bulls d'aloses en employant la méthode du « deep-learning ».

La campagne 2016 avait permis une hiérarchisation des sites les plus favorables pour l'automatisation du suivi sur lesquels sont disposés des enregistreurs lorsque des équipes de suiveurs sont sur place. En 2019, l'ensemble des sites identifié au PLAGEPOMI 2016-2021 pour le suivi de la reproduction sur l'axe Rhône ont été suivis, des enregistreurs ont donc pu être déployés sur la Cèze, le Gardon, l'Ardèche et le Vieux Rhône de Donzère.

1 Rappel du contexte de l'étude et des campagnes précédentes

1.1 *Alosa agone*

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

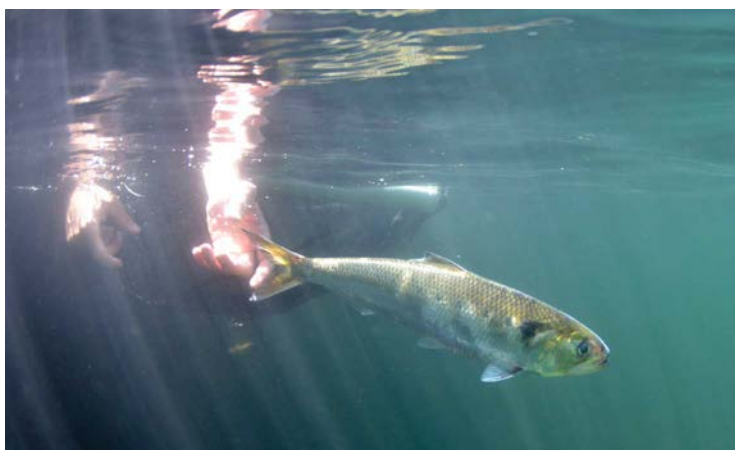


Figure 1 : *Alosa agone* - © Y.GOUGUENHEIM/MRM

Une fois l'âge de reproduction atteint, l'Alose 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 se fait 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).

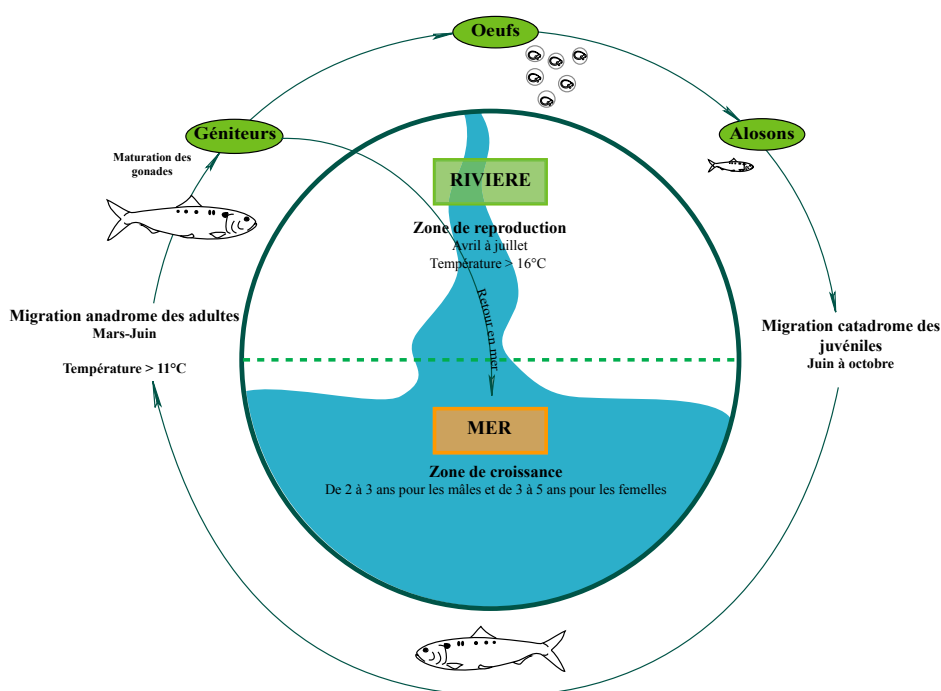


Figure 2 : Cycle de vie de l'aloise feinte de méditerranée - MRM

La migration et la reproduction de l'espèce dépendent principalement de 2 paramètres : hydraulique et physico-chimique. En effet, la température doit être supérieure à 10,5 - 11 °C pour la migration et il ne doit pas y avoir de brusques augmentations de débits (Baglinière et Elie, 2000).

L'Alose se reproduit la nuit, lorsque la température de l'eau est supérieure à 16 °C. Une frayère potentielle se détermine par les caractéristiques suivantes :

- La profondeur : il est admis que la hauteur d'eau doit être entre 0,8 et 1,2 m avec une zone moins profonde à l'aval (40 à 50 cm)
- La vitesse du courant : comprise entre 0,8 et 1,2 m/s, elle est plus faible sur la zone de ponte que sur celle d'incubation des œufs
- La granulométrie : la taille moyenne des galets et cailloux du fond, importante pour le dépôt des œufs et le développement des larves, est en moyenne de 5 à 9 cm

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 - © 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., 2013a). Une présence humaine assidue de deux personnes par frayère est la seule méthode actuellement validée.

Afin d'évaluer et de comparer le nombre de bulls sur la saison, le nombre de bulls observés est simplement 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

En compléments de ces sites de suivis, des prospections sont effectuées en complément de manière qualitative, comme sur l'Ardèche (site de Sauze, 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.

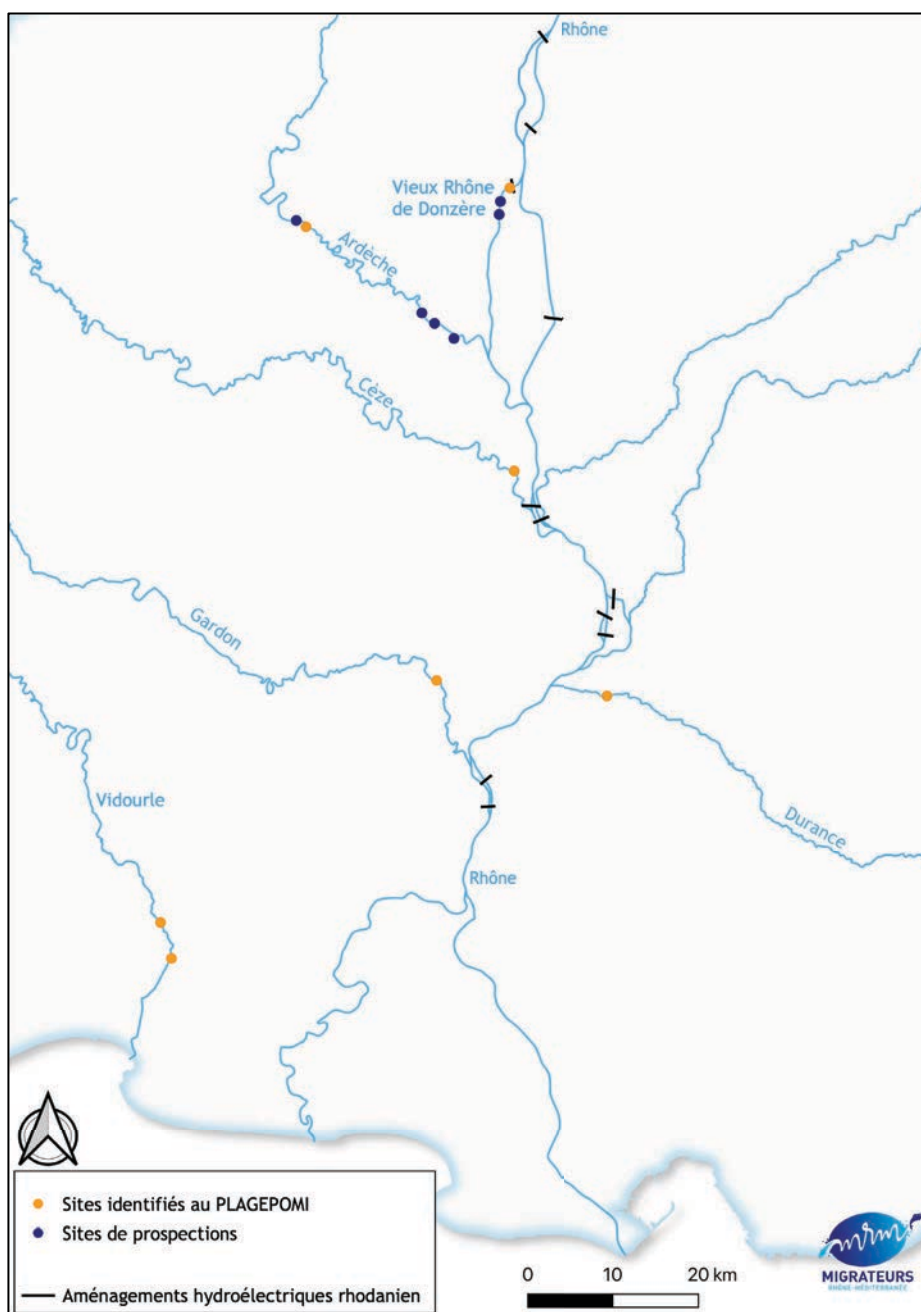


Figure 4 : Localisation des sites de suivis de la reproduction de l'Alose sur l'axe Rhône

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.

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 frayère accessible d'assurer une présence sur chacune. **L'automatisation du suivi permettrait donc un gain d'information en multipliant les stations de suivis sans augmenter les besoins de suivis manuels.**

1.3 Genèse des travaux d'automatisation du suivi de la reproduction

Au lancement du projet de MRM en 2004, Daniel Diep, spécialiste acoustique du laboratoire ARMINES de l'école des Mines d'Alès entreprend une étude structurée afin de trouver une méthode d'automatisation du suivi de la reproduction de l'aloise. En 2006, l'association DIVULCO (Diffusion et VULgarisation des CONnaissances technologiques, scientifiques et techniques) se joint au projet afin de développer un logiciel de reconnaissance des bulls par analyse de fichier audio, ainsi que l'équipement de prise de son. De 2004 à 2008, différentes méthodes ont été testées. Le choix final s'oriente vers un système d'enregistrement sur smartphone, relié à un micro et un amplificateur.

Le projet est ensuite gelé jusqu'en 2011, année lors de laquelle MRM reprend les recherches pour aboutir à un prototype de montage. L'année suivante, la partie logicielle est intégrée au système et les tests sur le terrain débutent. Les campagnes suivantes montrent une certaine efficacité de la détection, mais les paramètres peuvent être affinés et le montage souffre de quelques problèmes de connectiques. Ainsi, en 2014 les tests révèlent les problèmes suivants :

- Le smartphone n'est pas suffisamment puissant pour gérer le logiciel, d'où la décision de séparer les fonctions en applications distinctes
- Sur la cinquantaine de nuits enregistrées, la détection n'a été possible que sur un seul fichier, les autres étant inexploitable à cause de mauvais réglages techniques (Diep *et al.*, 2016)

Depuis la campagne de 2015 l'application Smartphone est fonctionnelle. Elle permet une détection en direct et la gestion à distance par SMS. En parallèle, une version PC du logiciel de détection nommée Bullomat est développée sous MatLab pour utiliser la puissance de calcul d'un ordinateur et analyser de nombreux enregistrements *a posteriori*. Le départ à la retraite de Daniel Diep fin 2015 qui a suivi le projet depuis ses débuts marque l'aboutissement du travail de développement de la partie algorithme de détection.

Ainsi depuis 2016, l'association MRM élabore un protocole d'utilisation des stations d'enregistrement et de l'algorithme de détection, en complément du suivi manuel de la reproduction.

Dans ce cadre, des enregistrements réalisés par d'autres associations migrateurs (LOGRAMI, Cellule Migrateurs Charente-Seudre) ont été utilisés pour multiplier les analyses et donc la fiabilité des résultats.

La campagne 2016 a permis deux grandes avancées. La première concernant le réglage des paramètres pour plusieurs nuits d'enregistrements. La méthode était certes chronophage et demandait un nombre important d'analyses, mais avait pour intérêt de proposer un protocole de calibration, qui serait petit à petit optimisé.

La seconde avancée avait été de caractériser le potentiel d'automatisation du suivi sur l'ensemble des sites de suivi qui peuvent être concernés par le déploiement des enregistreurs.

Le smartphone a été remplacé en 2017 par des dictaphones. En effet, le retour d'expérience à l'utilisation montre divers défauts techniques (fonctionnalité de l'application AlloZ, problème de batterie etc...) (Mutel et al., 2017). Les enregistrements sont ensuite récupérés et exploités sur le logiciel Bullomat.

Toutefois, Bullomat nécessite un réglage de paramètre difficile à prendre en main et qui doit être réalisé de manière empirique pour chaque station d'enregistrement sur la base de plusieurs bandes sons afin d'obtenir un nombre de bulls détectés par le logiciel et observés par les équipes de suivis similaires. Cela nécessitait une phase d'écoute et de marquage des fichiers audio des nuits de suivis et de réglage des différents paramètres chronophages.

Face aux objectifs principaux de déploiement du système sur plusieurs sites sans augmenter le coût du suivi, le logiciel Bullomat peinait à faire ses preuves.

Par ailleurs, depuis le début du projet en 2004, il y a eu de nombreuses avancées scientifiques dans le domaine de la détection automatique d'événement sonore notamment grâce au développement des systèmes d'apprentissage profond ou « Deep-Learning ». Un nouveau partenariat a donc été mis en place en 2019 avec l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse et notamment M. Patrice Guyot, chercheur en informatique l'objectif étant de développer un nouvel algorithme sur les bases du Deep-Learning.

2 Objectifs

La mise en place de stations de comptage fonctionnelles permettrait d'optimiser le suivi saisonnier de l'Alose. Les objectifs finaux sont :

- Optimisation du suivi de la reproduction
- Possibilité de suivre plusieurs sites sur une même nuit
- Diminution du temps d'analyse des enregistrements au bureau

2.1 Objectifs de la campagne de terrain

L'objectif principal de la campagne de terrain 2019 a été de réaliser des enregistrements en routine en doublon du suivi manuel sur les sites identifiés en 2016, pour valider le protocole de suivi par des enregistreurs et préciser la qualité des enregistrements obtenus, en vue d'une automatisation de la détection.

De plus, afin de faciliter le travail de conception d'un nouvel algorithme, chacun des enregistrements des nuits avec des bulls observés par les équipes ont été réécouter afin de marquer les bandes sons lors d'un bull (logiciel Audacity).

Un second objectif est 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.

2.2 Objectifs liés au développement d'un nouvel algorithme

Face aux différentes limites qui ont été identifiées lors de l'utilisation de Bullomat, un nouvel outil paraît pertinent. 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.

3 Méthodes et résultats

3.1 Matériel

Depuis 2017, un dictaphone (Olympus WS-853) est directement branché sur le micro qui est situé au cœur d'une parabole fixé sur le couvercle d'une boîte hermétique. Il y a qu'un seul branchement à faire pour les équipes de suivis, ce qui doit limiter les risques de faux contact ou de mauvais branchement. 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.

3.2 Déploiement des enregistreurs

Chaque équipe de suivi de la reproduction est équipée d'une station d'enregistrement. Elles sont chargées d'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).

Le positionnement et le fonctionnement des différents systèmes d'acquisition ont été montrés par MRM aux équipes terrain lors d'une visite sur site préalable au lancement du suivi de la reproduction. Les sites où la pose d'un enregistreur est favorable ont ainsi été suivis de manière manuelle et acoustique, pour permettre la comparaison des résultats entre le suivi manuel et la détection par l'algorithme (Tableau 1)

Tableau 1 : Sites suivis en 2019 et où la pose de l'enregistreur est conseillée suite aux résultats de l'étude de 2016

| Cours d'eau | Gardon | Cèze | Ardèche | | | | Vieux Rhône de Donzère | | | Durance |
|---|-------------|-------------|--------------|-----------------------|-------------|--------------|------------------------|--------------|----------------|-------------|
| Site | Fournès | Chusclan | Sauze | Seuil de Saint-Martin | Salavas | Petite Mer | Barrage | Fraou | Grange écrasée | Callet |
| Suivi manuel | Quantitatif | Quantitatif | Prospections | Prospections | Quantitatif | Prospections | Quantitatif | Prospections | Prospections | Quantitatif |
| Résultat 2016 favorable à un enregistrement | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | Non | Oui | Oui | Non |

3.3 Exploitation des résultats

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

Les nuits où des bulls ont été enregistrés ont été réécoutées afin de marquer les bulls sur la bande son. A total, c'est environ 389 heures d'enregistrements qui ont été obtenues cette saison dont 319 heures exploitables, soit 82% des enregistrements (Tableau 2). Il semble important de noter que la part d'enregistrements exploitables varie selon les sites. Sur les sites de suivis de l'Ardèche, 95,7% des enregistrements sont exploitables, sur le Gardon, c'est seulement 46,4% des enregistrements qui sont exploitables, l'enregistreur a donc fonctionné

Tableau 2 : Détails des enregistrements disponibles - saison 2019

| | Enregistrements (heures) | Enregistrements exploitables (heure) | % |
|------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------|
| Ardèche | 165:30 | 158:20 | 95,7 |
| Cèze | 114:47 | 92:20 | 80,2 |
| Vieux Rhône de Donzère | 50:10 | 42:40 | 83,9 |
| Gardon | 58:26 | 27:70 | 46,4 |
| TOTAL | 388:54 | 319:36 | 82,2 |

Les principaux résultats du suivi de reproduction 2019 sont disponibles en annexe 1.

b) Détails et exploitations des enregistrements sites par sites

• Gardon

La fédération de pêche du Gard a effectué 28 nuits de suivis sur la frayère de Fournès, identifiée au PLAGEPOMI. L'enregistreur a été posé lors de 21 nuits (oubli de la part des équipes). On comptabilise près de 59 heures d'enregistrements dont 27 où la qualité se révèle correcte soit des enregistrements sur 8 nuits de suivis. 12 bulls ont pu être enregistrés (soit 18% des bulls qui auraient pu être enregistrés les nuits où l'enregistreur a été déployé par l'équipe de suivi). Peu d'heures ont été enregistrées, ceci dû à des soucis techniques et des erreurs humaines.

Le faible ratio heure d'enregistrement et heure de bonne qualité peut s'expliquer par le fait qu'un fil était défectueux en début de saison et gênait donc le bon fonctionnement du micro. Peu de bulls ont été enregistrés par rapport au bulls manuellement comptabilisés.

Plusieurs explications à cela : le dispositif d'enregistrement ne couvre pas la totalité de la frayère, notamment sur le Gardon où la distance entre les deux postes d'observations des bulls est importante (*Figure 5*). Deux enregistreurs pourraient être mis à la disposition des équipes. Des bruits ambiants peuvent également nuire à l'enregistrement des bulls (vent, amphibien, bavardage...).

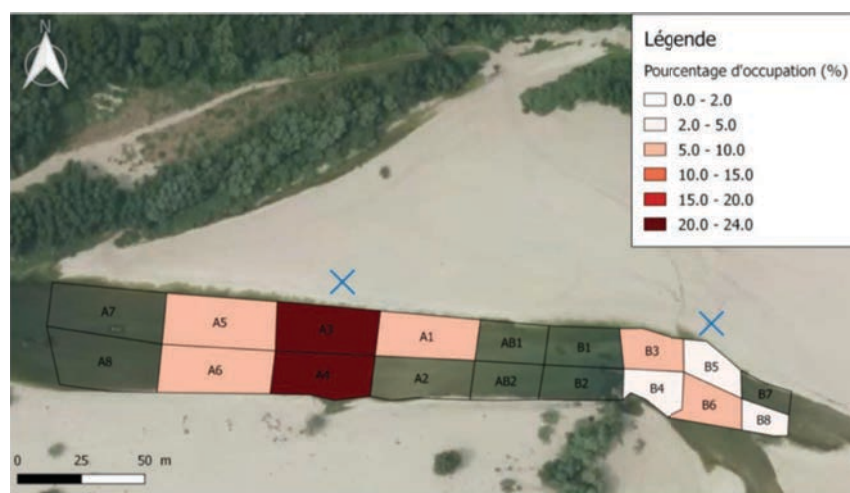


Figure 5 : Localisation des bulls de la saison 2019 sur la frayère de Fournès (source : FDAAPPMA 30)

Les croix désignent les postes d'observations, les enregistreurs ont été placés alternativement entre les deux postes

23 nuits de suivis ont été effectuées sur la Cèze. Grâce au déploiement du matériel d'enregistrement, on dispose de 92h de bande sons de qualité correcte (112 heures enregistrées, soit 82 % d'enregistrement de bonne qualité).

Près de 50 % des bulls qui ont été décomptés manuellement ont été détectés par la suite sur les enregistrements. L'écart s'explique par le fait que sur certaine nuit la qualité de l'enregistrement (notamment à cause du vent) ne permet pas détecter des bulls et par la disposition particulière des frayères sur la Cèze. Effectivement, un enregistreur posé sur l'une des frayères ne permet pas de détecter un bull ayant lieu sur une frayère plus éloignée. Cet écart est normal puisqu'il est demandé à l'un des suiveurs de rester sur la même frayère où est disposé l'enregistreur et au second de prospecter les autres frayères. Ces résultats sur la Cèze sont encourageants et soulignent la nécessité de disposer de plusieurs enregistreurs sur un même site.

• Ardèche

Au total, 165h d'enregistrements ont été réalisés sur l'Ardèche, plus de 95% d'entre elles sont de bonnes qualités. Malheureusement sur cette saison, il y a eu très peu de nuit d'activité (5 nuits).

Sur les enregistrements où la comparaison entre la présence des bulls manuels et enregistrés a été possible, les bulls ont pu être retrouvés. Cependant, les bulls enregistrés au seuil de Saint-Martin d'Ardèche n'ont pas été marqués car ils sont à peine audibles et ce dû au bruit provoqué par la chute d'eau du seuil de Saint-Martin.

Il est très regrettable que l'enregistrement du suivi du 1er juin à Sauze n'ait pas été retrouvé, dû à une erreur humaine, c'est en effet lors de cette prospection que près de 50 bulls ont été observés.

- **Vieux Rhône de Donzère**

L'enregistreur est déployé sur les frayères naturelles du vieux Rhône de Donzère. En 2019, des bulls ont été détectés au niveau du barrage de Donzère. Sur ce site, le dispositif n'est pas déployé car les surverses du barrage produisent un bruit trop important qui nuit à la bonne qualité de l'enregistrement.

Sur les frayères naturelles du vieux Rhône de Donzère, c'est 42h d'enregistrements de bonne qualité qui ont été produits sur 50 heures d'enregistrements effectuées, soit près de 85% des enregistrements qui sont de bonne qualité. Ce taux d'enregistrements de bonne qualité est encourageant.

4 Développement du nouvel algorithme : Méthodes et premiers résultats

4.1 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. À 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 chant d'oiseau. Ce thème était au cœur du « DCase Challenge 2018 » où des enregistrements de divers sites étaient transmis à plusieurs équipes [2]. Au préalable, ces bandes audio avaient été écoutées et marquées par des spécialistes. L'objectif était de construire un algorithme capable de reconnaître les chants d'oiseaux. 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 (Figure 6).

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.

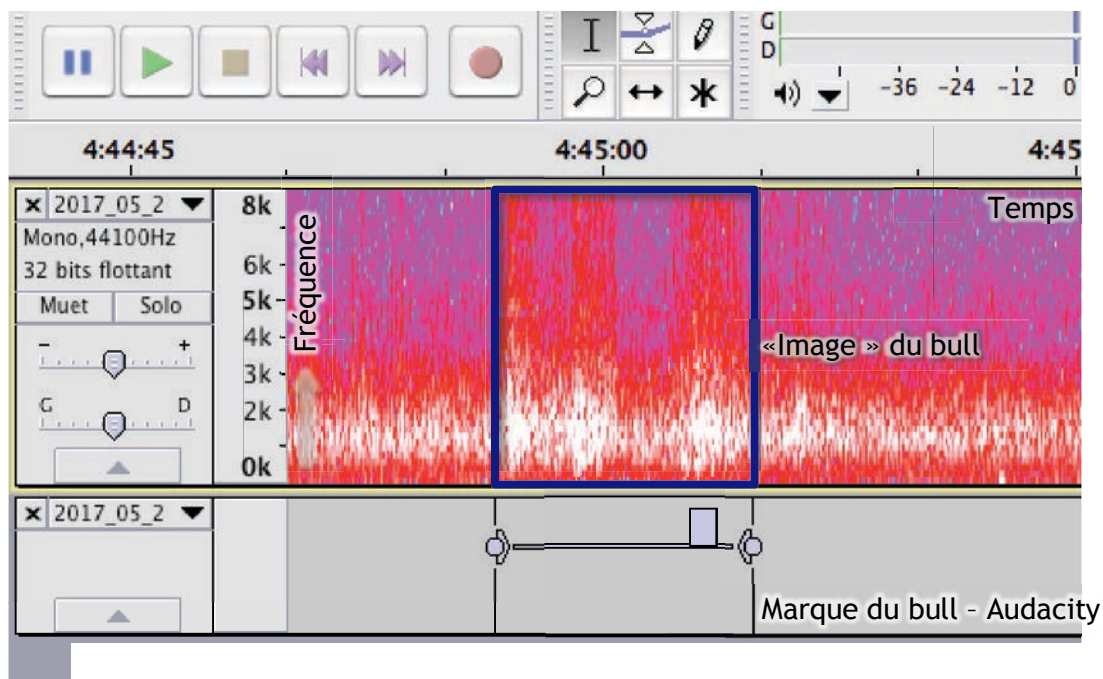


Figure 6 : Spectrogramme d'un bull enregistré sur la Cèze en 2017

4.2 Méthode déployée

a) Données fournies et principes de bases

Il a été fourni à l'IRIT l'ensemble des enregistrements disponibles à MRM ainsi que leur fichier de marquage. Les fichiers de marquages sont produits lors de la réécoute des bandes sons enregistrées lors des nuits de suivis. Ce sont donc des fichiers audios de diverses tailles, et provenant de divers sites qui ont été fournis.

L'ensemble des fichiers sont divisés 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. La seconde catégorie regroupe les données de tests : 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. L'ensemble des codes réalisés dans le cadre de ce projet sont disponibles par le lien https://github.com/Cmefteh/Bull_detect.

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.

Il a ensuite été nécessaire de trouver une solution pour découper chaque bande audio sans perte d'information en morceaux qui pourront être traités par l'algorithme. Effectivement, les fichiers fournis à l'IRIT 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 10 secondes : pour chaque morceau une décision binaire est rendue par le réseau de neurones « contient un bull » ou bien « ne contient pas de bull ».

c) Réseau de neurones multicouches : perceptron multicouche

Le perceptron multicouche est un système artificiel capable d'apprendre par l'expérience. Il a été introduit en 1957 mais il faudra attendre le développement des performances informatiques pour que ce type de perceptron devienne monnaie courante. Dans ce type de réseau de neurones, l'information circule de la couche d'entrée vers la couche de sortie. La dernière couche de ce réseau constitue les sorties du système global [3]. Un réseau de neurones multicouches est composé de trois types de couches (*Figure 7*) :

- Couche d'entrée : un ensemble de neurones qui portent le signal d'entrée. Pour la reconnaissance d'image, ce sont les pixels qui arrivent en entrée de la couche.
- Couche(s) cachée(s) : souvent au nombre de deux, les couches cachées sont les couches où les relations entre les différentes variables vont être mise en exergue.
- Couche de sortie : résultat final du réseau.

Entre deux neurones, il y a un lien qui est pondéré par un poids. Ce sont ces poids qui sont adaptés tout au long de l'apprentissage pour pouvoir prédire efficacement grâce au réseau de neurones.

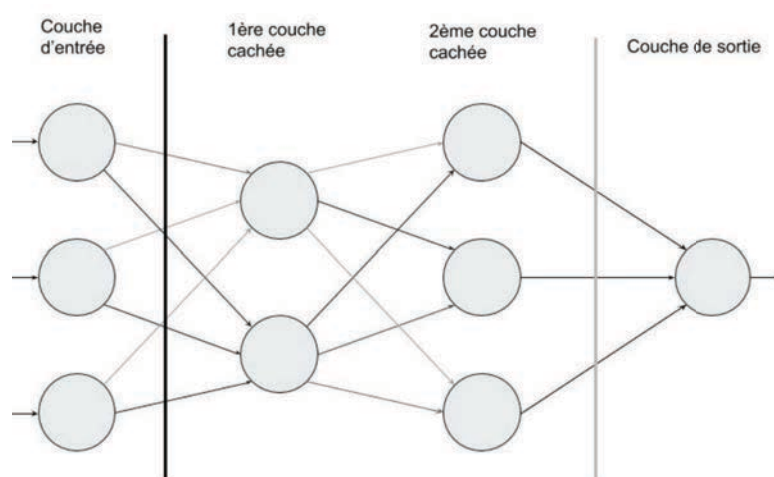


Figure 7 : Schématisation d'un réseau multicouche (© penseeartificielle.fr)

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 visuels.

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 [4].

Les réseaux CNN sont composés de plusieurs types de couches (*Figure 8*) :

- **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.

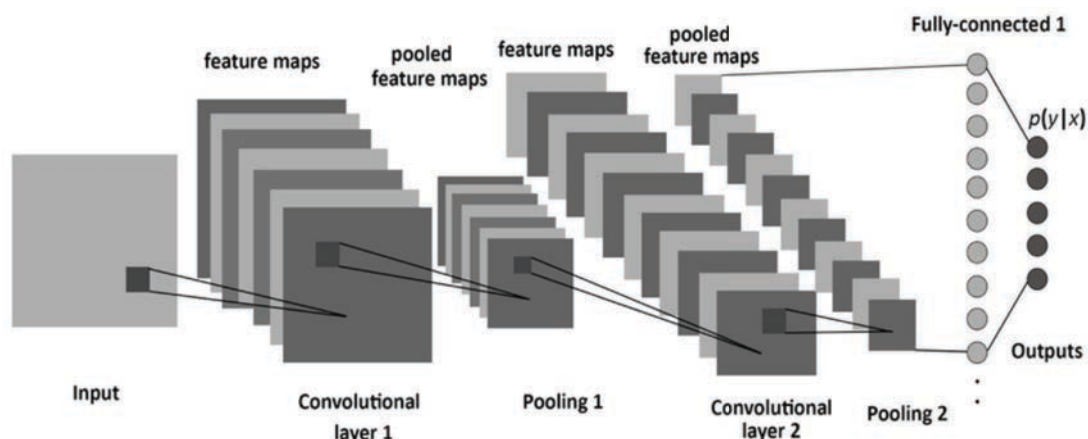


Figure 8 : Schématisation d'un réseau CNN (© ensiwiki.ensimag.fr)

Les grands principes du Deep-Learning et des deux types de réseaux de neurones ont été ci-dessus introduits. Pour plus de renseignements sur leur mise en place techniques, veuillez consulter le rapport « Contribution à la détection d'événements sonores pour le suivi des aloses, de Chayma Mefteh, 2019 »

e) Évaluation quantitative des réseaux de neurones

L'évaluation quantitative des réseaux est calculée grâce à une matrice de confusion (Tableau 3) :

Tableau 3 : 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

Cette matrice de confusion permet de calculer l'**accurency** soit la précision / l'efficacité du réseau de neurones par la formule suivante :

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

4.3 Premier résultat 2019

Deux types de réseaux ont été mis en place : un réseau de neurones multicouches et un réseau de neurones convolutif. Le stage mis en place n'a pas permis d'apporter les résultats escomptés. Cependant, une première phase de tri des données et des premières constructions de l'architecture des algorithmes se révèlent prometteur. Ces algorithmes ont été testés sur très peu d'enregistrement provenant principalement du bassin de la Charente car le nombre de bulls observés sont plus importants et la condition *sine qua non* d'un développement important est la quantité d'informations a apporté lors de la phase d'apprentissage.

a) Réseau de neurones multicouches

Un réseau de neurones multicouches contenant deux couches cachées a été créé. Après avoir été testé sur les données d'apprentissage, ce réseau a été testé sur des données tests.

Son accuracy s'élève à **67 %**. Cette valeur est correcte car c'est plus que la chance mais n'est pas satisfaisante vis à vis des objectifs fixés. Ce type de réseau de neurones a rapidement été abandonné car les chances de progressions induites par la structure du réseau ne sont pas aussi élevées que les réseaux de neurones convolutifs.

b) Réseau de neurones convolutifs

Un premier réseau de neurones convolutifs a été créé. En faisant tourner cet algorithme sur les données d'apprentissage, on obtient une accuracy de 82 %, pourcentage qui mérite d'être amélioré lors des prochaines phases du développement du réseau. Ce réseau a ensuite été testé sur des données tests, c'est à dire une bande son pour laquelle il existe un fichier de vérité terrain que l'on pourra comparer aux résultats de l'algorithme. Son accuracy s'élève jusqu'à **70 %** selon les données de tests utilisées. Ce résultat est prometteur étant donné que c'est plus important que la chance. Cependant, vis à vis de l'objectif d'automatisation du suivi de la reproduction, ce premier résultat n'est pas satisfaisant.

C'est ce type de réseau qui semble le plus prometteur pour la suite du développement du système automatique acoustique de suivi de la reproduction des aloses.

5 Perspectives d'utilisation et travaux complémentaires

5.1 Campagne et Partenariat 2020

a) Campagne de terrain

Le nombre d'enregistrement et le taux d'enregistrements exploitables n'ont jamais été aussi importants grâce à la vigilance des équipes de suivi.

Toutefois, les suiveurs se positionnent parfois loin de l'enregistreur, ce qui ne permet pas toujours de comparer le nombre de bulls enregistrés et le nombre de bulls comptés manuellement. Étant donné que nous sommes dans une phase d'élaboration du système, il est important de pouvoir comparer les résultats manuels et audio.

En effet, bien qu'un dépouillement des bandes sons soit réalisé par un technicien, 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 donnée aux équipes de terrain avec l'enregistreur. En effet, la résolution des problèmes techniques tels que cités précédemment pourrait augmenter significativement le nombre d'heures enregistrées. Il serait également intéressant, une ou deux fois pendant la saison de s'assurer du bon fonctionnement des enregistreurs auprès des équipes et de recueillir les ressentis des équipes vis-à-vis des éventuels problèmes qu'ils pourraient rencontrer avec l'utilisation des enregistreurs.

En 2020, il est souhaité que les frayères suivantes soient équipées :

- La frayère de Fournès sur le Gardon
- Les frayères 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

L'achat de deux nouveaux enregistreurs de type Tascam est envisagé pour l'année 2020. En effet, investir dans du matériel d'enregistrement spécifique pourrait permettre d'augmenter l'aire et la qualité de l'enregistrement.

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.

Un élément récurrent et indépendant des équipes de terrains perturbe régulièrement l'obtention d'enregistrements de bonne qualité : le vent. Ainsi, par temps de vent, disposer de plusieurs enregistreurs permettraient 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

Les résultats obtenus grâce aux réseaux de neurones développés en 2019 sont encourageants. Il est possible et nécessaire d'augmenter la performance de ces réseaux notamment en approfondissant le réseau CNN. Une piste d'évolution de ce réseau et de s'inspirer du script de l'équipe gagnant du DCASE challenge 2018 (détection de chant d'oiseaux) disponible en open-source.

De plus, plus on aura de données à fournir en entrée du réseau, plus celui-ci pourra apprendre et augmenter sa performance. Pour cela, les quelques fichiers marqués 2019 seront ajoutés au corpus l'an prochain et une demande sera faite auprès des autres associations migrateurs qui utilisent des enregistreurs lors de leur suivi de reproduction pour qu'elles nous fournissent quelques enregistrements si cela est possible. Ces fichiers ne sont pas marqués en interne de ces structures, un temps devra donc être dédié à leur marquage par un des techniciens de MRM.

Une autre solution à envisager est l'augmentation de données par voie artificielle en clonant des passages audios existants, cependant, une augmentation artificielle ne vaut pas de réelles données de terrain.

Un partenariat sera poursuivi avec l'école des Mines d'Alès pour l'amélioration du système actuel. Le changement de structure partenaire en 2020 s'explique par le fait que le chercheur intégré au projet (M. Patrice Guyot) a changé de poste en septembre 2019. M. Guyot, investit et suivant le projet de près est intéressé pour poursuivre l'élaboration de ce système automatique de détection des bulls. Un stagiaire de niveau M2 sera recruté pour poursuivre à son côté l'amélioration du système automatique.

Par la suite, la création d'une interface pour communiquer avec l'algorithme est à envisager de sorte que celui-ci soit manipulable par tous (importation du fichier audio / lecture des résultats etc ...)

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. 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 cet objectif apparaît de moins en moins atteignable. L'automatisation, ou en tout cas l'utilisation d'enregistreurs, pourrait permettre de suivre un nombre plus important de frayères et ainsi de mieux caractériser la reproduction et *in fine* la population d'Alose mais le travail de nuit et la présence humaine sur les frayères ne pourra pas être significativement réduite.

En reprenant l'exemple de l'Ardèche tel que proposé en 2016, cela permettrait de parvenir à un suivi quantitatif sur 4 frayères en réalisant le suivi manuel et en posant des enregistreurs selon le planning suivant (*Tableau 4*) :

Tableau 4 : Planning envisageable sur l'Ardèche

| | | N° nuit | | | | | | | | | |
|-------|------------------------|---------|---|---|---|---|---|-----|----|----|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | ... | 45 | 46 | |
| Sites | Salavas Ibie | X | | E | | X | | | X | | |
| | Petite Mer | E | | X | | E | | | E | | |
| | Sauze | | X | | E | | X | | | X | |
| | Saint-Martin d'Ardèche | | E | | X | | E | | | E | |

Le traitement des bandes audio représenterait alors un coût humain négligeable par rapport à la quantité d'information qui seront acquises.

Ce type de planning pourrait également être déployé sur le Vieux Rhône de Donzère ce qui pourrait permettre d'augmenter le temps de présence sur les frayères naturelles du vieux Rhône qui ont un fort potentiel d'accueil. Ceci permettrait également d'augmenter le taux d'observation des bulls sur la Cèze où plusieurs frayères sont actives sans qu'elles puissent être suivies uniquement par deux suiveurs. Un enregistreur pourra également être disposé par cette même équipe au port de l'Ardoise, site très actif au début des années 2000, qui n'est plus suivi depuis le début de l'actuel PLAGEPOMI pour des raisons d'équités de couverture spatiale.

Grace au système automatique acoustique de suivi de la reproduction des aloses, il sera possible de couvrir plus de frayères potentielles et donc de mieux comprendre la répartition des aloses feintes de Méditerranée sur l'ensemble du bassin et de par conséquent mieux estimer le stock de la population en place.

Ces informations permettront aussi de mieux interpréter les résultats des suivis de la reproduction entrepris à l'échelle de l'axe Rhône dans le cadre du programme de suivi du PLAGEPOMI 2016-2021.

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 permettraient 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 de fraies potentiels. Un tel déploiement permettrait de suivre plus de surface et de par conséquent mieux comprendre la répartition des aloses feintes de Méditerranée sur le bassin du Rhône et le stock de la population en place.

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

Par rapport aux années précédentes, le volume d'enregistrement a été significativement augmenté. Plus de 388 h ont en effet été récoltées et 82 % de ces enregistrements sont exploitables. L'efficacité du suivi est donc en progression. Une marche de manœuvre est possible en anticipant plusieurs soucis techniques récurrents. Des bulls ont pu être enregistrés cette année sur la Cèze, le Gardon et en moindre mesure l'Ardèche.

Les bases d'un nouvel algorithme ont cette année été posées d'après les méthodes de Deep-Learning (apprentissage profond automatique). Différents réseaux de neurones ont été établis cette année et montrent des résultats encourageants : un réseau de neurones multicouches qui a montré une accuracy allant jusqu'à 67 % et un réseau de neurones convolutifs qui a montré une accuracy allant jusqu'à 70 %. Ces premiers résultats sont encourageants et ce travail mérite d'être poursuivi. Bien que prometteur ce nouvel outil n'est pas assez performant pour être utilisé en routine. En 2020, le travail sera poursuivi sur la base du réseau de neurones convolutifs édité cette année. C'est en effet ce type de réseau de neurones qui comporte de meilleures capacités d'apprentissages. Une des clés de l'amélioration de ce réseau réside dans la quantité de données d'apprentissage disponible. Étant donné les difficultés de ces dernières années sur l'axe Rhône à obtenir des enregistrements contenant des bulls, un échange avec les autres associations migrateurs qui enregistrent les suivis de reproduction des aloses de la façade atlantique est à poursuivre.

La campagne 2019 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 sont donc un outil de suivi complémentaire potentiellement très pertinent si leur exploitation est optimisée.

L'automatisation tel que définie au début du projet doit donc 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. La calibration de l'algorithme de détection pourra se faire au fur et à mesure, en fonction du nombre de bulls captés.

Les résultats de ces investigations sont pris en compte dans le bilan à mi-parcours du PLAGEPOMI édité à la fin de l'année 2019 et notamment les réflexions sur l'adéquation du dispositif de suivi de l'Alose en Rhône-Méditerranée au regard de l'évolution récente du contexte migratoire (restauration de la continuité écologique), des techniques de suivis et des connaissances sur l'espèce.

Bibliographie

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://github.com/Cmefteh/Bull_detect

[3] <http://penseeartificielle.fr/focus-reseau-neurones-artificiels-perceptron-multicouche/> - consulté le 23 octobre 2019

[4] <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 - © MRM | 7 |
| Figure 2 : Cycle de vie de l'aloise feinte de méditerranée - MRM | 7 |
| Figure 3 : Bull d'Alose - © Gardin - MRM | 8 |
| Figure 4 : Localisation des sites de suivis de la reproduction de l'Alose sur l'axe Rhône | 9 |
| Figure 5 : Localisation des bulls de la saison 2019 sur la frayère de Fournès (source : FDAAPPMA 30) | 14 |
| Figure 6 : Spectrogramme d'un bull enregistré sur la Cèze en 2017 | 16 |
| Figure 7 : Schématisation d'un réseau multicouche (© penseeartificielle.fr) | 17 |
| Figure 8 : Schématisation d'un réseau CNN (© ensiwiki.ensimag.fr) | 19 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Sites suivis en 2019 et où la pose de l'enregistreur est conseillée suite aux résultats de l'étude de 2016 | 13 |
| Tableau 2 : Détails des enregistrements disponibles - saison 2019 | 13 |
| Tableau 3 : Matrice de confusion | 19 |
| Tableau 4 : Planning envisageable sur l'Ardèche | 22 |

Liste des annexes

| | |
|--|----|
| Annexe 1 : Alose feinte de méditerranée - Alosa agone, Scopoli, 1786 | 27 |
| Annexe 2 : Statut IUCN | 30 |
| Annexe 3 : Résultats du suivi de la reproduction 2019 | 33 |

Annexes

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

L'aloise présente sur le bassin Rhône Méditerranée Corse a changé de nom à la fin de l'année 2018. Plusieurs espèces du pourtour méditerranéen, dont l'aloise feinte du Rhône (*Alosa fallax Rhodanensis*, Roule 1924) ont été réunies, principalement grâce à des critères génétiques, mais également morphologiques et comportementaux.

La première proposition de réunification des espèces du pourtour méditerranéen a été publiée en 2002 (Bianco, 2002). D'après l'INPN¹ les anciennes dénominations suivantes sont maintenant synonyme d'*Alosa agone* :

- *Alosa africana* (Regan, 1916)
- *Alosa fallax nilotica* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1809)
- *Alosa fallax rhodanensis* (Roule, 1924)
- *Alosa fallax* (auct. non Lacépède, 1803)
- *Alosa finta gracilis* (Regan, 1916)
- *Alosa finta lacustris* (Fatio, 1890)
- *Alosa finta rhodanensis* (Roule, 1924)
- *Alosa finta* (Cuvier, 1829)
- *Alosa lacustris benacensis* (Barbieri, 1907)
- *Alosa lacustris ceresio-verbana* (Barbieri, 1907)
- *Alosa lacustris lariana* (Barbieri, 1907)
- *Alosa nilotica* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1809)
- *Clupea finta lacustris* (Fatio, 1890)
- *Clupea finta* (Cuvier, 1829)
- *Clupea nilotica* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1809)
- *Clupea nilotica* (Geoffroy-Saint-Hilaire, 1808)
- *Clupea sardinella* (Vallot, 1837)
- *Cyprinus agone* (Scopoli, 1786)

On retrouve dans cette liste des espèces qui avaient déjà par le passé changé de nom, nous pouvons citer l'exemple de la sous espèce qui était identifiée sur le bassin du Rhône : *Alosa finta rhodanensis* puis *Alosa fallax rhodanensis*. Il est intéressant de noter qu'en 1946, l'aloise du bassin du Rhône était nommée *Paralosa (nilotica) rhodanensis* (Gallois et al., 1946). La systématique est une science changeante.

Les critères qui ont permis de réunir l'ensemble de ses sous espèces sous un même nom sont multiples :

- **Génétiques** : depuis la proposition de Bianco en 2002 d'établir une seule espèce sur le bassin méditerranéen, de nombreuses études génétiques se sont succédées. A titre d'exemple les aloses du Rhône et de l'Èbre en Espagne partagent des mêmes haplotypes que l'on ne retrouve pas sur les aloses feintes Atlantique (Andree et al., 2011), des analyses génétiques menées sur de l'ADN mitochondrial (Cytochrome b) confirment qu'il y aurait bien qu'une seule espèce d'aloise en Italie malgré des morphes lacustres et migrantes (Chiesa et al., 2014).

¹ Site de l'INPN consulté le 18 décembre 2019

- **Morphologiques et comportementaux** : c'est d'ailleurs sous ces deux critères que Bianco, qui a proposé cette réunification, s'est en premier lieu basé en comparant des morphes lacustres et migrantes présentes en Italie et en retrouvant de nombreuses similitudes.
- Cette distinction se justifie également sous ces critères car l'aloise que l'on retrouve sur le bassin du Rhône est différente de l'Alose feinte atlantique : en effet, l'aloise feinte de Méditerranée est plus grande que sa congénère et remontait historiquement les cours d'eau bien plus haut (sur l'ensemble de la Saône sur l'axe Rhône) alors que l'aloise feinte atlantique colonise rarement plus en amont que les zones soumises à l'influence de la marée, (Baglinière et Elie, 2000).

La classification de l'Alose feinte de méditerranée est donc maintenant la suivante :

Domaine : Biota

Règne : Animalia Linnaeus, 1758

Sous-Règne : Eumetazoa Bütschli, 1910

Clade : Bilateria Haeckel, 1874

Infra-Règne : Deuterostomia Karl Grobben, 1908

Phylum : Chordata Haeckel, 1874

Sous-Phylum : Craniata Janvier, 1981

Infra-Phylum : Vertebrata

Super-Classe : Gnathostomata

Clade : Euteleostomi

Classe : Actinopterygii

Sous-Classe : Neopterygii Regan, 1923

Infra-Classe : Teleostei

Ordre : Clupeiformes

Famille : Clupeidae Cuvier, 1816

Genre : *Alosa* Linck, 1790

Espèce : *Alosa agone* (Scopoli, 1786)



Ce changement de classement systématique ne signifie pas qu'il faut abandonner un plan de gestion à l'échelle d'axe ou de bassin. Ce type de gestion pour les aloses est nécessaire notamment parce que la notion de homing chez cette espèce est encore débattue (Chiesa et al., 2014). De plus, bien qu'il existe des différences génétiques entre les anciennes sous espèces du bassin méditerranéen, elles sont infimes et seule une technologie pointue permet de les souligner. Il pourrait donc être pertinent d'apporter des éléments de réponses au flou concernant le homing et la dispersion des aloses en mer afin d'établir une gestion cohérente de cette espèce patrimoniale en mer et entre les différents pays. Cela viendrait compléter les gestions existantes sur chacun des bassins hydrographiques.

Andree, K., B., ANGEL LOPEZ, M., ALEXANDRINO, P., FARIA, R., GISBERT, E., (2011) A preliminary genetic analysis of a recently rediscovered population of the Twaite shad (*Alosa fallax*) in the Ebro river, Spain (Western Mediterranean), J. Appl. Ichthyol. 27 (Suppl. 3) 21-23

Bagliniere J.L. Elie P., 2000. Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.). Ecobiologie et variabilité des populations. CEMAGREF Ed., INRA Ed. 275 p.

Bianco P., G. (2002) The status of the Twaite Shad, *Alosa agone*, in Italy and the Western Balkans, P.S.Z.N. : Larine Ecology, 23, Supplement 1 (2002), 51-64

CHIESA, S., PICCINI, A., LUCENTINI, L., FILONZI, L., NONNIS MARZANO, F., (2014) Genetic data on endangered twaite shad (Clupeidae) assessed in landlocked and anadromous populations: one or more species?

Annexe 2 : Statut IUCN

En 2019, la nouvelle liste rouge des poissons d'eau douce de France est parue. Dans la liste rouge précédente, l'aloise feinte de Méditerranée (alors alose feinte du Rhône (*Alosa fallax rhodanensis*)) était classée avec l'aloise feinte (*Alosa fallax*). Elle était classée « Vulnérable » ce qui correspond à l'une des catégories « menacé » de l'IUCN. Aujourd'hui, l'Alose feinte de Méditerranée est classée « Quasi-menacée », ce qui ne correspond plus aux catégories considérées comme « Menacé » par l'IUCN (Figure 1).

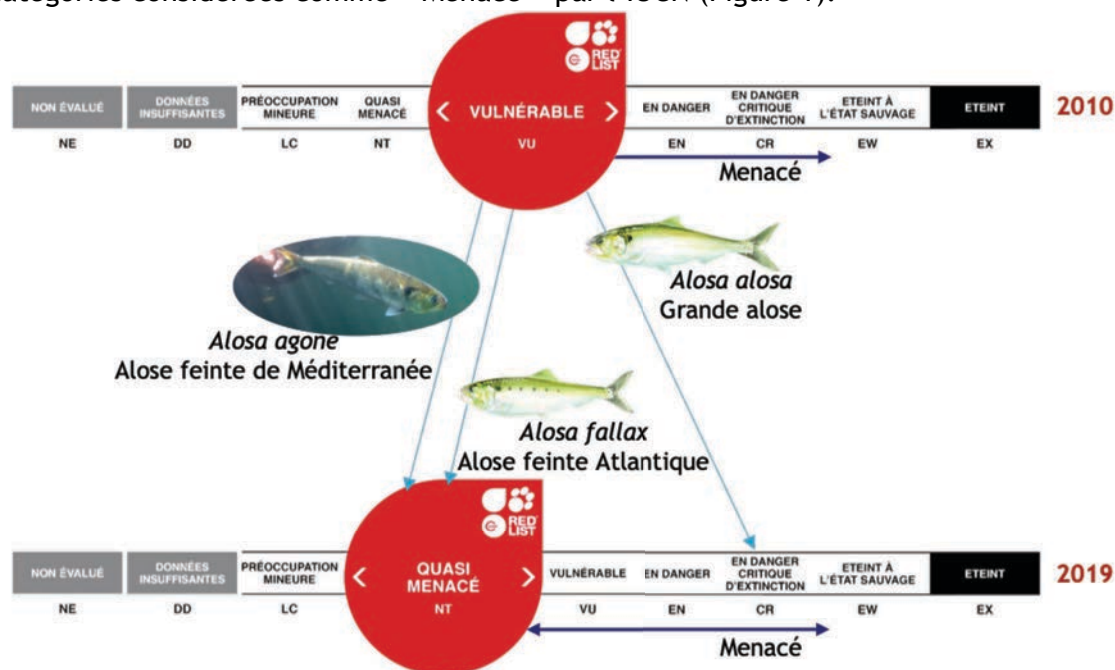


Figure 1 : Représentation des classements des aloses présentes en France sur la façade atlantique et méditerranéenne dans les listes rouges de 2010 et 2019.

L'aloise feinte de Méditerranée et l'aloise feinte Atlantique sont toutes deux passées de « Vulnérable » à « Quasi Menacé ». La grande alose quant à elle est passée de « Vulnérable » à « En danger critique d'extinction » soit la dernière case avant l'extinction à l'état sauvage.

Les catégories considérées comme « menacées » par l'IUCN sont : « Vulnérable » ; « En danger » et « En danger critique d'extinction ».

Ce classement s'élabore sous plusieurs critères et se veut homogène entre tous les taxons. La méthodologie se base sur l'évolution de la population sur 10 ans ou 3 générations selon la période la plus longue mais ne prend pas en compte les données plus anciennes ou historiques.

La méthodologie de la mise en place de la liste rouge souligne également qu'un taxon peut être transféré d'une menace élevée à une catégorie de menace inférieure si aucun des critères de la catégorie de menace élevée n'a été rempli depuis 5 ans au moins.

Dans le cas de notre alose, les données qui ont été considérées sont les données issues de l'étude de la pêche amateur à la ligne, suivi organisé et dont les résultats sont annuellement analysés par l'association Migrateurs Rhône Méditerranée depuis 1997.

Les données de pêche 2008-2018 (Figure 2) ne montrent pas de tendance que ce soit à la baisse ou à la hausse. Il convient également de rappeler que le descripteur utilisé est la « Capture Par Unité d'Effort » qui représente le nombre d'aloises capturé par heure. Les sites les plus fréquentés par les pêcheurs de notre réseau sont des sites « verrous » en aval d'ouvrage (Vallabrègues, Sauveterre sur le Rhône, Moussoulens sur l'Aude ...). Dans ces conditions, la CPUE qui est censée représenter une image de l'abondance de l'espèce n'est

pas exempte de biais. La pêche à la ligne ne capturant pas de façon exhaustive les poissons sur une surface donnée et étant fortement dépendante de nombreux paramètres (turbidité, agressivité, compétence du pêcheur, no kill ...), ainsi la CPUE est plutôt une image de la capturabilité (qui dépend entre autres de l'abondance).

Par exemple : l'effacement d'un ouvrage qui aurait une conséquence positive sur la population en rétablissant l'accès à de nouvelles frayères, pourrait se traduire par une baisse de la CPUE sur le secteur considéré, les poissons n'étant plus concentré sous l'ouvrage effacé.

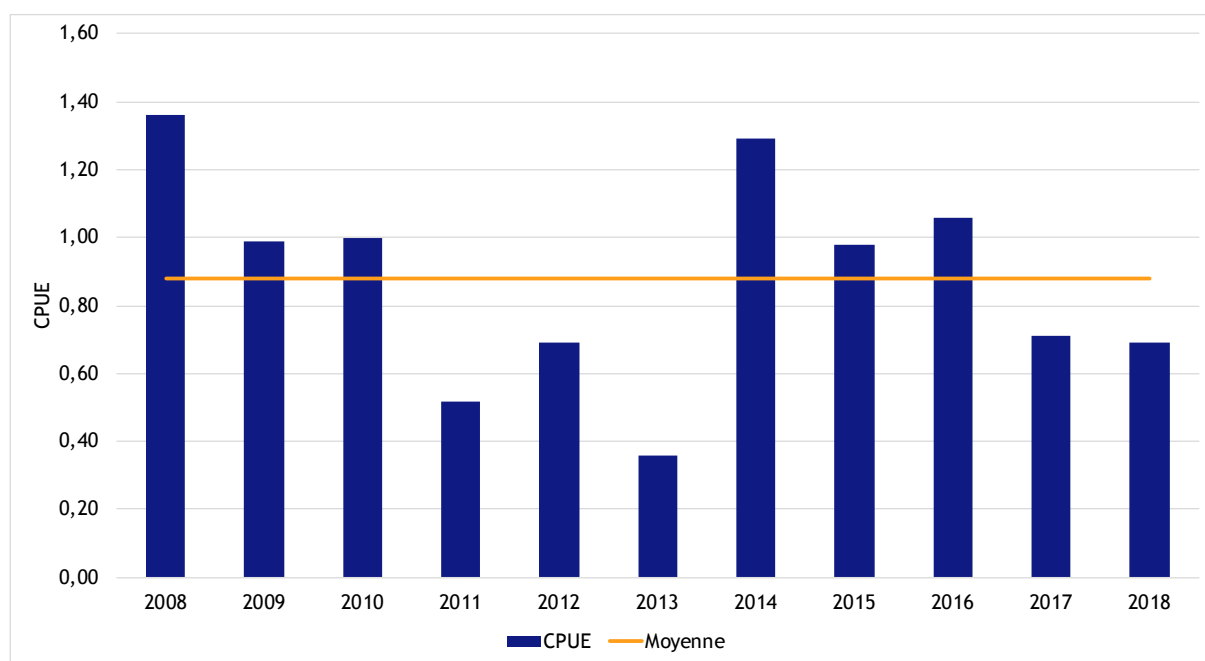


Figure 2 : CPUE Moyenne sur l'axe Rhône de 2005 à 2018 chaque année et moyenne interannuelle (0,88)

Les données issues du suivi bulls mis en place sur le bassin rhodanien depuis 1998 n'ont pas été prises en compte étant donné les avancées scientifiques récentes qui tendent à montrer que l'estimation du nombre de géniteurs élaboré par Cassou-Leins et Cassou-Leins (1981) ne serait pas fiable et par le fait que grâce aux efforts entrepris pour le rétablissement de la continuité écologique il est encore plus difficile qu'auparavant de suivre toutes les frayères de manière quantitative.

Bien que le suivi de reproduction des aloses contienne de nombreux biais, il convient tout de même de souligner les fortes chutes de bulls observés depuis la fin des années 2010 sur les sites suivis (Figure 3).

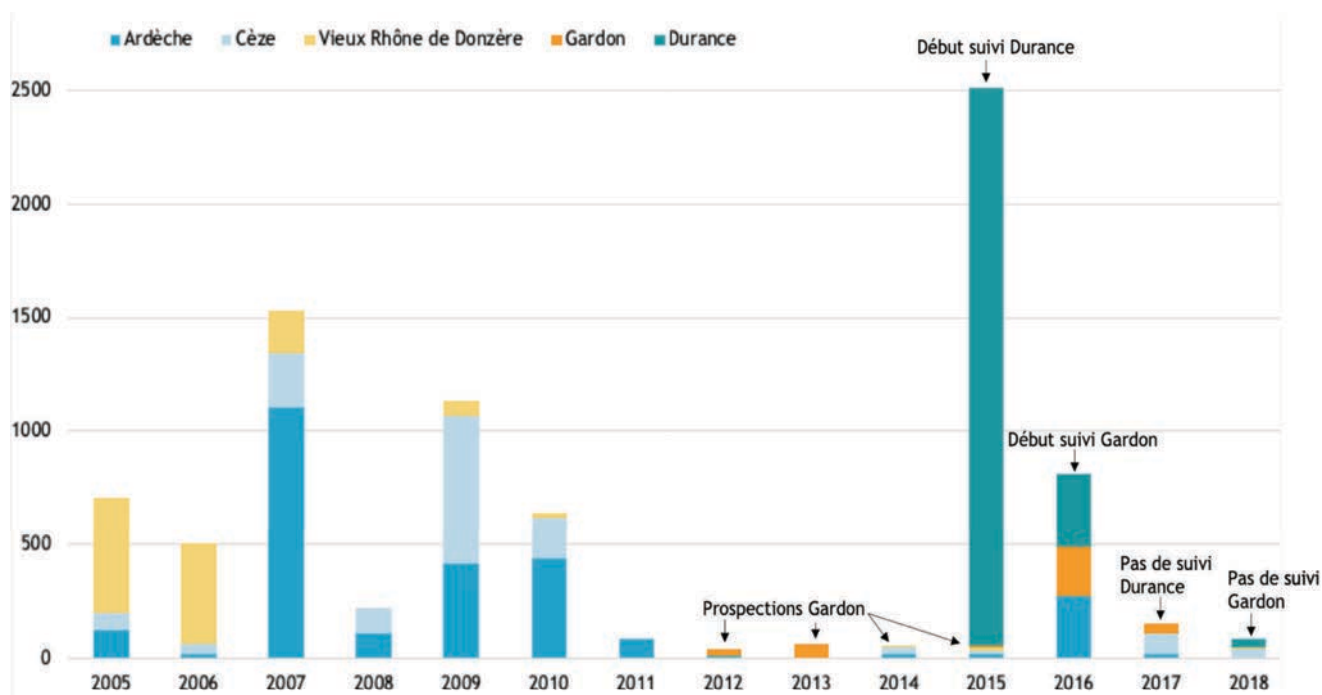


Figure 3 : Représentation interannuelle du nombre de bulls observés sur chaque site depuis 2005.

Sur le Gardon, des prospections « bulls » ont eu lieu de 2012 à 2015 dans le cadre de l'étude sur la recolonisation de cet axe, premier affluent rencontré par les migrateurs le long de l'axe Rhône. Ces prospections ont permis d'identifier la frayère d'alose la plus active pour les aloses. Celle-ci est désormais identifiée au PLAGEPOMI 2016-2021 pour un suivi quantitatif. Malheureusement, ce site n'a pas pu être suivi par faute de maîtrise d'ouvrage en 2018. Le suivi sur la Durance a débuté en 2015 avec une année qui désormais semble exceptionnelle où plus de 2000 bulls ont été comptabilisés. Le suivi n'a pas été porté en 2017 pour faute de maîtrise d'ouvrage. Ce graphique reflète la chute du nombre de bulls observés sur les sites situés les plus en amont depuis 2010 (Vieux Rhône de Donzère, Ardèche, et

Ces remarques sur ces suivis portés par MRM depuis plus de 20 ans soulignent le fait que notre association considère que le déclassement de l'alose de « Vulnérable » à « Quasi-menacé » ne correspond pas à la réalité de terrain et aux données issues des suivis. Il semble important que les experts de l'IUCN se réfèrent aux experts régionaux pour statuer sur l'état de la population d'une espèce dont ils ont la gestion.

De plus, nous trouvons très regrettable que l'évolution par rapport aux données historiques ne soit pas considérée comme l'un des critères de classement dans la liste rouge. Par exemple, dans le cas des bulls d'aloses, depuis 2011, le nombre d'observation est stable à une valeur qui n'en est pas moins médiocre.

Annexe 3 : Résultats du suivi de la reproduction 2019

| | Gardon | Durance | Cèze | Ardèche | | | Rhône | |
|--|------------|------------|------------|----------------|--------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| | Fournès | Seuil 68 | Chusclan | Salavas – Ibie | Prospections amont | Prospections aval | Barrage Donzère | Prospections RCC |
| Première nuit de suivi | 15/04/2019 | 24/04/2019 | 13/05/2019 | 02/05/2019 | 02/05/2019 | 03/05/2019 | 02/05/2019 | 03/05/2019 |
| Dernière nuit de suivi | 14/06/2019 | 25/06/2019 | 28/06/2019 | 15/06/2019 | 17/06/2019 | 16/06/2019 | 21/06/2019 | 18/06/2019 |
| Période de suivi (j.) | 60 | 62 | 46 | 44 | 33 | 44 | 50 | 46 |
| Nombre de nuits de suivi | 25 | 26 | 23 | 21 | 10 | 23 | 23 | 23 |
| Nombre de nuits de fraie | 9 | 16 | 16 | 0 | 0 | 4 | 4 | 1 |
| en % | 36% | 62% | 70% | - | - | 17% | 17% | 4% |
| Nombre max de bulls | 40 | 20 | 32 | - | - | 65 | 3 | 1 |
| Première nuit d'activité | 19/04/2019 | 02/05/2019 | 15/05/2019 | - | - | 25/05/2019 | 12/05/2019 | 12/06/2019 |
| Dernière nuit d'activité | 02/06/2019 | 19/06/2019 | 16/06/2019 | - | - | 16/06/2019 | 09/06/2019 | 12/06/2019 |
| Période d'activité (j.) | 45 | 49 | 32 | - | - | 22 | 28 | 1 |
| Nombre de bulls par nuit avec activité | 22 | 10 | 8,69 | - | - | 18,00 | 2 | 1 |
| Nombre de bulls par nuit (période) | 6,53 | 5,13 | 6,04 | - | - | - | 0,28 | 0,04 |
| Nombre de bulls (brut) | 196 | 159 | 139 | 0 | 0 | 72 | 7 | 1 |
| Nombre de bulls extrapolés | 392 | 318 | 278 | n.a. | n.a. | 144 | n.a. | n.a. |
| Nb aloses min | 112 | 91 | 79 | n.a. | n.a. | 41 | n.a. | n.a. |
| Nb aloses max | 156,8 | 127,2 | 111,2 | n.a. | n.a. | 57,6 | n.a. | n.a. |

n.a. : formule non applicable

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

