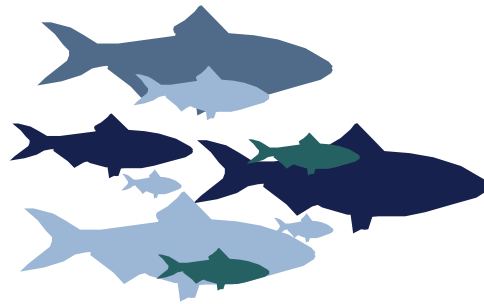


# Elaboration d'un système automatique de suivi de la reproduction des aloses



2015-N° 4/14







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

– RAPPORT D'ETUDE 2015 –

DIEP D.<sup>1</sup>, MARC I.<sup>1</sup>, NONON H.<sup>2</sup>, BARLES A.<sup>3</sup>, MUTEL M.<sup>3</sup>, ABDALLAH Y.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ARMINES (Ecole des Mines d'Alès)

<sup>2</sup> Association DIVULCO

<sup>3</sup> Association Migrateurs Rhône-Méditerranée

Juillet 2016





## **Étude commanditée par**

Association Migrateurs Rhône-Méditerranée (MRM)

## **Suivi de terrain**

Equipe de suiveurs de GECO Ingénierie,  
Equipe de suiveurs de BIOTOPE,  
BARLES Alexandre, Association MRM,  
MUTEL Marius, Association MRM.

## **Travail en laboratoire**

DIEP Daniel, ARMINES (Ecole des Mines d'Alès),  
MARC Isabelle, ARMINES (Ecole des Mines d'Alès),  
NONON Hervé, Association DIVULCO.

## **Rédaction du rapport**

DIEP Daniel, ARMINES (Ecole des Mines d'Alès),  
NONON Hervé, Association DIVULCO,  
MUTEL Marius, Association MRM.

## **Relecture / corrections**

DIEP Daniel, ARMINES (Ecole des Mines d'Alès),  
NONON Hervé, Association DIVULCO,  
MUTEL Marius, Association Migrateurs Rhône-Méditerranée,  
ABDALLAH Yann, Association Migrateurs Rhône-Méditerranée.

## **Référence à citer**

DIEP D., MARC I., NONON H., BARLES A., MUTEL M., ABDALLAH Y., 2016.  
Elaboration d'un système automatique de suivi de la reproduction des aloses - Campagne  
d'études 2015. Association MRM, Ecole des Mines d'Ales, Association DIVULCO. 29 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.
  - Union des Fédérations de Pêche de l'Arc Méditerranéen (URFAM)
  - Union des Fédérations de Pêche de Rhône-Alpes (URFEPA)
- Compagnie Nationale du Rhône (CNR) dans le cadre de ses missions d'intérêts général
- Electricité de France (EDF)
- Régions Provence-Alpes-Côte d'Azur et Rhône-Alpes
- Départements des Bouches-du-Rhône, du Gard, de la Drôme et du Vaucluse
- Mairie d'Arles
- DREAL Rhône-Alpes, délégation de bassin Rhône-Méditerranée

## **Partenaires techniques**

- Les agents de GECO Ingénierie pour le suivi sur les frayères de l'Ardoise
- Les agents de BIOTOPE pour le suivi sur les frayères du Vidourle
- Les agents de LOGRAMI et EPTB Charentes-Seudre pour l'échange de fichiers et leurs retours d'expérience sur la manipulation du logiciel.



# RESUME

L'Association MRM a initié en 2003 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, mais également à partir d'analyses des signatures sonores des différents bruits caractéristiques d'une frayère donnée. Le but d'une telle expérimentation est d'obtenir *in fine* un outil capable d'identifier de façon autonome ces signatures « bulls » dans les enregistrements. Un tel outil permettrait d'envisager la réduction du budget annuel consacré 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.

Pour cela, les différentes campagnes ont permis d'aboutir au système actuel composé de trois entités distinctes :

Le **matériel** : un smartphone, avec un micro, une parabole, et une batterie qui augmente l'autonomie.

Une **application** créée pour le smartphone qui permet la gestion à distance (lancement/arrêt des enregistrements, état de fonctionnement) et l'intégration de l'algorithme.

Un **algorithme** qui analyse les enregistrements et détecte les bulls. L'algorithme fonctionne avec des enregistrements qui ne sont pas nécessairement issus du smartphone. Différentes versions de l'algorithme ont été développées.

En 2015, une interface développée avec la plateforme logicielle Matlab permet de manipuler facilement les paramètres de détections et de visualiser simplement les résultats.

Les modifications réalisées lors de l'intersaison 2014-2015 ont permis de supprimer les problèmes matériels enregistrés lors des campagnes précédentes. Les fonctions d'enregistrement, de détection et la gestion à distance fonctionnement maintenant simultanément.

L'efficacité de détection de l'algorithme a été évaluée à partir des données recueillies en 2015 sur le Vidourle, ainsi que celles issues d'autres frayères obtenues grâce à un partenariat avec l'association LOire Grand Migrateurs (LOGRAMI) et la cellule migrateurs de l'EPTB Charente-Seudre. Les résultats sont encourageants avec des taux de détection pouvant atteindre 85%.

Le matériel développé est maintenant abouti. Cependant, des interrogations subsistent encore quant à une utilisation en routine du système acoustique pour le suivi de la reproduction de l'Alose. Ces interrogations concernent prioritairement la variabilité de la détection de l'algorithme et le temps de manipulation nécessaire.

La campagne 2016 se focalisera sur l'obtention d'un outil opérationnel par la manipulation et l'analyse de nombreux enregistrements. La variabilité des coefficients de détection et les conditions d'utilisation seront précisées et différents scénarios de valorisation du système seront investigués.



# TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Matériel</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1 Station enregistrement</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 Logiciel Allo-Z</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Algorithme de détection des « bulls »</b> .....	<b>6</b>
• Calcul en ligne de la puissance du bruit de fond .....	7
• Programme de comptage des bulls et d'évaluation : Bullomat.....	7
<b>2 Acquisition des enregistrements</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 Précampagne</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2 Campagne 2015</b> .....	<b>12</b>
<b>3 Analyses des enregistrements</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1 Réécoute et marquage des enregistrements</b> .....	<b>14</b>
• Vidourle.....	14
• Autres enregistrements .....	14
<b>3.2 Ajustement des paramètres de détection</b> .....	<b>15</b>
<b>4 Résultats</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1 Frayère de Saint-Laurent d'Aigouze – Vidourle</b> .....	<b>17</b>
<b>4.2 Autres frayères d'aloses</b> .....	<b>18</b>
<b>5 Discussions</b> .....	<b>18</b>
<b>5.1 Evolution du matériel</b> .....	<b>18</b>
<b>5.2 Variabilité des coefficients de détection</b> .....	<b>18</b>
<b>5.3 Retour d'expérience</b> .....	<b>19</b>
<b>6 Perspectives</b> .....	<b>19</b>
<b>6.1 Travaux envisagés en 2016</b> .....	<b>19</b>
• Objectifs .....	19
• Méthode .....	20
<b>6.2 Développement supplémentaire possible</b> .....	<b>21</b>
• Automatisation du calcul du rayon de proximité (Rp).....	21
• Evolution du matériel d'acquisition .....	22
<b>7 CONCLUSION</b> .....	<b>23</b>
<b>REFERENCES</b> .....	<b>24</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>24</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>25</b>



# INTRODUCTION

Lors de l'acte de reproduction, les aloses se manifestent en surface en effectuant des déplacements circulaires et en frappant l'eau de leur nageoires caudales afin de créer un tourbillon qui favorisera la fécondation des œufs. Cette phase appelée « bull » peut être particulièrement bruyante (jusqu'à 50dB) et peut durer jusqu'à dix secondes ce qui permet leur détection à distance (Boisneau *et al.*, 1990; Cassou-Leins et Cassou-Leins, 1981).

Actuellement, le suivi de la reproduction des aloses est assuré par des opérateurs qui déterminent le nombre de bull la nuit par suivi auditif et visuel sur les principales frayères identifiées sur le fleuve Rhône et le fleuve côtier Vidourle.

L'association MRM a initié à partir de 2003 en partenariat avec le LGI2P du laboratoire ARMINES de l'Ecole des Mines d'Alès, l'Association DIVULCO et GECO-Ingénierie un projet d'automatisation du suivi des frayères d'aloses à partir de l'enregistrement acoustique des actes de reproduction. L'objectif initial très ambitieux était de développer un système de suivi automatique et en direct du suivi de la reproduction de l'Alose, qui permettrait d'une part de diminuer le budget alloué à ce suivi et de supprimer le travail nocturne. De plus, la couverture spatiale à l'échelle du bassin du Rhône et des fleuves côtiers serait plus exhaustive.

Les études menées de 2004 à 2008 ont abouties à la réalisation d'un prototype et au développement d'un algorithme de détection des bulls. Les retards accumulés jusqu'en 2008 n'ont pas permis d'aboutir aux résultats escomptés (Diep *et al.*, 2010). Le projet a été interrompu jusqu'en 2011 où les objectifs ont été redéfinis selon 3 critères principaux :

- Autonomie et compacité du système
- Automatisation de la détection
- Gestion à distance

De 2011 à 2013, nous avons travaillé simultanément sur l'acquisition des enregistrements et la détection automatique des bulls. Différents problèmes ont fait que le nombre d'enregistrements acquis ne permettait pas de développer de manière correcte l'algorithme de détection, la saison de reproduction de l'Alose étant relativement courte (4 à 6 semaines). En 2014, la priorité a été donnée à l'acquisition d'enregistrements afin de pouvoir évaluer le fonctionnement de l'algorithme. Les résultats ont été encourageants et des solutions techniques ont été proposées pour résoudre les bugs informatiques rencontrés les années précédentes. Ces modifications ont été effectuées lors de l'intersaison 2014-2015.

Les objectifs de la campagne 2015 sont de :

- Corriger les bugs informatiques et valider le fonctionnement en routine du matériel (fonction d'enregistrement ; gestion à distance ; détection) ;
- Préciser les limites de l'algorithme de détection ;
- Concrétiser un partenariat avec LOGRAMI et l'EPTB Charente-Seudre pour évaluer la possibilité d'utiliser l'application sur d'autres sites et avoir un premier retour d'expérience sur l'utilisation de l'algorithme ;

- Définir les objectifs et la méthode de travail pour la suite du projet d'automatisation du suivi avec le matériel obtenu. Le travail de développement étant terminé (jusqu'à nouvel ordre).

Ce rapport d'étude présente les avancées obtenues lors de la campagne 2015 : l'évolution du matériel, l'évaluation de la méthode de comptage automatique du nombre de bulls et enfin les objectifs et la méthode envisagés pour 2016 sont avancés.

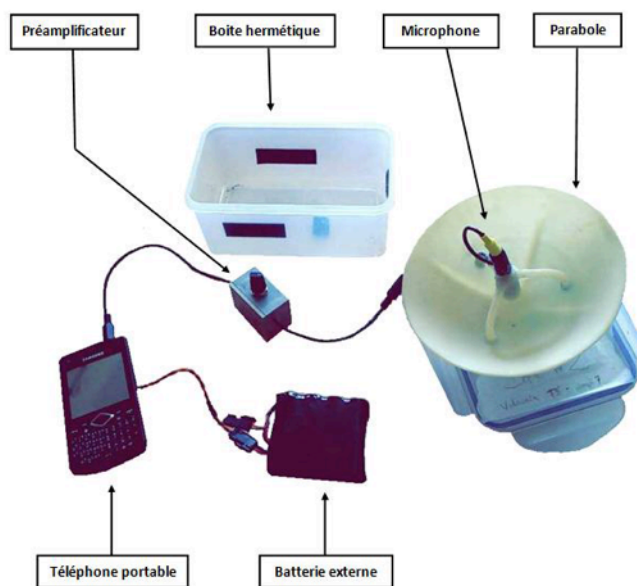
## 1 Matériel

Le matériel est composé de trois entités relativement distinctes : le matériel hardware (smartphone, parabole, micro etc...), l'algorithme de détection et l'application Allo-Z installée sur le Smartphone qui permet l'enregistrement, la gestion à distance et la détection des bulls.

Le matériel « hardware » a déjà été décrit dans les rapports précédents et n'a pas évolué par rapport à l'année dernière. La principale évolution a eu lieu au niveau de l'application Allo-Z et de l'algorithme de détections. Deux utilitaires PC, BullomètrePC et Bullomat, permettent de faire fonctionner l'algorithme de détection sur un ordinateur de bureau.

### 1.1 Station enregistrement

Pour rappel, 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 1). L'application Allo-Z installée sur le Smartphone sous l'a forme d'une « Appli » permet l'acquisition d'enregistrement, la gestion à distance et la détection des bulls.



*Figure 1 : Composition d'une station d'enregistrement acoustique*

La station est installée sur les frayères à l'aide d'un trépied de la même manière que lors des campagnes précédentes (Figure 2). Ceci est primordial afin de pouvoir reproduire systématiquement les mêmes conditions d'enregistrements et évaluer la détection automatique par l'algorithme.



*Figure 2 : Installation acoustique sur la frayère de Saint-Laurent d'Aigouze (Vidourle) lors de la précampagne.*

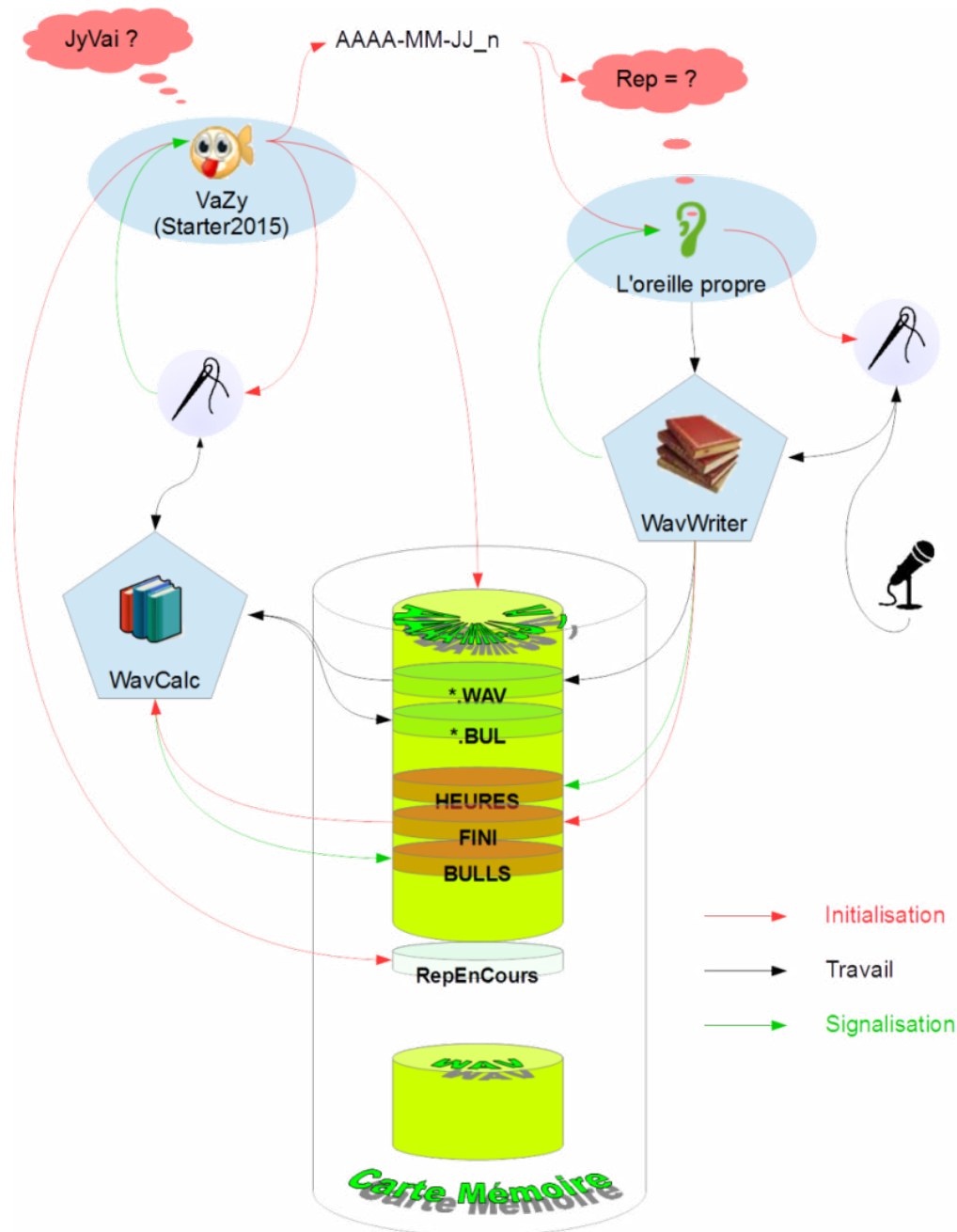
## 1.2 Logiciel Allo-Z

L'application Allo-Z est constituée de trois fonctions principales dont le fonctionnement est maintenant indépendant:

- Fonction d'enregistrement
- Gestion à distance par commande SMS
- Algorithme de détection

En 2014, les 3 fonctions étaient réalisées simultanément par le programme Allo-Z, ce qui demandait trop de performances au Smartphone. La précampagne, de février à avril 2015 a consisté à séparer les trois fonctions, en donnant la priorité à l'enregistrement, puis la gestion distance, en enfin la détection des bulls en léger différé (quelques minutes) lorsque la puissance de calcul du processeur est suffisante.

La fonction d'enregistrement audio est la partie « Oreille propre », qui est une évolution par rapport à 2014 où la fonction d'enregistrement avait été isolée sous le nom de « Oreille ». La partie de détection du nombre de bulls s'appelle « VaZy » (Figure 3).



**Figure 3 : Schéma technique du fonctionnement du programme Allo-Z (DIVULCO)**

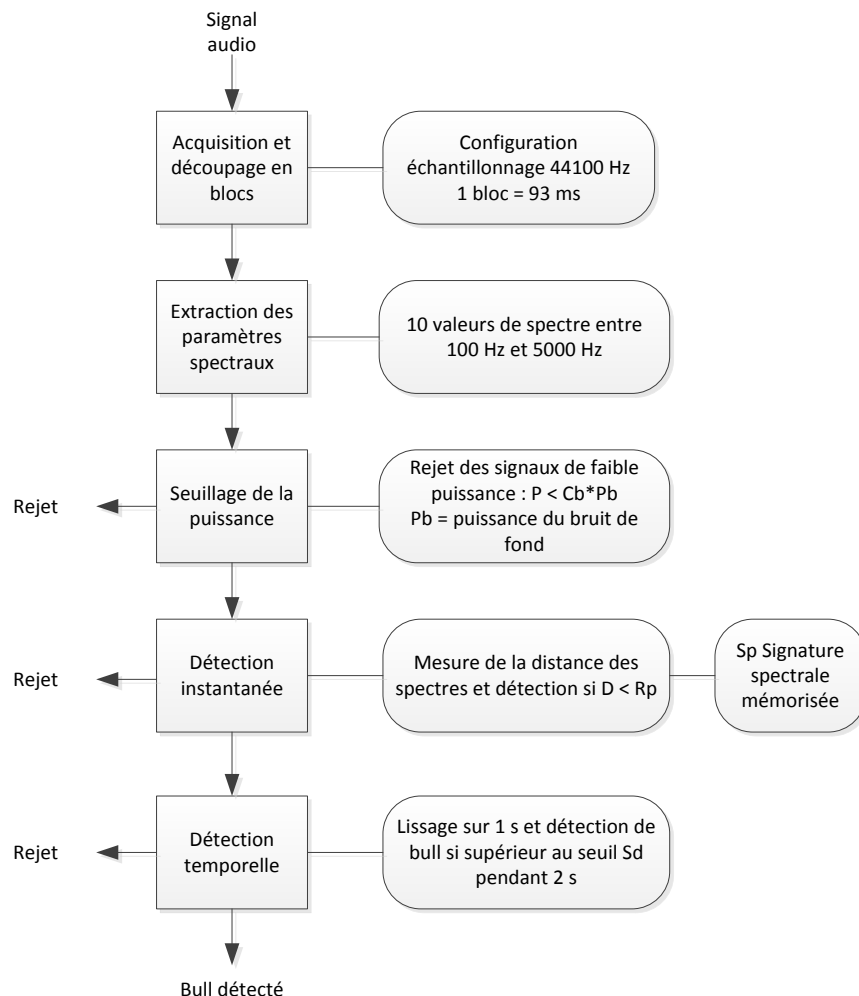
Ainsi, lorsque l'opérateur demande au Smartphone de débuter l'enregistrement, le Smartphone enregistre en format \*.wav des fichiers d'environ 30 secondes (20 mo) pendant la durée souhaitée. Lorsque la puissance de calcul disponible est suffisante, ces fichiers courts sont analysés successivement par l'algorithme, qui une fois le fichier traité le renomme \*.bul. Les bulls détectés sont identifiés dans le fichier *rep en cours*, qui est transmis par SMS lorsqu'il est demandé.

Une programmation du lancement de l'enregistrement ou de l'envoi d'un SMS est possible.

Un « guide d'utilisation » a été rédigé à destination des utilisateurs en charge de l'installation du système.

### 1.3 Algorithme de détection des « bulls »

Rappelons les étapes du calcul, tel que défini dans la version "Bullometre2014" (Diep *et al.*, 2014) :



**Figure 4 : Représentation schématique du fonctionnement de l'algorithme de détection des bulls**

La méthode dispose actuellement de plusieurs paramètres de réglage, principalement :

- 10 paramètres fréquentiels formant la signature spectrale  $Sp$
- le niveau de bruit de fond :  $Pb$
- le coefficient de bruit :  $Cb$
- le rayon de proximité :  $Rp$
- le seuil de détection :  $Sd$

Toutes les fois qu'un spectre en fréquence est proche de la signature spectrale (i.e. la distance euclidienne est inférieure à  $Rp$ ) et que la puissance du signal dépasse le produit  $Pb * Cb$ , alors la détection est active. Un bull sera reconnu si le signal de détection passé à travers un filtre passe-bas de temps de réponse d'environ 1 s dépasse le seuil  $Sd$  pendant une durée de 2s.

Le paramètre Pb présente une variabilité importante, selon le lieu, les conditions hydrauliques et météorologiques. Il rend compte du niveau sonore (= puissance) du bruit ambiant, et dans la version 2014 (programme Bullenligne sur Smartphone ou Bullowav sur PC), il s'agit d'un paramètre saisi par l'utilisateur avant de lancer l'enregistrement.

Les autres paramètres sont fixés comme suit :

Sp : signature spectrale calculée par apprentissage sur les données;

Rp = 0,2 ; Sd = 0,27 ; Cb = 4 ; après essais sur les données enregistrées en 2014.

En 2015, une amélioration du programme a consisté à calculer automatiquement la puissance du bruit de fond Pb.

- **Calcul en ligne de la puissance du bruit de fond**

Nous nous sommes efforcés de réduire les interventions de l'opérateur sur le terrain en introduisant une estimation adaptative du paramètre Pb. Rappelons que l'estimation de la puissance du bruit de fond Pb est nécessaire pour rejeter les signaux d'amplitude trop faible et limiter les risques d'erreur : il est difficile en effet de distinguer des bulls de faible amplitude de bruits d'écoulement proches. Ceci est particulièrement valable dans le cas d'une chute d'eau à proximité.

En faisant une estimation de la puissance Pb en ligne, nous éliminons un des réglages de l'algorithme de détection. De plus cette approche permet d'être intégrée aisément dans le programme BullEnLigne du Smartphone. C'est ce qui a été réalisé dans la version Allo-Z 2015.

Nous faisons l'hypothèse que sur un horizon glissant de 1 minute, la puissance minimale mesurée dans un bloc/ intervalle de temps de 93 ms correspond à une absence de tout signal, excepté le bruit ambiant. Après un filtrage pour éviter des variations trop brutales, le paramètre Pb est donc calculé automatiquement par le programme.

Les tests réalisés sur les fichiers audio disponibles montrent que l'algorithme de détection se comporte correctement.

Il reste cependant à ajuster le seuil de puissance formé par le produit  $C_b \cdot P_b$ . Dans la suite, nous avons remplacé ce produit par un paramètre Rsb, rapport signal-bruit, exprimé cette fois en décibels, afin de donner à ce paramètre une dimension physique plus habituelle, selon la relation  $R_{sb} = 10 \log_{10}(C_b)$ . Ainsi, un coefficient multiplicatif  $C_b = 4$  correspond à  $R_{sb} = 6$  dB.

- **Programme de comptage des bulls et d'évaluation : Bullomat**

Dans les précédents travaux, le programme de comptage de bulls Bullomètre se déclinait en plusieurs versions, développées avec DIVULCO sur Smartphone et sur PC :

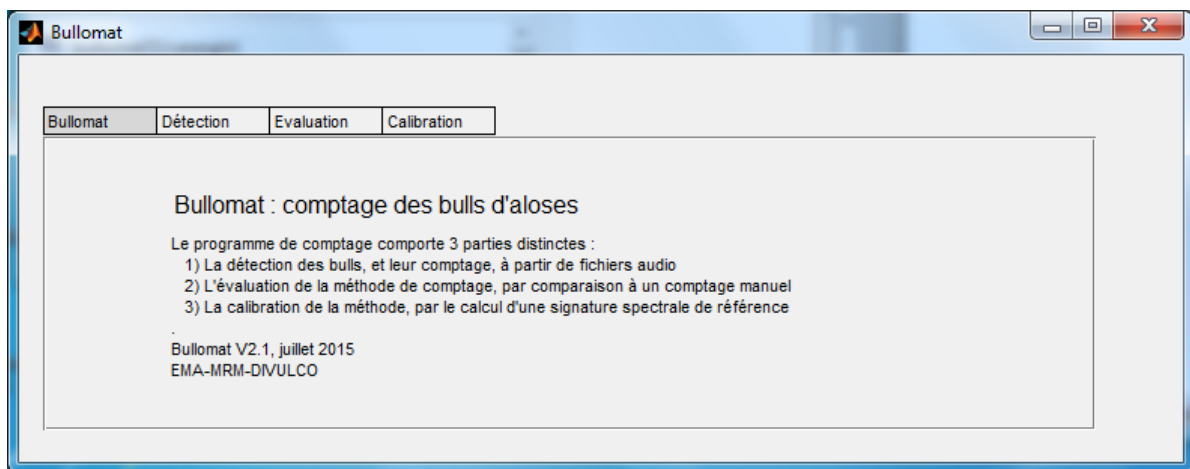
- BullEnLigne : programme de comptage en ligne implanté sur Smartphone
- Bullowav : programme de comptage de bulls dans des fichiers enregistrés, implanté aussi sur Smartphone
- Bullowav-PC : même programme que le précédent, implanté sur PC

Dans le but d'accéder facilement aux différents paramètres de l'algorithme, Armines a élaboré une quatrième version du programme intitulée Bullomat<sup>1</sup>. Il s'agit d'une extension du programme Bullowav-PC, qui permet de compter les bulls détectés dans un fichier audio ou dans un ensemble de fichiers audio, telle que la totalité des fichiers d'une même nuit. L'interface développée avec la plateforme logicielle Matlab permet de manipuler facilement les paramètres et de visualiser simplement les résultats.

Autre fonctionnalité du programme, l'opérateur a la possibilité de confronter les résultats avec ceux d'un comptage manuel. Pour cela, il est nécessaire au préalable de marquer les bulls détectés, c'est-à-dire de repérer précisément à l'intérieur d'un fichier audio le début et la fin de chaque bull. Le logiciel open source Audacity permet de réaliser cette opération facilement. Cette option permet ainsi de procéder à l'évaluation du programme, pour le jeu de paramètres considéré. L'objectif est de pouvoir immédiatement juger des résultats du programme de comptage lorsque l'on traite un fichier audio avec un jeu de paramètres, et de voir leur influence.

La version initiale 1.1 regroupe les fonctions de comptage dans une même page, dans la version 2.1 le programme Bullomat se présente comme un ensemble de 4 onglets. Ils sont détaillés dans les figures suivantes.

- Onglet "Bullomat"  
Il s'agit simplement d'une page d'accueil.

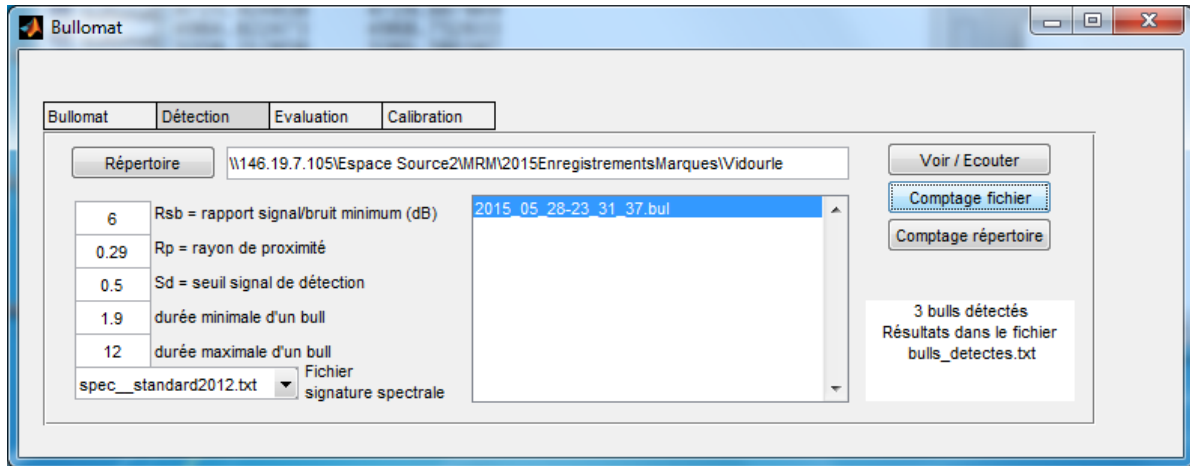


**Figure 5 : Onglet d'ouverture du Bullomat**

---

<sup>1</sup> Bullomat : programme exécutable pour Windows. Version 2.1 disponible sur : <http://www.lgi2p.ema.fr/~diep/Aloses/Bullomat/>

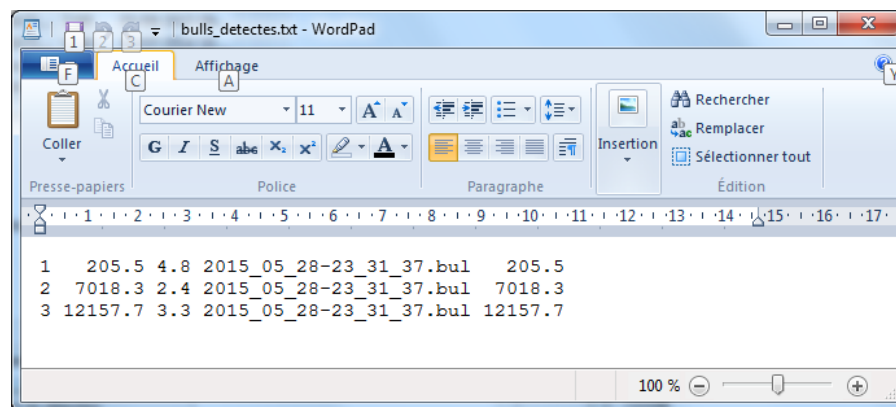
- Onglet "Détection"



**Figure 6 : Onglet Détection du Bullomat**

Cet onglet permet de sélectionner un ou plusieurs fichiers audio, d'ajuster les paramètres décrits dans la section 1, et de lancer la méthode de comptage. Le nombre de bulls détectés est indiqué en fin de comptage dans le carré blanc en bas à droite de la fenêtre.

Le détail des résultats de comptage est alors reporté dans le fichier "bulls\_detectes.txt", avec le début et la durée de chaque bull détectés (Figure 7). Les colonnes du fichier *bull\_detectes.txt* indiquent respectivement: 1°- le numéro du bull; 2°- le décalage en secondes depuis le début de l'enregistrement ; 3°- la durée du bull ; 4°- le nom du fichier analysé ; et la dernière colonne indique le décalage en seconde lorsque plusieurs fichiers (noms différents) sont analysés en même temps.



**Figure 7 : Fichier créé par le Bullomat en fin de détection**

Le bouton "Voir / Ecouter" (Figure 6) permet d'avoir un aperçu visuel et sonore d'un fragment de fichier (Figure 8).

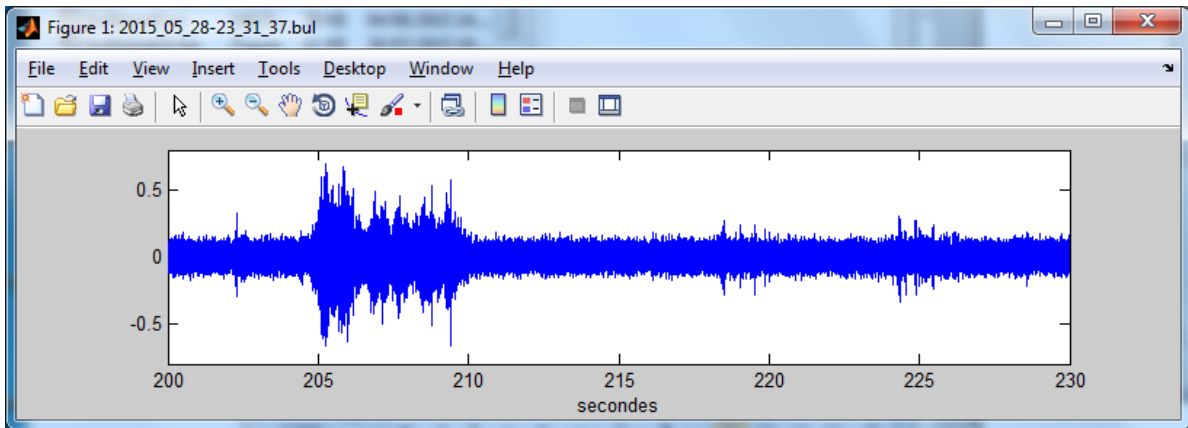


Figure 8 : Extrait visuel d'un fichier sonore

- Onglet "Evaluation"

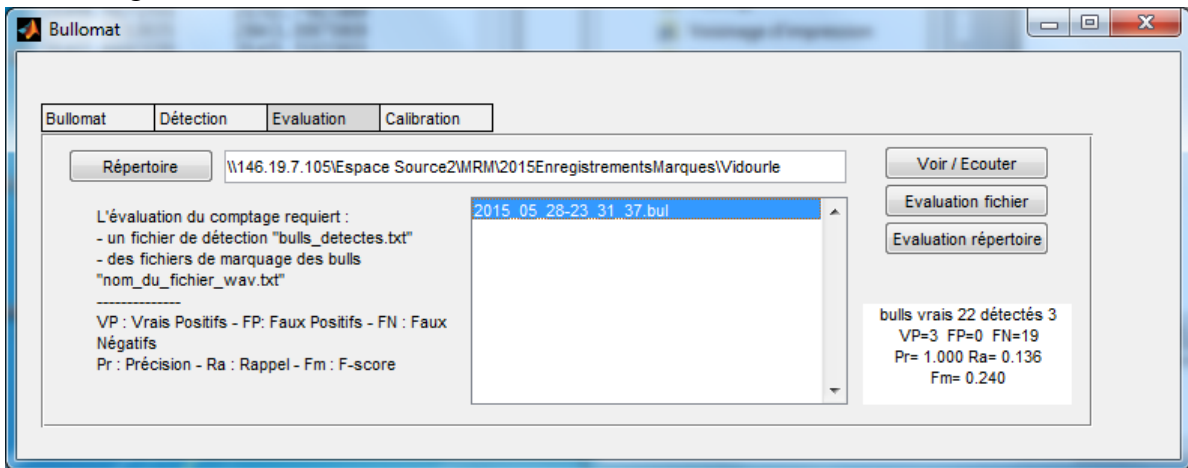


Figure 9 : Onglet Evaluation du Bullomat

Pour utiliser cet onglet, il est nécessaire de disposer d'un fichier de marquage des bulls. Par convention, le fichier de marquage se présente comme un fichier texte, chaque ligne indiquant le début et la fin d'un bull en secondes, comptés à partir du début du fichier. Le logiciel Audacity permet de faire cette opération de marquage. Il suffit en effet de créer une piste de marqueurs, puis de sélectionner les bulls à l'aide de la souris (Figure 10).

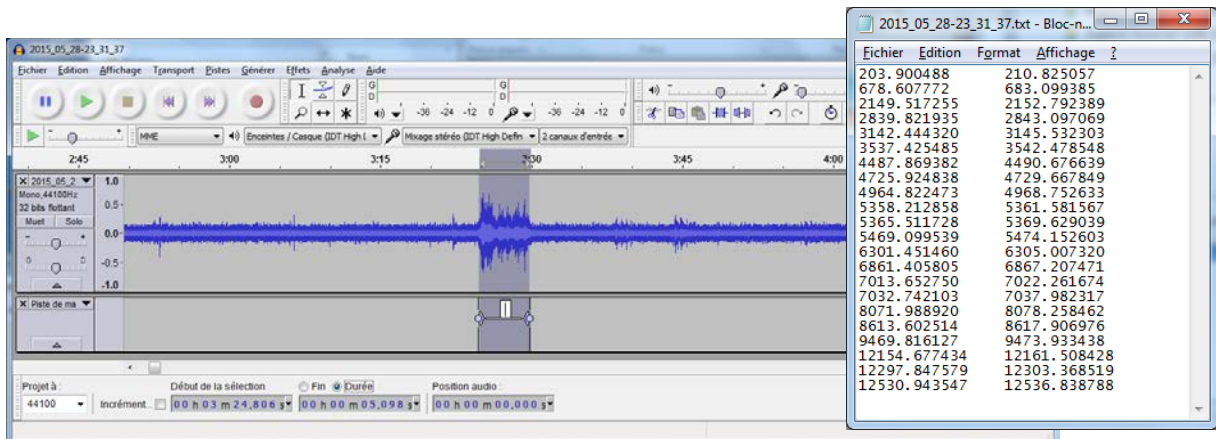


Figure 10 : Marquage d'un bull sous Audacity et fichier texte associé

Nous comparons ensuite les résultats de comptage automatique/manuel en examinant si les zones de bulls se recouvrent ou non. On obtient ainsi une matrice de confusion sous la forme suivante :

**Tableau 1 : 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)

Pour rappel :

- 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 vrai bull qui n'est pas détecté par l'algorithme
- un faux négatif est un « bruit » qui n'est pas assimilé comme un bull par l'algorithme

Deux indicateurs globaux sont utilisés :

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

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

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

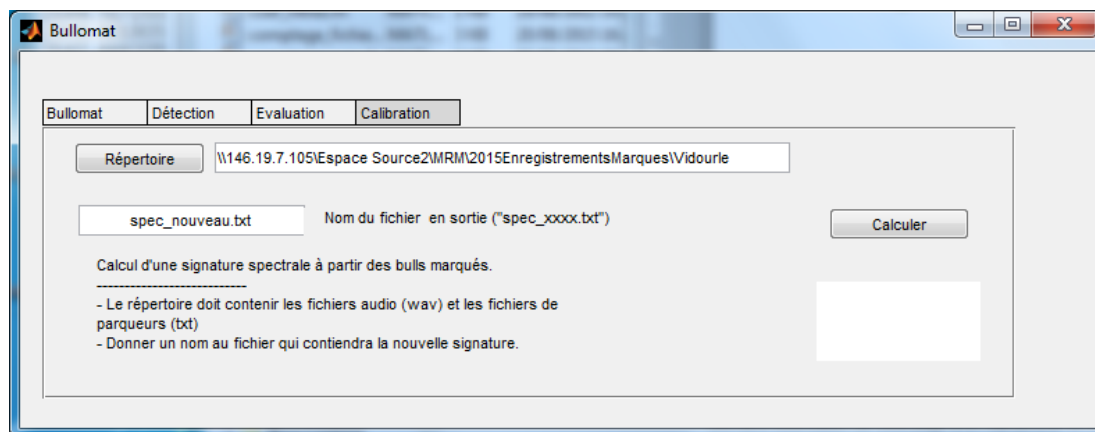
$$Fm = 2 \frac{Pr * Ra}{Pr + Ra} = \frac{2VP}{2VP + FN + FP}$$

- Onglet "Calibration"

Cet onglet est dédié au calcul de la signature spectrale qui consiste à extraire du signal acoustique (enregistrement) les paramètres caractéristiques des signaux de bulls. La campagne d'étude 2012 a montré l'importance de la signature spectrale pour la détection des bulls (Diep *et al.*, 2013).

Avec le fichier de marquage, nous disposons de signaux "bulls" et "non-bulls". Dans une première approche qui est une simple mesure de distance euclidienne, nous calculons le spectre moyen des signaux de bulls, résultant en une signature spectrale moyenne.

Pour calculer une nouvelle signature spectrale, il faut donc disposer du fichier de marqueur utilisé pour l'évaluation.



**Figure 11 : Onglet Calibration du Bullomat**

Ce programme a été fourni à l'Association LOGRAMI et l'EPTB Charentes-Seudre afin d'avoir un retour d'expérience sur la prise en main du logiciel, les éventuels problèmes rencontrés lors de l'utilisation, et surtout leurs attentes vis à vis d'un tel outil pour le suivi. Une « notice d'utilisation » a été rédigée en ce sens.

## 2 Acquisition des enregistrements

### 2.1 Précampagne

Les précampagnes ont été réalisées sur les frayères de l'Ardoise et du Vidourle, afin de valider les modifications du programme sur le terrain.

Deux sorties terrain sur le Vidourle (7 avril et 31 mars) et une sortie sur l'Ardoise ont été réalisées (9 avril).

En plus de ces sorties, de nombreux tests ont été effectués pour valider la gestion à distance et se familiariser avec le matériel.

Ces tests ont permis de valider la gestion à distance et ont souligné l'importance du réglage du préampli pour la qualité de l'enregistrement.

### 2.2 Campagne 2015

Sur le Vidourle, le comptage manuel a été réalisé une nuit sur deux du 10/04/2015 au 09/06/2015 sur le site de Saint-Laurent d'Aigouze. La frayère est suivie en différents points par les suiveurs. La station acoustique est placée à l'amont du point A, les jours de suivis par les opérateurs de terrains (Figure 12).

En théorie, la zone de détection des bulls correspond à un cercle de diamètre égal à 2 fois la hauteur, soit aux secteurs : A1a, A1b, A1c, A2a, A2b et une partie de A3a et A3b (Figure 12).



**Figure 12 : Zone de suivi de la reproduction des aloses à Saint-Laurent d'Aigouze sur le Vidourle. Le point rouge représente l'emplacement de la station acoustique et le cercle rouge la surface théorique de détection des bulls.**

Des tests ont eu lieu les nuits du 20 avril et du 5 mai afin de valider les réglages déterminés lors de la précampagne. Les bulls étaient peu nombreux et situés majoritairement sur la partie aval de la frayère, non couverte par la parabole. Aucun bull n'a pu être enregistré lors de ces nuits.

L'intensité de la reproduction est devenue plus régulière sur la partie amont de la frayère à partir du 24 mai. La station a été opérationnelle du 28 mai 2015 au 3 juin 2015, date des derniers bulls comptabilisés de la saison sur cette frayère.

Le délai de fonctionnement opérationnel de la station est dû à des mauvaises manipulations ayant entraîné des faux contacts (mauvais branchement du micro, connexion de la batterie).

Ainsi, seulement 4 nuits complètes avec bulls ont été obtenues cette année. La nuit du 28 avril est sur un réglage de préampli 1, et les nuits suivantes sur préampli 2. Les conditions environnementales étaient similaires entre les 4 nuits d'enregistrements, à savoir pas de vent et un débit faible (de 1 à 3m<sup>3</sup>/s).

Parallèlement, aucun enregistrement n'a été obtenu sur la frayère du port de l'Ardoise lors de la campagne 2015. Cette absence de résultat est principalement liée à des difficultés de prise en main du matériel par l'équipe de suiveurs, confrontée à des bugs à répétition (problèmes de connexions de la batterie ou du micro et mauvaise mise à jour du programme).

## 3 Analyses des enregistrements

### 3.1 Réécoute et marquage des enregistrements

Même si le suivi manuel permet de connaître le nombre de bulls qui a eu lieu sur la frayère, il est nécessaire de réécouter les enregistrements et de marquer les bulls audibles. Les enregistrements sont parcourus sous Audacity et tout signal a été réécouté afin de déterminer s'il s'agissait d'un bull ou d'un bruit ambiant. Pour chaque nuit, une piste de marqueur est créée. Il s'agit d'un fichier texte qui contient le début et la fin du bull en secondes à partir du début de l'enregistrement (Figure 10). Les heures des bulls marqués sont ensuite comparées avec l'heure des bulls identifiés par les suiveurs.

- **Vidourle**

Le réglage du préampli au minimum rend la détection des bulls difficile pour la nuit du 28 mai. Ceci est particulièrement dommage car il s'agit de la nuit la plus active cette année au niveau de la station acoustique. Pour les nuits suivantes, le préampli est en position 2 car le bruit de fond est relativement faible, ce qui permet une meilleure identification des bulls.

- **Autres enregistrements**

En 2015, MRM a formalisé une convention de prêt avec l'association Loire Grands Migrateurs et l'EPTB Charente-Seudre afin de tester l'algorithme de détection sur un plus grand nombre d'enregistrements.

Les différences avec les conditions de suivi de la frayère du Vidourle sont :

- Grandes frayères naturelles (pas de chute d'eau)
- Pas de comptage manuel – estimation par réécoute de 15min/30min
- Intensité de la reproduction pas comparable (jusqu'à 60 bulls/15 min).
- Enregistrement avec des dictaphones depuis le bord (et non en surplomb) (Figure 13).



*Figure 13 : Installation d'une station acoustique par LOGRAMI*

Certaines parties d'enregistrements ont été réécoutées et marquées de la même manière que sur le Vidourle.

**Tableau 2 : Détail des enregistrements analysés en 2015**

Lieu	Date	Durée	Nombre de bulls
Vidourle SLA	28/05/2015	3h55	22
Vidourle SLA	30/05/2015	3h30	3
Vidourle SLA	01/06/2015	3h30	6
Vidourle SLA	03/06/2015	3h47	5
Loire	29/05/2012	38 min	19
Charente – Crouin	05/08/2009	30 min	56
Charente – La Baine	16/05/2013	1h30	172
		15 min (1h15 à 1h30)	33
		15 min (2h15 à 2h30)	33

### 3.2 Ajustement des paramètres de détection

Comment ajuster les paramètres de l'algorithme de détection pour minimiser les erreurs de comptage ?

Il est difficile d'y répondre précisément, sachant que les enregistrements sonores connaissent de grandes variations de niveaux sonores d'un site à l'autre, d'une journée à l'autre, voire d'une heure à l'autre. L'implantation sur le terrain, le positionnement du microphone, les conditions hydrologiques et météorologiques, l'amplification des signaux sont autant de facteurs à prendre en compte, et il est rare qu'une configuration de paramètres convienne à plusieurs enregistrements différents.

Si l'on ne peut donner une réponse *a priori*, il est en revanche possible de fournir des éléments de réponse *a posteriori* pour un enregistrement donné, à partir du moment où l'on a procédé à un comptage manuel de cet enregistrement.

En effet, on a vu que le programme Bullomat permet d'évaluer la méthode de détection si l'utilisateur fournit les fichiers de bulls marqués. En exécutant le programme systématiquement pour différentes valeurs de paramètres, on peut alors évaluer la méthode sur une plage de paramètres et déterminer *a posteriori* le meilleur jeu de paramètres pour un enregistrement donné. Très simple dans le principe, cette approche nécessite un volume et une durée de calculs très importants.

De plus les résultats ne concernent que l'enregistrement étudié, sans que l'on puisse affirmer que le jeu de paramètres obtenu sera valable pour d'autres enregistrements. A titre d'exemple, nous détaillons l'approche pour l'enregistrement le plus significatif, réalisé le 28/05/2015.

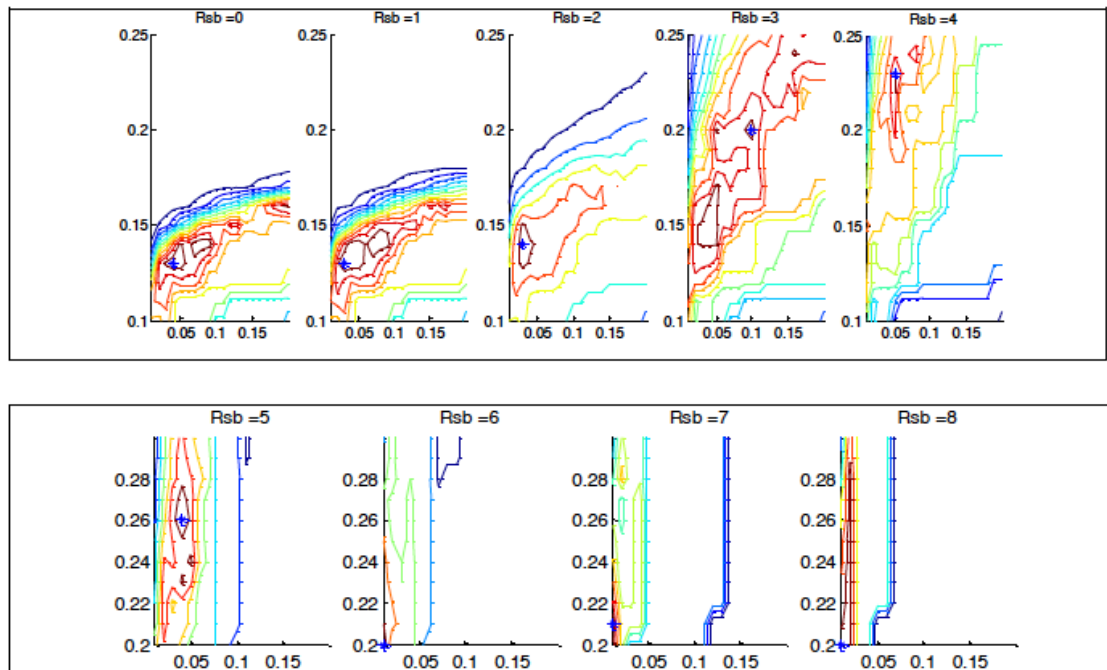
Le Tableau 3 présente les valeurs de Rp et Sd qui maximisent le critère Fm pour différentes valeurs de Rsb.

**Tableau 3 : Efficacité de détection pour la nuit du 28 mai 2015 à Saint Laurent d'Aigouze en fonction des coefficients appliqués**

<b>Rsb</b>	<b>Rp</b>	<b>Sd</b>	<b>Bulls</b>	<b>VP</b>	<b>FP</b>	<b>FN</b>	<b>Fm</b>
0	0.13	0.04	12	10	2	12	0.588
1	0.13	0.03	15	11	4	11	0.595
2	0.14	0.03	16	12	4	10	0.632
3	0.20	0.10	16	12	4	10	0.632
<b>4</b>	<b>0.23</b>	<b>0.05</b>	<b>21</b>	<b>14</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>0.651</b>
5	0.26	0.04	16	12	4	10	0.632
6	0.20	0.01	15	10	5	12	0.541
7	0.21	0.01	13	8	5	14	0.457
8	0.20	0.01	5	5	0	17	0.370

L'optimum du critère  $Fm = 0.651$  est ainsi trouvé pour  $Rsb = 4$  ;  $Rp = 0.23$  ;  $Sd = 0.05$

Les figures suivantes (Figure 14) montrent les courbes du critère  $Fm$  dans l'espace défini par  $(Rsb, Rp, Sd)$ . Elles permettent de visualiser la topologie de la fonction à maximiser.



**Figure 14 : Représentation de l'évolution du Critère  $Fm$  dans l'espace défini par  $(Rsb, Rp$  et  $Sd)$**

## 4 Résultats

### 4.1 Frayère de Saint-Laurent d'Aigouze – Vidourle

On donne ici les résultats obtenus sur les données 2015, en appliquant la méthode de recherche précédente. Les enregistrements proviennent de la frayère de Saint Laurent d'Aigouze, sur le Vidourle.

Comme précédemment, nous avons lancé un grand nombre de comptages avec des paramètres variables, de façon à sélectionner un jeu de paramètres qui rende la fonction Fm maximale.

Nous avons reporté dans le Tableau 4 les meilleurs jeux de paramètres obtenus. Nous indiquons aussi le nombre de bulls comptés manuellement (colonne "Bulls manu").

La signature spectrale adoptée est celle calculée en 2014 à l'aide d'enregistrements sur la même frayère (sla2014).

**Tableau 4 : Paramètres maximisant le critère Fm (Vidourle)**

Date	Durée	Bulls manu	Rsb	Rp	Sd	Bulls	VP	FP	FN	Pr	Ra	Fm
28/05	3h55mn	22	4	0,23	0,05	21	14	7	8	0,667	0,636	0,651
30/05	3h30mn	3	4	0,26	0,2	1	1	0	2	1,000	0,333	0,500
01/06	3h30mn	6	4	0,12	0,02	5	5	0	1	1,000	0,833	0,909
03/06	3h47mn	5	4	0,22	0,05	5	5	0	0	1,000	1,000	1,000

Les jeux de paramètres obtenus restent globalement assez voisins. Sans chercher à déterminer exactement le jeu de paramètres optimal sur l'ensemble des données en utilisant la même méthode (opération très coûteuse en temps de calcul, de l'ordre de la semaine sur un PC standard), on peut rechercher une solution proche de l'optimum. Pour cela, on peut voir que l'enregistrement du 28/05 possède un poids prépondérant par le nombre de bulls et on peut chercher à visualiser les résultats pour le même jeu de paramètres. On observe cependant dans l'espace des paramètres que l'optimum obtenu pour les dates des 30/05, 01/06 et 03/06 est très plat, la zone d'obtention de cet optimum étant très étendue.

En appliquant un seul et même jeu de paramètres {Rsb = 4 ; Rp = 0,23 ; Sd = 0,05} à l'ensemble des données, on obtient le tableau suivant :

**Tableau 5 : Résultats avec Rsb=4 ; Rp=0,23 ; Sd=0,05**

Date	Bulls manu	Bulls	VP	FP	FN	Pr	Ra	Fm
28/05	22	21	14	7	8	0,667	0,636	0,651
30/05	3	2	1	1	2	0,500	0,333	0,400
01/06	6	8	5	3	1	0,625	0,833	0,714
03/06	5	6	5	1	0	0,838	1,000	0,909
Ensemble	36	37	25	12	11	0,676	0,694	0,685

On constate que les 3 critères de précision, rappel et F-mesure se situent aux alentours de 68% si l'on considère l'ensemble des enregistrements avec une forte variabilité (0,4 à 0,9).

## 4.2 Autres frayères d'aloses

Dans le cadre d'échanges de données avec les gestionnaires d'autres bassins, la Loire et les Charentes, nous avons utilisé le logiciel de comptage Bullomat sur différents fichiers. Les sites de frayères, les installations, le matériel sont différents, les sous-espèces d'aloses également, il a cependant semblé intéressant de tester la méthode.

Le choix du jeu de paramètres conditionnant fortement le résultat final, nous avons appliqué le même principe d'optimisation en lançant le programme de comptage avec des paramètres variables. Les meilleurs résultats sont reportés dans le Tableau 6.

**Tableau 6 : Paramètres maximisant le critère Fm (autres frayères)**

Lieu	Date	Durée	Bulls manu	Rsb	Rp	Sd	Bulls	VP	FP	FN	Pr	Ra	Fm
Loire	29/05/2012	38 mn	19	7	0,27	0,04	19	17	2	2	0,895	0,895	0,895
Charente Crouin	05/08/2009	30 mn	56	5	0,18	0,05	50	47	3	9	0,940	0,839	0,887
Charente La Baine	16/05/2013	1h30mn	172	5	0,20	0,08	184	155	29	14	0,842	0,919	0,879
Charente extrait 1	16/05/2013 - 1h15	15 mn	33	6	0,4	0,18	33	28	5	5	0,848	0,848	0,848
Charente extrait 2	16/05/2013 - 2h15	15 mn	40	6	0,32	0,07	36	33	3	7	0,916	0,825	0,868

On constate des résultats meilleurs que ceux obtenus sur le Vidourle, les 3 critères dépassant ici les 85%.

## 5 Discussions

### 5.1 Evolution du matériel

Les modifications effectuées cette année sur le logiciel Allo-Z ont permis de supprimer les bugs récurrents des années précédentes. Le matériel obtenu est maintenant fonctionnel. Le faible nombre d'enregistrements acquis cette année sur les frayères du bassin méditerranéen est du à la faible intensité de l'activité de reproduction sur les sites suivis combinée à des erreurs d'utilisation du matériel sur le terrain. En effet, la campagne 2015 a montré que la manipulation des stations reste délicate par des utilisateurs non expérimentés (faux contacts, réglage du préampli).

Parallèlement, les limites d'utilisation doivent encore être précisées, en particulier les conditions d'enregistrement.

### 5.2 Variabilité des coefficients de détection

Les résultats obtenus par l'algorithme de détection sont très encourageants, même si des interrogations subsistent quant à une utilisation en routine sur l'ensemble des sites de suivi.

La variabilité des paramètres influençant la détection est encore difficile à appréhender, et des mêmes effets peuvent avoir des causes différentes selon les sites et inversement. Les campagnes précédentes (2013, 2014) ont montré l'importance de la signature spectrale, du bruit de fond et du seuil de détection.

Le partenariat avec LOGRAMI et l'EPTB Charente a été très intéressant car les résultats obtenus sur ces frayères sont largement supérieurs (85%) à ceux obtenus avec nos enregistrements (70%), sans pour autant parvenir aujourd'hui à en distinguer les causes. Est-ce la méthode d'acquisition (depuis la berge) ? Les caractéristiques du signal sonore des bulls de Grande Alose (intensité, durée) ? La qualité d'enregistrement (format \*.mp3 par un dictaphone) ? L'ambiance sonore ? Pour répondre à ces interrogations, il sera nécessaire de procéder à davantage d'analyses sur davantage d'enregistrements. En particulier, il est surprenant d'obtenir des résultats aussi élevés sur le Frayère de Charente-Crouin où les bruits de fond sont importants et nombreux (voitures, oiseaux).

### 5.3 Retour d'expérience

L'utilisation de l'utilitaire PC Bullomat constitue une avancée significative car il s'agit d'un outil réellement opérationnel, dont l'utilisation est relativement aisée une fois que l'on a compris le principe de détection d'un bull et le rôle de chacun des paramètres de détection.

Le retour de l'utilisation du Bullomat par Logrami et l'EPTB Charente montre que parvenir à déterminer le bon jeu de paramètres constitue la clé pour obtenir une détection satisfaisante.

## 6 Perspectives

### 6.1 Travaux envisagés en 2016

- **Objectifs**

Au vu des résultats obtenus, des interrogations qui subsistent et des financements mobilisables, la priorité est d'obtenir un outil opérationnel dont on connaisse les conditions d'utilisation et les limites. Tout développement supplémentaire est donc temporairement suspendu.

On a vu cette année que l'algorithme permettait d'atteindre des taux de détection jusqu'à 85%. Il s'agit donc de mettre en place des tests qui permettront de calibrer le système, en connaissant :

- La variabilité des coefficients de détection ;
- Le temps nécessaire pour l'ajustement des coefficients de détection ;
- Les conditions d'utilisation du système.

Cette calibration devra permettre d'évaluer la faisabilité d'une utilisation en routine aussi bien en termes d'efficacité de détection que de moyens humains à mobiliser.

- **Méthode**

#### Acquisition d'enregistrements

L'analyse devra être menée sur un jeu de données plus important que ce qui a été entrepris jusqu'à aujourd'hui afin de refléter la variabilité des conditions observées sur le terrain. Le partenariat avec Logrami et l'EPTB Charente sera reconduit. Ces deux structures disposent *a minima* d'une vingtaine de nuits d'enregistrement où le nombre de bulls est connu. En sus, l'acquisition d'enregistrements sur le bassin du Rhône sera élargie à de nouveaux sites en fonction de l'activité rencontrée en 2016. Sur chaque site, la station équipée d'un Smartphone sera doublée par un matériel similaire à celui utilisé par Logrami et L'EPTB Charente (dictaphone, microphone et parabole). Ceci permettra d'évaluer l'influence du matériel d'acquisition sur l'efficacité de détection.

#### Calibration de l'algorithme

Afin de calibrer l'algorithme de détection, la méthode proposée est de faire varier empiriquement les coefficients de détection afin de s'approcher du nombre de bulls réel. Dans ce cas là, le nombre de bulls détectés par l'algorithme correspond aux « Vrais Positifs » (VP) auxquels s'ajoutent les « Faux Positifs » (FP). Les résultats de cette année semblent montrer que le nombre de bulls détectés par l'algorithme (VP+FP) était très proche de celui obtenu par un suivi manuel ou à la réécoute.

L'objectif de cette méthode est d'analyser un grand nombre d'enregistrements afin d'évaluer la reproductibilité de la méthode de détection par rapport à un suivi manuel et d'estimer la variabilité des coefficients de détection.

#### Conditions d'utilisation

Une deuxième méthode est envisagée afin de préciser le taux de détection, et donc de mieux appréhender la variabilité des coefficients de détection et *in fine* les conditions d'utilisation (limites du système). Il s'agit ici de parvenir à déterminer le jeu de coefficients qui permette la meilleure détection, c'est à dire à maximiser le nombre de « Vrais Positifs » tout en limitant au plus le nombre de « Faux positifs ».

Pour ce faire, les bulls présents sur un enregistrement seront systématiquement marqués sous Audacity. Bullomat permettra ensuite d'évaluer l'efficacité de la détection avec les coefficients de Précision, de Rappel et la F-mesure.

Une telle approche permettra de valider les observations faites cette année à partir des enregistrements disponibles. Il semble que des groupes soient formés par sites (signatures spectrale) et/ou selon les conditions environnementales rencontrées (débit, vent, intensité de la reproduction) et pour lesquels le jeu de coefficients optimal varie peu.

L'application de cette méthode sera réalisée, compte tenu du temps de traitement que cela représente, sur certains enregistrements ou échantillons jugés représentatifs.

Pour chacune des méthodes, une attention particulière sera portée au temps passé à chacune des étapes afin d'estimer les moyens humains nécessaires pour une utilisation en routine ; l'objectif étant de parvenir à définir une méthode d'utilisation opérationnelle pour laquelle on connaisse les moyens humains, financiers, les conditions d'utilisation et l'efficacité de suivi.

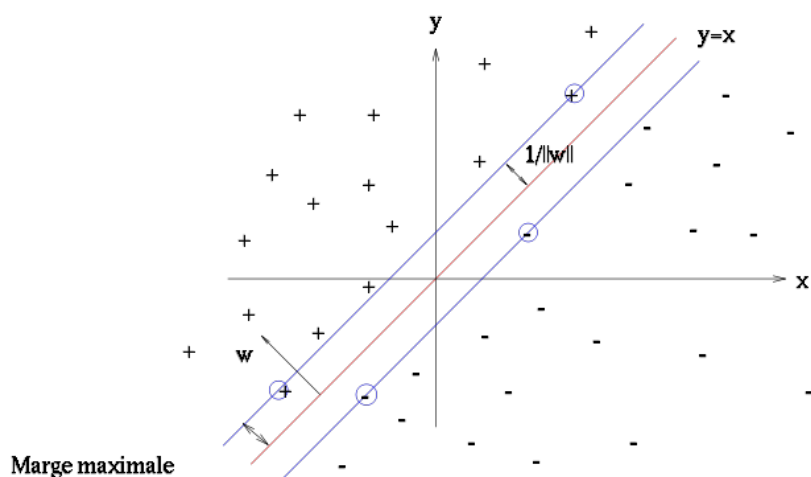
## 6.2 Développement supplémentaire possible

Même si tout développement supplémentaire n'est pas souhaité à court terme, il est intéressant de souligner les points pertinents qui mériteraient d'être étudiés davantage.

- **Automatisation du calcul du rayon de proximité (Rp)**

Limiter le nombre de paramètres de détection à régler par l'utilisateur est indéniablement ce qui est à privilégier pour des futures améliorations. La méthode SVM, déjà testée en 2013 (Diep *et al.*, 2013) a été revisitée cette année. Les Machines à Vecteurs de Support (Support Vector Machine) sont des techniques de classification basées sur un apprentissage supervisé.

Pour rappel, la méthode consiste à trouver un séparateur linéaire entre 2 classes tel que la marge entre les 2 classes soit maximale. Cette marge est limitée par des échantillons appelés vecteurs supports.



*Figure 15 : Représentation de la méthode SVM.*

Les données étudiées sont les données Vidourle du 28/05/2015. Sur ce même fichier, nous avons procédé à plusieurs séparations entre données d'apprentissage et données de test, avec validation croisée.

Le résultat obtenu avec les paramètres  $Rsb = 3$  ;  $Sd = 0,05$  est le suivant :

Date	Bulls manu	Bulls	VP	FP	FN	Pr	Ra	Fm
28/05	22	26	15	11	7	0,577	0,682	0,625

On obtient ainsi un résultat assez proche de la méthode de comparaison spectrale précédente. Un aspect intéressant est que le paramètre de proximité  $R_p$  n'intervient plus dans la méthode, le principe étant d'obtenir la marge maximale entre les 2 classes au moyen d'une méthode d'optimisation.

Certains inconvénients de la méthode sont liés à l'aspect heuristique de cette optimisation, dont la convergence n'est pas toujours assurée.

La méthode SVM s'avère ici prometteuse, mais avant d'envisager des développements supplémentaires, il est nécessaire de créer une banque de fichiers sons pour un apprentissage de l'algorithme.

- **Evolution du matériel d'acquisition**

Les Smartphones dont nous disposons actuellement, qui fonctionnent sous Windows Phone, ne permettent pas de faire évoluer l'algorithme et l'interface de gestion à distance. D'une part, la puissance de calcul du Smartphone est limitante et d'autre part, Windows bloque la possibilité d'accéder au code source pour intégrer de nouvelles fonctions.

Le passage sous Android, dont la programmation est libre, est une des solutions envisagées. Compte tenu de l'évolution ultra rapide de ces technologies, et du coût qu'un tel transfert de technologie représente (codage + machine + système d'alimentation), un tel investissement n'est pas souhaité pour le moment, la priorité étant de valider le fonctionnement et de caractériser l'utilisation du matériel obtenu.

Lorsque un changement de matériel sera envisagé il faudra envisager une configuration qui limite (voire supprime) le risque de mauvais branchements. Un système élaboré spécialement pour l'acoustique qui ne serait pas soumis (moins) à l'évolution des micro-technologies peut être envisagé, les réels besoins devant d'abord être précisés.

## 7 CONCLUSION

La campagne 2015 a permis de constater que le fonctionnement du Smartphone, entièrement revu par DIVULCO, a été fiabilisé. Les enregistrements fournis sont correctement datés et d'une qualité suffisante en ce qui concerne les amplitudes des signaux.

L'objectif de l'étude consistait à améliorer les performances de la détection et du comptage de bulls.

Dans cette optique, nous avons réalisé :

- une estimation en ligne du niveau de bruit : la prise en compte adaptative de la puissance du bruit Pb permet d'obtenir une détection mieux calibrée et plus performante. Elle permet aussi de supprimer un paramètre de réglage qu'il était nécessaire de saisir avant chaque enregistrement. Ce calcul a été pris en compte dans la version 2015 du programme du Smartphone.

- une procédure d'évaluation hors ligne des performances de la méthode : pour cela nous avons intégré dans un programme sur PC "Bullomat" un outil d'évaluation, basé sur la prise en compte du marquage manuel des bulls sur les enregistrements.

- une estimation *a posteriori* du meilleur jeu de paramètres, par une utilisation systématique du programme d'évaluation sur un ensemble de paramètres.

Le système dont nous disposons maintenant est opérationnel sur le terrain mais l'utilisation de l'algorithme et la variabilité de l'efficacité de détection demandent encore à être précisées. L'objectif de la campagne 2016 sera de parvenir à définir une méthode d'utilisation opérationnelle pour laquelle on connaisse les moyens humains, financiers, les conditions d'utilisation et l'efficacité de suivi.

L'acquisition d'enregistrements sera poursuivie sur le bassin du Rhône et élargie à de nouveaux sites en fonction de l'activité de reproduction observée (Gardon, Ardèche). Le partenariat avec Logrami et l'EPTB Charente sera reconduit, pour permettre la calibration de l'algorithme et l'estimation du temps de manipulation que cela représente pour obtenir une estimation du nombre de bulls. Ces tests permettront de définir différents scénarios d'utilisation du système pour les campagnes à venir.

## REFERENCES

- Boisneau, P., Menesson-Boisneau, C., et Baglinière, J.-L. 1990. Description d'une frayère et comportement de reproduction de la grande alose (*Alosa alosa* L.) dans le cours supérieur de la Loire. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 316: 15-23.
- Cassou-Leins, F., et Cassou-Leins, J. J. 1981. Recherches sur la biologie et l'halieutique des migrateurs de la Garonne et principalement de l'alose *Alosa alosa* L. Institut national de polytechnique de Toulouse. 382 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., Meinouni, A., Nonon, H., Delhom, J., Lebel, I., et Roure, F. 2010. Etude de signaux sonores pour le suivi des aloses-Campagne 2008. Association MRM, Ecole des Mines d'Ales, Association DIVULCO et GECO Ingénierie. 20 pp.
- Diep, D., Marc, I., et Vimont Yannick. 2014. Suivi acoustique des frayères d'aloses Rapport Technique -RT/LGI2P/14/002. Association MRM, Ecole des Mines d'Ales, Association DIVULCO et GECO Ingénierie. 17 pp.

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Composition d'une station d'enregistrement acoustique.....	2
Figure 2 : Installation acoustique sur la frayère de Saint-Laurent d'Aigouze (Vidourle) lors de la précampagne.....	3
Figure 3 : Schéma technique du fonctionnement du programme Allo-Z (DIVULCO).....	4
Figure 4 : Représentation schématique du fonctionnement de l'algorithme de détection des bulls.....	5
Figure 5 : Onglet d'ouverture du Bullomat.....	7
Figure 6 : Onglet Détection du Bullomat.....	8
Figure 7 : Fichier créé par le Bullomat en fin de détection.....	8
Figure 8 : Extrait visuel d'un fichier sonore.....	9
Figure 9 : Onglet Evaluation du Bullomat.....	9
Figure 10 : Marquage d'un bull sous Audacity et fichier texte associé.....	9
Figure 11 : Onglet Calibration du Bullomat.....	11
Figure 12 : Zone de suivi de la reproduction des aloses à Saint-Laurent d'Aigouze sur le Vidourle.....	12
Figure 13 : Installation d'une station acoustique par LOGRAMI.....	13
Figure 14 : Représentation de l'évolution du Critère Fm dans l'espace défini par (Rsb, Rp et Sd).....	15

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Matrice de confusion.....	10
Tableau 2 : Détail des enregistrements analysés cette année.....	14
Tableau 3 : Efficacité de détection pour la nuit du 28 mai 2015 à Saint Laurent d'Aigouze en fonction des coefficients appliqués.....	15
Tableau 4 : Paramètres maximisant le critère Fm (Vidourle).....	16
Tableau 5 : Résultats avec $R_{sb}=4$ ; $R_p=0,23$ ; $S_d=0,05$ .....	16
Tableau 6 : Paramètres maximisant le critère Fm (autres frayères).....	17

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



Provence-Alpes-Côte d'Azur



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,  
Union Régionale des Fédérations de Pêche de l'Arc Méditerranéen (URFAM),  
Union Régionale des Fédérations de Pêche Rhône Alpes (URFEPRA).



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