

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

2018-N° 4/14



ELABORATION D'UN SYSTEME AUTOMATIQUE DE SUIVI DE LA REPRODUCTION DES ALOSES

Campagne d'études 2018



Version finale : mai 2019

MUTEL M., ALIX F., CAMPTON P.

Étude commandée par

Association Migrateurs Rhône-Méditerranée (MRM)

Maîtrise d'ouvrage des suivis de terrain

Fédérations de Pêche du Vaucluse (FDAAPPMA 84) – Durance

MRM - Ceze

Fédération de Pêche de l'Ardèche (FDAAPPMA 07) – Ardèche

MRM – Vieux Rhône de Donzère

Opérateurs terrain des suivis

Fédérations de Pêche du Vaucluse et des Bouches du Rhône (FDAAPPMA 84 et 13) – Durance

GECO Ingénierie – Cèze

Fédération de Pêche de l'Ardèche (FDAAPPMA 07) – Ardèche

Association ECATE (Études, Conseils, Aide par le Travail dans l'Environnement) – Vieux Rhône de Donzère

Association MRM- tous sites

Analyses et rédaction du rapport

MUTEL Marius, Association MRM

ALIX Fanny, Association MRM

Relecture / corrections

ALIX Fanny, Association Migrateurs Rhône-Méditerranée

CAMPTON Pierre, Association Migrateurs Rhône-Méditerranée

Illustration de couverture :

Dispositif d'enregistrement sur la frayère de Saint-Martin d'Ardèche (© Mutel - MRM 2016)

Référence à citer

MUTEL M., ALIX F., CAMPTON P. 2019. Elaboration d'un système automatique de suivi de la reproduction des aloses - Campagne d'études 2018. Association MRM, 15 pp.

REMERCIEMENTS

Partenaires financiers

- Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse
- Fédération Nationale de la Pêche en France (FNPF)
- Membres de l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée (MRM) :
 - 21 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 Savoie, de Haute-Savoie, de Haute-Saône, de 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),
- Compagnie Nationale du Rhône (CNR) dans le cadre de ses missions d'intérêts général
- Electricité de France (EDF)
- Région Provence-Alpes-Côte d'Azur
- Régions Auvergne-Rhône-Alpes, Occitanie Pyrénées Méditerranée, Sud PACA
- Départements des Alpes-Maritimes, des Bouches-du-Rhône, de la Drôme, du Gard et du Vaucluse
- DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, délégation de bassin Rhône-Méditerranée
- Mairie d'Arles

Partenaires techniques

- FDAAPPMA 07, 30 et 84
- GECO Ingénierie
- Association ECATE

RESUME

L'Association MRM a initié en 2004 un projet d'automatisation du suivi des frayères d'aloses utilisant des enregistrements acoustiques. L'Alose feinte du Rhône se reproduisant d'une manière particulière, les accouplements nocturnes très bruyants dénommés « bulls » (jusqu'à 50 dB) peuvent être exploités à partir d'enregistrements acoustiques. Le but d'une telle expérimentation est d'obtenir *in fine* un outil qui permettrait d'optimiser les moyens consacrés à ce suivi, mais également la possibilité d'équiper aisément des sites supplémentaires pour le suivi ou le repérage avec une efficacité accrue du comptage, notamment en termes de reproductibilité, de fiabilité et de couverture exhaustive de la période de suivi.

Depuis 2015, il est démontré que l'outil est efficace pour détecter le nombre de bulls sur un enregistrement puisqu'environ 80% des bulls sont détectés. Des interrogations persistent quant au protocole à utiliser pour détecter efficacement les bulls sur plusieurs nuits pour un même site.

Ainsi depuis 2016, l'objectif est de disposer de nombreux enregistrements avec des bulls d'aloses. Or, l'activité de reproduction sur les sites favorables à l'enregistrement des bulls a été très faible ces dernières années. L'un des enjeux en 2018 consistait à poursuivre l'acquisition de données audio en ce sens.

En 2018, le volume d'enregistrement a encore augmenté, passant de 216h à près de 288h (Vieux Rhône de Donzère ; Ardèche et Cèze), mais seulement 4 bulls ont été enregistrés sur la Cèze. La méthode de calibration de l'algorithme qui nécessite de nombreux bulls n'a donc pas été utilisée. Les enregistrements serviront toutefois ultérieurement lorsque nous disposerons d'un volume suffisant de données.

On remarque depuis plusieurs années la difficulté à identifier les sites de suivi de la reproduction sur le bassin. 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. La calibration de l'algorithme de détection pourra se faire au fur et à mesure, en fonction des bulls captés.

Il est nécessaire de se rapprocher d'organismes scientifiques pour évaluer techniquement l'outil actuel et le confronter aux nouvelles technologies. En particulier les systèmes de neurones profond (ou *deep learning*) qui permettent un apprentissage par l'ordinateur. Un stage co encadré par un chercheur de l'Institut de Recherche Informatique de l'université de Toulouse est prévu en 2019. Il conviendra aussi d'impliquer si possible les autres associations qui réalisent des suivis de la reproduction, pour avoir leur retour d'expérience sur l'acquisition d'enregistrements et leur attente par rapport à l'automatisation.

Le suivi de la reproduction de l'Alose est un sujet complexe et il convient d'utiliser au mieux les différentes techniques. Ces suivis visent à évaluer l'évolution de la population d'Alose pour mettre en place des mesures de gestion. L'automatisation partielle du suivi est un outil parmi d'autres (vidéocomptage, ADN environnemental, pêcheerie...) qu'il faudra envisager pour optimiser si besoin le dispositif de suivi de la population d'aloses du PLAGEPOMI Rhône Méditerranée.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
1 RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ETUDE ET DES PRECEDENTES CAMPAGNES	2
1.1 L'ALOSE FEINTE DU RHONE	2
1.2 SUIVI DE LA REPRODUCTION DE L'ALOSE	3
1.3 GENESE DES TRAVAUX D'AUTOMATISATION DU SUIVI DE LA REPRODUCTION	4
2 OBJECTIFS DE LA CAMPAGNE 2018	5
3 PROTOCOLE	5
3.1 ACQUISITION DES ENREGISTREMENTS	5
3.1.1 MATERIEL	5
3.1.2 CHOIX DES SITES ET PROTOCOLE D'ACQUISITION	6
3.2 ANALYSES PAR L'ALGORITHME	6
4 RESULTATS DE LA CAMPAGNE 2018	9
5 PERSPECTIVES D'UTILISATION ET TRAVAUX COMPLEMENTAIRES	10
5.1 CAMPAGNE 2019	10
5.2 PERSPECTIVES A MOYEN TERME	12
5.3 TRAVAUX COMPLEMENTAIRES	13
CONCLUSION	14
BIBLIOGRAPHIE	15
LISTE DES TABLEAUX	15
LISTE DES FIGURES	15

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 (front de colonisation, franchissement d'ouvrages). Ce suivi est actuellement réalisé par des équipes qui comptent manuellement (auditif et visuel) les actes de reproduction sur certaines frayères.

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 porté sur l'obtention d'un système autonome sur dictaphone qui est fonctionnel depuis 2015. L'algorithme permet d'analyser les enregistrements sur un ordinateur au bureau pour évaluer l'efficacité de détection. Cette dernière est satisfaisante sur une nuit d'enregistrement avec près de 80% des bulls détecté (Diep *et al.*, 2016).

Ainsi depuis 2016, l'objectif est de parvenir à utiliser l'algorithme en routine pour estimer le nombre de bulls sur une saison. Une méthode a été avancée à partir de l'analyse des enregistrements de LOGRAMI en 2016. Elle doit être validée sur les sites du bassin Rhône-Méditerranée.

La campagne 2016 avait permis une hiérarchisation des sites les plus favorables pour l'automatisation du suivi.

La première partie de ce rapport rappelle le contexte du projet d'automatisation du suivi de la reproduction de l'Alose et synthétise les précédentes campagnes et les résultats obtenus.

La seconde partie, présente les résultats de la campagne 2018. Les enregistrements obtenus sur les sites de suivi du bassin du Rhône sont détaillés.

Pour finir, des propositions d'utilisation du dispositif acoustique et de l'algorithme de détection pour la campagne 2019 sont proposées, à partir du retour d'expérience de cette année. Des perspectives à moyen terme sont avancées, en lien avec le suivi de la reproduction sur le bassin Rhône - Méditerranée.

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

1.1 L'Alose feinte du Rhône

L'Alose feinte du Rhône - *Alosa fallax rhodanensis* (Figure 1) est l'espèce migratrice emblématique du bassin Rhône-Méditerranée. La femelle peut mesurer jusqu'à 60 cm tandis que le mâle dépasse rarement 30 cm.



Figure 1 : Alose feinte du Rhône (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). Ci-dessous le cycle de vie schématisé de l'Alose (Figure 2).

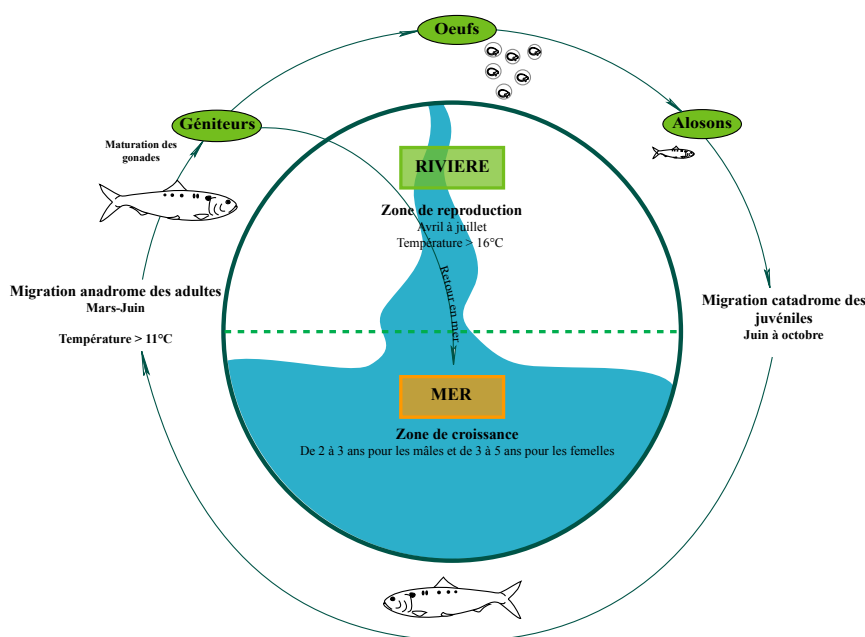


Figure 2 : Cycle de vie de l'Alose feinte du Rhône (MRM)

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 : Acte de reproduction ou « bull » d'Alose (Gardin - ©MRM)

1.2 Suivi de la reproduction de l'Alose

Le suivi quantitatif de la reproduction de l'Alose sur quelques frayères judicieusement choisies sur le bassin du Rhône est un moyen indirect de suivi des actions dans le cadre du Plan de Gestion des Poissons Migrateurs (PLAGEPOMI 2016 - 2021). En effet, il permet la concentration des moyens humains sur quelques zones seulement. De plus, il a pour résultat l'obtention d'un indice quantitatif de tendance qui permet de mesurer l'efficacité des aménagements réalisés et in fine, l'évolution des populations d'aloses (Baglinière et Elie, 2000; DREAL Rhône-Alpes, 2016; Mutel *et al.*, 2017a).

Toutefois, les moyens humains sont parfois insuffisants pour suivre des frayères de grande taille ou des zones présentant plusieurs frayères, et le coût du suivi quantitatif manuel reste élevé. Ainsi, une étude de faisabilité de l'utilisation de moyens automatiques d'acquisition et de traitement des données d'activité de reproduction de l'Alose a été engagée par l'Association MRM, avec la collaboration de l'Ecole des Mines d'Alès (EMA) et de l'Association DIVULCO pour le développement du logiciel et de l'interface audio et l'intégration du matériel.

L'association MRM a donc lancé à partir de 2004 le développement d'un système de comptage automatique de bulls par exploitation sonore (Diep *et al.*, 2013, 2016).

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

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

- Diminution ou arrêt des suivis nocturnes et une réduction du budget annuel consacré au suivi
- Possibilité de suivre plusieurs sites sur une même nuit
- Diminution du temps d'analyse des enregistrements en bureau

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 réponse à la problématique. 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 (Diep et Al., 2015)

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 - CMCS) 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 réglages 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 avait été de hiérarchiser le potentiel d'automatisation du suivi sur l'ensemble des sites de suivi.

2 Objectifs de la campagne 2018

A partir du retour d'expérience des campagnes précédentes, la campagne 2018 a pour objectif 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.

- affiner le protocole d'analyse par l'algorithme et l'estimation du nombre de bulls sur une saison à partir des enregistrements.

- identifier les pistes d'améliorations et les personnes pouvant réaliser un accompagnement scientifique (recherche et développement) en remplacement de l'Ecole des Mines. Un partenariat en ce sens doit permettre de réaliser un bilan technique du système actuel par rapports aux objectifs initiaux et d'élaborer une méthode d'utilisation validée scientifiquement pour une utilisation régulière lors des suivis de la reproduction.

3 Protocole

3.1 Acquisition des enregistrements

3.1.1 Matériel

La station est composée d'un appareil enregistreur de type Smartphone, muni d'un capteur constitué d'un microphone et d'un réflecteur parabolique, placé dans une boîte étanche (Figure 4).

Jusqu'en 2017, l'application Allo-Z installée sur le Smartphone sous la forme d'une application permettait l'acquisition d'enregistrements, la gestion à distance et la détection des bulls (Mutel *et al.*, 2017b). Toutefois, en raison de multiples défauts techniques, le dispositif smartphone batterie / préampli a été abandonné au profit de simples dictaphones (Olympus WS-853).

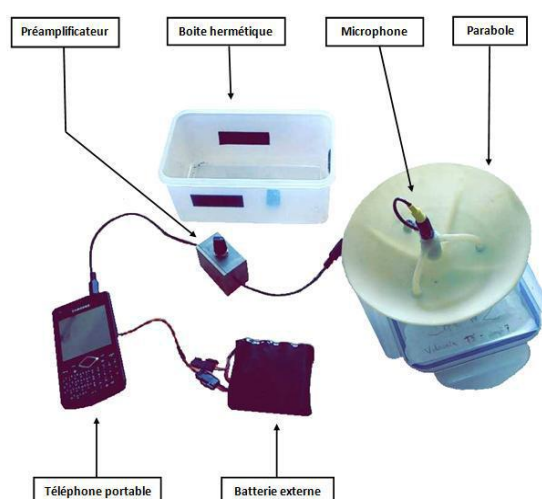


Figure 4 : Eléments de la station d'enregistrement

Le dictaphone est donc directement branché sur le micro. Il y a ainsi beaucoup moins de risques de faux contact puisqu'il n'y a qu'une fiche à vérifier et que le dictaphone est attaché à une paroi de la boîte pour éviter les mouvements lors de la pose du dispositif.

3.1.2 Choix des sites et protocole d'acquisition

Chaque équipe de suivi de la reproduction est équipée d'une ou deux stations 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 démontrés par MRM aux équipes terrain lors d'une visite sur site préalable au lancement du suivi de la reproduction. Les sites suivants (Tableau 1) 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 : Sites de suivis et intérêt estimé en 2016 pour un suivi par enregistrement

Cours d'eau	Gardon	Cèze	Ardèche		Vieux Rhône de Donzère			Vidourle
Site	Fournès	Chusclan	Sauze	Salavas	Barrage	Fraou	La grange écrasée	SLA
Suivi manuel	Quantitatif	Quantitatif	Prospections	Quantitatif	Quantitatif	Prospections	Prospections	Quantitatif
Résultat 2016 favorable à un enregistrement	OUI	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui

3.2 Analyses par l'algorithme

La méthode est celle développée en 2016 (Mutel *et al.*, 2017b). Pour rappel, elle se compose de 3 étapes principales :

Etape n° 1 - Réécoute des enregistrements et marquage des bulls avec le logiciel Audacity. Il est présenté dans un premier temps un bilan des enregistrements obtenus selon les sites. En particulier, est évaluée la qualité des enregistrements obtenus notamment le rapport bruit de fond/signal et les bruits parasites comme la présence de vent, de chants de crapauds/grenouilles à proximité...).

Sur chaque enregistrement qui apparaît approprié à l'analyse par l'Algorithme, les bulls présents sur l'enregistrement sont marqués (heure de début et fin). Cette phase est indispensable pour identifier précisément les bulls puisqu'il est possible que l'enregistrement identifie plus (ou moins) de bulls que les suiveurs, la surface de la frayère captée par l'enregistreur pouvant différer de ce qui est observé par les suiveurs.

Etape n° 2 - Détermination du jeu de paramètres de détection optimal pour chacun des enregistrements. En fonction de la qualité des enregistrements (selon les sites) et du nombre de nuits avec des bulls, il convient ensuite de rechercher les coefficients de détection qui permettent la meilleure estimation du nombre de bulls présents sur l'enregistrement.

La campagne 2016 avait démontré qu'en faisant varier linéairement les différents coefficients, une efficacité de l'ordre de 0,7 à 0,8 pouvait être approchée relativement rapidement.

Etape n° 3 - Application des jeux de paramètres moyens : les jeux de coefficients qui permettent la meilleure détection sont appliqués à l'ensemble des enregistrements. Ceci permet une estimation du nombre de bulls sur plusieurs nuits d'enregistrements (nombre min et max).

Cette méthode, relativement chronophage nécessite un nombre d'enregistrement minimum d'environ 10 nuits avec des bulls pour être représentative.

Pour plus de détail sur le fonctionnement de l'algorithme, les rapports d'études 2015 et 2016 expliquent plus précisément le rôle de ces coefficients et l'architecture de l'algorithme (Diep *et al.*, 2016; Mutel *et al.*, 2017b). Le principe de détection de l'algorithme repose sur le choix des paramètres de détection suivants, qui sont analysés chronologiquement par l'algorithme (figure 5) :

Rsb : le rapport signal/bruit traduit l'amplitude du signal par rapport au bruit de fond. Ainsi, un signal 2 fois plus intense que le bruit de fond aura un $Rsb=3$ dB.

Rp : le rayon de proximité. Il s'agit ici de réaliser une comparaison du signal détecté par rapport à la signature sonore de référence d'un bull. C'est en quelque sorte une incertitude sur la valeur de spectre de référence.

Sd : le seuil de détection. C'est tout simplement une valeur d'intensité à partir de laquelle la détection s'enclenche. Si tous les tests précédents ont été passés et que plusieurs blocs dépassent cette valeur, alors ils sont comptés comme bulls.

La durée minimale et maximale d'un bull peut aussi être ajustée. Elle est fixée par défaut entre 2 et 8 secondes.

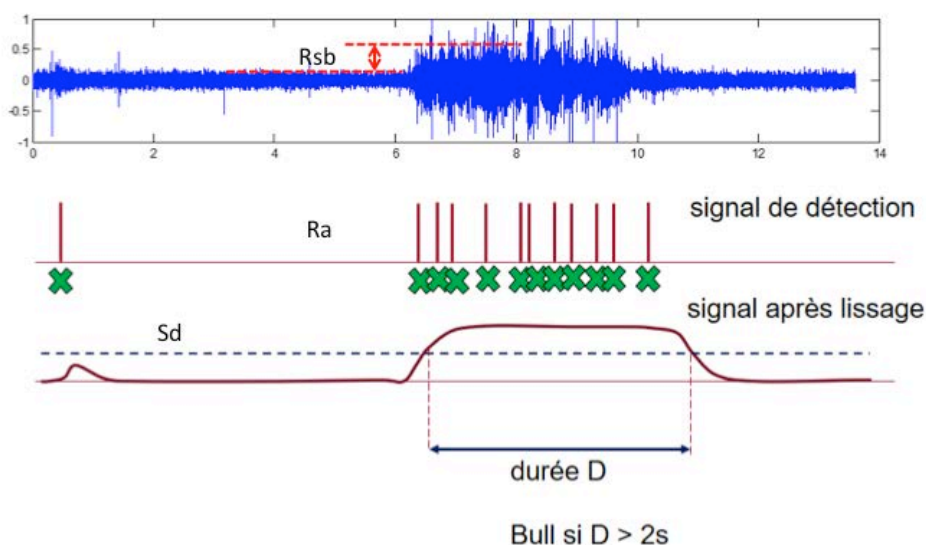


Figure 5 : Rôle des différents paramètres de détections de l'Algorithme (D'après Mutel et Al., 2017b)

Pour rappel, le marquage des fichiers audio permet d'identifier les vrais bulls présents sur l'enregistrement. L'efficacité est calculée selon si les bulls détectés par l'algorithme sont effectivement des vrais bulls identifiés comme tel (Vrai Positif) ou bien des fausses détections (Faux Positifs). La comparaison se fait à l'aide d'une matrice de confusion (Tableau 2).

Tableau 2 : Matrice de confusion

		Comptage automatique	
		Bull	Non Bull
Comptage manuel (après écoute de l'enregistrement)	Bull	VP (Vrais Positifs)	FN (Faux Négatifs)
	Non Bull	FP (Faux Positifs)	VN (Vrais Négatifs)

- un vrai positif est un vrai bull détecté par l'algorithme
- un faux positif est un « bruit » considéré comme un bull par l'algorithme alors que ce n'en est pas un
- un vrai négatif est un « bruit » qui n'est pas assimilé comme un bull par l'algorithme
- un faux négatif est un vrai bull qui n'est pas détecté par l'algorithme

Différents indices sont utilisés à l'étape n°2 pour déterminer les jeux de paramètres les plus efficaces par l'algorithme :

- La précision, ou proportion de vrais bulls détectés parmi toutes les détections :

$$Pr = \frac{VP}{VP+FP}$$

- Le rappel ou sensibilité, ou proportion de vrais bulls détectés parmi tous les vrais bulls :

$$Ra = \frac{VP}{VP+FN}$$

Plutôt que d'utiliser le taux d'erreur, qui perd de sa signification lorsque peu de bulls sont présents, nous utiliserons également la "F-mesure", moyenne harmonique des deux indicateurs ci-dessus qui traduit une notion d'efficacité. La moyenne harmonique est classiquement utilisée lorsque l'on veut diminuer le poids des valeurs extrêmes. Une simple moyenne arithmétique ne serait pas représentative de l'efficacité :

$$Fm = 2 \cdot \frac{Pr \cdot Ra}{Pr + Ra} = \frac{2 VP}{2 VP + FN + FP}$$

Par la suite, lors de la recherche des jeux de paramètres moyens à l'étape n°3, ces indices ne sont plus pertinents. En effet, on recherche une estimation du nombre de bulls présents sur l'enregistrement et il n'est plus possible de faire la différence entre VP, FP et FN.

L'algorithme nous donne un nombre de bulls détectés qui correspond à VP + FP. Nous connaissons seulement le nombre de bulls présents sur l'enregistrement qui correspond à VP + FN. On peut alors estimer une incertitude I :

$$I = \frac{VP + FP}{VP + FN} = \frac{Pr}{Ra} = \frac{N_{Bulls} \text{ détectés par l'algorithme}}{N_{Bulls} \text{ sur l'enregistrement}}$$

Pour une utilisation en routine, on recherche le nombre de bulls présents sur l'enregistrement. Connaissant l'incertitude I , le nombre de bulls présents peut donc être estimé par :

N_{bulls} sur l'enregistrement est compris entre :

N_{bulls} détectés par l'algorithme $\times I$

Et N_{bulls} détectés par l'algorithme $\times 1/I$

4 Résultats de la campagne 2018

Au total, près de 180h d'enregistrements ont été obtenues cette année sur une dizaine de sites différents.

Sur l'Ardèche, l'enregistreur est posé en complément du suivi manuel sur les frayères de Paravalos, Gaud, Petite Mer, Salavas, Saint Martin et Sauze. Près de 180 heures de suivi ont été enregistrées, dont 116 h exploitables. Aucun bull n'a été observé lors de la saison que ce soit de manière manuelle ou *via* les enregistrements.

Les enregistrements sur la Cèze sont une fois de plus les plus intéressants puisqu'il s'agit du site le plus actif. L'enregistreur est posé sur les frayères naturelles en aval du seuil de Chusclan. 81h ont été enregistrées dont 75h se sont révélées exploitables. 11 nuits d'activités de reproduction de l'aloise ont été observées. Seuls deux enregistrements contiennent des bulls (4 bulls ont été enregistrés). Les enregistrements des autres nuits ne sont pas exploitables, soit à cause de problèmes techniques (mauvais branchement, panne de batterie sur 3 nuits), soit parce que le dispositif a été posé trop loin de la zone d'activité ou alors à cause de l'environnement sonore (6 nuits : bruit de fond, rafales de vent etc...).

En effet, sur la Cèze, sur environ 500m, 5 frayères différentes sont prospectées. Sur l'une d'elle, *le seuil de Chusclan*, l'enregistreur n'est jamais posé car le bruit de fond lié à la chute d'eau du seuil est trop important. Sur les autres frayères, les suiveurs ont posé l'enregistreur et ont été prospecter manuellement les autres frayères.

Sur le Vieux Rhône de Donzère, l'enregistreur est posé sur les frayères naturelles (Fraou, Grange Ecrasée) : 22h57 d'enregistrements sont exploitables sur près de 34h enregistrées, soit 68% des enregistrements. Des problèmes techniques expliquent cette faible proportion (mauvais branchement, panne de batterie), mais aussi un bruit de fond trop élevé (saturation du micro par le vent notamment). 8 bulls ont été comptés manuellement sur la frayère du Fraou mais ils n'ont malheureusement pas été enregistrés.

Ainsi, 2 enregistrements seulement sont exploitables sur la Cèze. D'autres enregistrements sont exploitables sur les autres sites mais aucun n'a capté de bulls. Leur analyse présente donc peu d'intérêt à ce stade.

Le suivi 2018 a une nouvelle fois souligné la difficulté à identifier les sites actifs de reproduction. C'est une des limites du suivi de la reproduction de l'Alose. La pose des enregistreurs sur la Cèze a toutefois permis un meilleur suivi que les années précédentes puisque les suiveurs ont pu prospecter 4 frayères potentielles situées à quelques centaines de mètres les unes des autres et démontrer une reproduction importante sur ce site (le plus actif parmi les sites suivis du bassin du Rhône).

La méthode développée en 2016 pour déterminer un jeu de coefficient moyen n'a pas pu être validée sur la Cèze cette année en raison du trop faible nombre d'enregistrements avec bulls.

5 Perspectives d'utilisation et travaux complémentaires

5.1 Campagne 2019

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 d'enregistrer les bulls observés. Étant donné que la phase de perfectionnement de l'algorithme est en cours, 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.

La résolution des problèmes techniques tels que des mauvais branchements et pannes de batteries pourrait augmenter significativement le nombre d'heures enregistrées. Une attention particulière sera portée à ce que les explications du fonctionnement du dispositif soient bien comprises par les équipes de suiveurs qui changent d'une année à l'autre selon les sites.

En 2019, les mêmes frayères seront équipées :

- La frayère de Fournès sur le Gardon
- Les frayères Chusclan sur la Cèze
- La frayère de Salavas-Ibie et de Sauze, voire petite mer et la Piboulette sur l'Ardèche
- Les frayères naturelles du Vieux Rhône de Donzère et la frayère du barrage lorsque le débit réservé est déversé.
- La frayère de Saint-Laurent d'Aigouze.

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.

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 :

Sites/ N° nuit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	45	46
Salavas-Ibie	X		E		X		E		X		X	
Petite-Mer	E		X		E		X		E		E	
Sauze		X		E		X		E				X
Piboulette		E		X		E		X				E

X: enregistreur + suivi manuel

E : enregistreur seul

En réécoutant les nuits enregistrées, soit 46 nuits, cela représenterait selon les prévisions hautes un effort supplémentaire de 92 heures soit 11,5 jours/homme pour un suivi quantitatif de 4 sites. Ceci en réalisant un suivi une nuit sur deux sur chacun des sites, en accord avec le protocole du suivi du PLAGEPOMI 2016-2021. Par rapport aux 92 j/h déjà mobilisés, le surcoût n'est pas trop important. Surtout s'il permet de caractériser correctement la population d'Alose sur l'Ardèche, qui est un affluent majeur pour la préservation de l'espèce sur le bassin.

En utilisant l'algorithme, il avait été estimé un nombre de 15 à 21 jours homme pour parvenir à un suivi quantitatif sur les quatre frayères soit un surcoût de 25%(Mutel *et al.*, 2017b). L'utilisation de l'algorithme pourra être envisagée en fonction du nombre d'enregistrement avec des bulls obtenus.

De la même manière, sur le Vieux Rhône de Donzère, le planning suivant peut être envisagé pour augmenter les chances d'observer de la reproduction sur ces sites où les aloses sont peu abondantes :

Sites/ N° nuit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	45	46
Barrage Donzère	X		X		X		X		X		X	
Fraou		X	E	E		X	E	E				X
Grange écrasée	E	E		X	E	E		X	E		E	E

X: enregistreur + suivi manuel

E : enregistreur seul

Le surcoût serait là aussi de 11,5 j/h supplémentaires pour suivre à une fréquence plus importante qu'un jour sur deux les frayères naturelles du Vieux-Rhône de Donzère. En alternant seulement une nuit sur deux entre les deux frayères naturelles, le temps nécessaire serait divisé par deux.

5.2 Perspectives à moyen terme

Depuis plusieurs années maintenant, il a été démontré que l'algorithme permet effectivement une bonne détection du nombre de bulls sur un enregistrement. Des recherches ont été menées sur des travaux similaires d'automatisation de suivi biologiques et à notre connaissance, une seule application est vraiment fonctionnelle à ce jour. Il s'agit de la détection d'une certaine espèce de cigale (Zilli *et al.*, 2014), qui permet d'obtenir une F-mesure de l'ordre de 0,82.

Nous obtenons une telle efficacité sur certains enregistrements ce qui laisse penser que le fonctionnement de l'algorithme est satisfaisant.

Ainsi, la difficulté pour parvenir à l'automatisation du suivi est liée à l'obtention des enregistrements réguliers de la reproduction. En effet, les suivis manuels ont depuis maintenant 6 ans de grandes difficultés à identifier les sites de reproduction active, en lien avec les projets de restauration de la continuité et donc d'augmentation de l'aire de répartition (Mutel *et al.*, 2017b). Ceci se traduit donc inévitablement par des difficultés encore plus grandes à évaluer l'intérêt de l'utilisation de l'acoustique pour suivre la reproduction de l'Alose.

Que cela soit sur le bassin du Rhône ou sur les autres bassins où un suivi de la reproduction est entrepris, les moyens humains déployés sont toujours très importants.

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 significative réduite.

De plus, pour parvenir à l'automatisation, il faut nécessairement réécouter les enregistrements. Ainsi, il semble pertinent de multiplier les sites sur lesquels des enregistreurs sont disposés. Par comparaison, sur le bassin de la Loire en 2014, 3 zones ont été suivies qui représentent :

- 4039 h sur la Loire à l'aval du barrage de Decize, sur 6 frayères.
- 2906 heures sur l'Allier à l'aval de Vichy sur 5 frayères
- 409h à Châtelleraut en suivi manuel, impossible de réaliser des enregistrements.

Nous pouvons donc faire beaucoup mieux que les 280 heures obtenues cette année sur le bassin du Rhône...

Multiplier la pose des enregistreurs, et limiter le nombre de problèmes sur les enregistrements comme initié en 2017 et 2018 sera une des clefs pour des travaux futurs sur l'automatisation, mais permettra surtout une meilleure estimation du nombre de géniteurs sur les frayères.

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.

5.3 Travaux complémentaires

L'algorithme est difficilement utilisable en l'état pour le suivi de la reproduction de l'Alose. La prise en main du logiciel et l'identification des paramètres de détections propres à chaque site sont chronophages et techniques.

L'automatisation n'est donc pas encore opérationnelle et demande à être précisée, mais l'utilisation d'enregistreurs s'avère pertinente à moyen et long terme.

MRM s'est rapproché en 2018 de chercheurs intéressés par le projet à l'IRIT de l'université de Toulouse. En 2019, une collaboration se concrétise au travers d'un stage dans le but d'optimiser la méthode de détection des bulls d'aloses par voie informatique grâce aux méthodes de « deep learning ». Il conviendra d'impliquer si possible les autres associations qui réalisent des suivis de la reproduction, pour avoir leur retour d'expérience sur l'acquisition d'enregistrements et leur attente par rapport à l'automatisation.

Ce projet vise à :

- Évaluer la pertinence de l'outil de par rapport à l'évolution des technologies actuelles.
- Tester les nouvelles méthodes de *Deep Learning* (ou réseau profond de neurones) déjà très prometteuses par rapport à la parole, ou pour des applications plus en lien avec la biodiversité (reconnaissance des espèces de chauves souris ou d'oiseaux).
- Traduire l'algorithme pour le rendre utilisable sous Android et donc renouveler les Smartphones et l'acquisition à distance.
- Selon la pertinence, optimiser le fonctionnement de l'algorithme.

Le suivi de la reproduction de l'Alose est un sujet complexe et il convient d'utiliser au mieux les différentes techniques. Ces suivis visent à évaluer l'évolution de la population d'Alose pour mettre en place des mesures de gestion. L'automatisation partielle du suivi est un outil parmi d'autres (vidéocomptage, ADN environnemental, pêche...) qu'il faudra prendre en compte lorsque la stratégie de suivi de l'Alose à l'échelle du bassin Rhône Méditerranée sera révisée dans le cadre du bilan à mi-parcours du PLAGEPOMI.

CONCLUSION

Le travail mené lors de cette campagne visait à acquérir des enregistrements sur les sites de suivis de la reproduction les plus favorables pour préciser la faisabilité d'utiliser l'algorithme de détection en complément ou en remplacement du suivi manuel de la reproduction.

Par rapport aux années précédentes, le volume d'enregistrement a été significativement augmenté. Plus de 280 h ont en effet été récoltées et 80% des enregistrements sont exploitables. L'efficacité du suivi est donc en progression.

Les enregistrements sur la Cèze ont une fois de plus été les plus intéressants, mais seulement deux bulls ont été enregistrés, ce qui n'est pas suffisant pour optimiser l'algorithme sur une frayère sur une saison entière. Les bandes sons des autres sites n'ont pas enregistré de bulls.

La campagne 2018 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.

On remarque depuis plusieurs années maintenant la difficulté à identifier les sites de suivi de la reproduction sur le bassin. Or l'optimisation de l'algorithme nécessite maintenant des enregistrements avec des bulls.

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.

Enfin, en 2019, une piste complémentaire d'optimisation de l'outil sera étudiée en collaboration scientifique avec l'Institut de la recherche informatique de Toulouse. Il s'agira d'utiliser l'intelligence artificielle grâce aux méthodes de « deep learning ». Les autres associations qui réalisent des suivis de la reproduction seront sollicitées sur le projet afin de bénéficier de leur retour d'expérience sur l'acquisition d'enregistrements et construire un projet commun d'automatisation des suivis.

Les résultats de ces investigations seront pris en compte dans le bilan à mi parcours du PLAGEPOMI prévu en 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

- Baglinière, J. L., et Elie, P. 2000. Les Aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.). Quae Edition- Cemagref/Inra. 278 pp.
- Diep, D., Marc, I., Meimouni, A., Nonon, H., Delhom, J., Lebel, I., et Roure, F. 2013. Etude de signaux sonores pour l'automatisation du suivi de la reproduction des aloses. Campagne 2012. Association MRM, Ecole des Mines d'Ales, Association DIVULCO et GECO Ingénierie. 31 pp.
- 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.
- DREAL Rhône-Alpes. 2016. Plan de Gestion des Poissons Migrateurs 2016-2021- Bassin Rhône - Méditerranée. France.
- Mutel, M., Campton, P., et Lebel, I. 2017a. Suivi de la reproduction de l'Alose sur le bassin du Rhône - Campagne d'études 2016. Association Migrateurs Rhône Méditerranée. 42 pp.
- Mutel, M., Paul, G., et Lebel, I. 2017b. Elaboration d'un système automatique du suivi de la reproduction de l'Alose - Campagne d'étude 2016. Association Migrateurs Rhône Méditerranée. 28 pp.
- Zilli, D., Parson, O., Merrett, G. V., et Rogers, A. 2014. A Hidden Markov Model-Based Acoustic Cicada Detector for Crowdsourced Smartphone Biodiversity Monitoring. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 51: 805–827.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Sites de suivis et intérêt estimé en 2016 pour un suivi par enregistrement	6
Tableau 2 : Matrice de confusion.....	8

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Alose feinte du Rhône (Gouguenheim, ©MRM)	2
Figure 2 : Cycle de vie de l'Alose feinte du Rhône (MRM)	2
Figure 3 : Acte de reproduction ou « bull » d'Alose (Gardin - ©MRM)	3
Figure 4 : Eléments de la station d'enregistrement	5
Figure 5 : Rôle des différents paramètres de détections de l'Algorithme (D'après Mutel et Al., 2017b). 7	

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 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 Haute-Saône, de Saône et Loire, de Savoie, de Haute-Savoie, du Var et du Vaucluse,
Association Régionale des Fédérations de Pêche de PACA (ARFPPMA PACA),
Association Régionale des Fédérations de Pêche Auvergne Rhône-Alpes (ARPARA).



ZI NORD - Rue André Chamson
13200 ARLES
Tél. 04 90 93 39 32 - Fax. 04 90 93 33 19
contact@migrateursrhonemediterranee.org
www.migrateursrhonemediterranee.org