

**Projet de Fin d'Etudes**

## **Estimation des densités animales : Les techniques d'imageries**



**2018**

**Directeur de recherche**  
**BOISNEAU Catherine**

**MUTEL Stephane**

# **Estimation des densités animales : Les techniques d'imageries**

**Boisneau Catherine**

**Mutel Stephane**

**DAE5-2018**

## AVERTISSEMENT

---

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

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

## **Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement**

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

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

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

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

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



## REMERCIEMENTS

---

Je tiens à remercier en premier lieu Mme Boisneau pour sa confiance, sa patience et son aide précieuse dans la réalisation, amélioration et finalisation de ce rapport

Je voudrais également remercier Pascale Le Halper pour son aide à la bibliothèque, notamment dans l'obtention des documents les plus « capricieux »

Je remercie également Mr F.Brilloux et T.Poulain, pour leurs conseils, précisions et informations concernant l'utilisation des sondeurs récréatifs, notamment ceux de la marque Navicom

Table des matières

Introduction.....	10
1. Matériel et méthode .....	12
1.1 Mots clés et résultats .....	12
1.2 Choix et traitement des articles .....	13
2. Estimation des densités animales par prises de vues aériennes .....	13
2.1 Principes généraux et mise en place .....	13
2.1.1 Découpage de la zone d'étude et calculs .....	14
2.1.2 Répartition des individus et types d'échantillonnage .....	17
2.2 Apport de la technologie .....	19
2.2.1 Les appareils .....	19
2.2.2 L'imagerie .....	20
2.3 Facteurs correctifs et discussions .....	21
2.3.1 Facteurs d'erreurs.....	21
2.3.2 Facteurs correctifs .....	22
2.3.3 Discussion .....	23
3. Techniques d'hydro-acoustique .....	24
3.1 Principes d'hydroacoustique et mise en place .....	24
3.1.1 Notions d'hydroacoustique et coefficients clés .....	24
3.1.2 Mise en place et choix des appareils .....	26
3.2 Avancées technologiques et vulgarisation .....	27
3.2.1 Besoins de standardisation .....	27
3.2.2 Développement des « appareils de loisir ».....	28
3.2.3 Autres possibilités des sondeurs .....	30
3.3 Facteurs d'erreurs et discussion .....	31
3.3.1 Facteurs d'erreurs.....	31
3.3.2 Discussion .....	32
Conclusion .....	33
Bibliographie.....	33

CITERES

UMR 7324

*Cités, Territoires,  
Environnement et  
Sociétés*

*Equipe IPA-PE*

*Ingénierie du Projet*

*d'Aménagement,*

*Paysage,*

*Environnement*



35 allée Ferdinand de Lesseps

BP 30553

37205 TOURS cedex 3

Directeur de recherche :

Boisneau Catherine

Mutel Stephane

Projet de Fin d'Etudes

DA5

2017-2018

Estimation des densités animales : les techniques d'imageries

**Résumé :** Le suivi des populations est aujourd'hui crucial si les autorités veulent stopper la perte de biodiversité. Cette dernière, en recul dans tous les compartiments du vivant nécessite la mise en place de plans de gestion afin de protéger les espèces animales. Pour ce faire, de nombreux systèmes d'échantillonnages et de suivis sont utilisés. Ils sont pour la plupart coûteux et difficiles à mettre en place. Le présent rapport se propose de présenter deux méthodes ayant prouvé leur fiabilité et présentant des avantages en terme d'implémentation, de standardisation et aux coûts financiers raisonnables. La technique de recensements par vue aérienne, applicable à tous les milieux et un grand nombre d'espèces ainsi que la technique d'hydro-acoustique permettant l'estimation des densités de poissons, aussi bien en eau douce qu'en eau salée. Le présent rapport, n'est pas un guide d'application mais une synthèse des différentes techniques de recensement. Il présente la mise en œuvre ainsi que le traitement des données, notamment via l'application de facteurs correctifs. Une attention particulière a également été portée à l'utilisation des nouvelles technologies : caméras, drones, miniaturisation des systèmes et comment elles permettent de réduire les erreurs d'estimations et les coûts des campagnes. Ces techniques ne révèlent être très efficaces en terme de coût/surface échantillonné, elles sont aujourd'hui largement utilisées et considérées comme précises. Malgré tout, elles peuvent être facilement victimes de biais ce qui peut entraîner des erreurs d'estimation jusqu'à 40%. Les nouvelles technologies, en plus de réduire encore les coûts financiers de ces suivis, devraient également permettre de réduire les facteurs d'erreurs.

**Mots Clés :** recensement / vue aérienne / hydro-acoustique / densité / abondance / estimation

## Introduction

La biodiversité est aujourd'hui de plus en plus menacée. Que ce soit dû au réchauffement climatique ou bien à cause des activités anthropiques, la biodiversité est en recul dans tous les compartiments, comme le signale le rapport planète vivante du WWF (Plan, 2016). Ce rapport souligne notamment le recul des vertébrés de 52% depuis 1970. Il semble impératif de mettre rapidement à disposition des gestionnaires, des méthodes de monitoring des espèces animales. Ces méthodes ont pour but d'aider à la prise de décision et à la mise en place de programmes de gestion (Pereira et Cooper, 2006). Le choix de l'échelle d'application de ces programmes est particulièrement important pour assurer leurs réussites. Autrefois géré à une échelle locale (premier parc national en 1864 aux USA, lois sur l'eau de 1964 en France par exemple (universalis.fr)), avec une multitude d'acteurs, les ressources ont progressivement bénéficié de législation encadrant leur monitoring et sauvegarde en définissant notamment les échelles les plus opportunes de gestion (Dumez, 1996). L'échelle du bassin versant a par exemple été choisie pour la gestion des masses d'eau (LEMA 2006), celle de l'écosystème complet pourrait également être envisagée pour les milieux terrestres ou côtiers (Ventura et al, 2016). Cette augmentation des échelles, propice à des gestions efficaces et durables implique de nouvelles méthodes de suivis, adaptées à de grands espaces.

Les techniques modernes d'imagerie haute définition, leur miniaturisation ainsi que le développement des engins volants ne nécessitant pas l'action direct de l'homme comme les drones ont de plus en plus d'applications militaires et civiles (Martin et al., 2012). Leurs utilisations à des fins environnementales, pourraient permettre un suivi à large échelle de certaines populations animales. Les données sur la taille des populations et/ou la densité des grands mammifères sont en effet essentielles pour la gestion des espèces sauvages, leurs conservations ainsi que le management des forêts ou de l'utilisation du sol. La collecte de ces données est fastidieuse, couteuse et parfois impossible par les techniques terrestres habituelles telles que le comptage, les pièges photo ou par capture-marquage-recapture (Franke et al, 2012). Les avantages de la technique des recensements par prise de vue aériennes sont multiples :

- Applicable à un grand nombre d'espèces, terrestres et marines du moment que leur taille permet leur observation à une altitude raisonnable
- La surface couverte (1000 ha/heure) (Franke et al., 2012)
- La possibilité d'obtenir des informations sur l'habitat et la répartition des individus en même temps
- L'expérience de nombreuses études, appliquées à divers types d'espèces permettant des retours d'expériences et la mise en place de facteurs correctifs pour réduire les erreurs
- La standardisation des études et leur répétitivité rendant possible les suivis et comparaisons en fonction du temps, des espèces ou des habitats.

Les techniques d'estimations de densités animales par prises de vues aériennes, bénéficient grandement des avancées technologiques, notamment issues de la technologie militaire. Un autre domaine bénéficiant

largement de ces avancées technologiques est le monitoring et l'estimation des densités de poissons par les techniques dites d'hydroacoustiques. Issues des pêcheries industrielles, ces techniques sont de plus en plus utilisées pour suivre les populations de poissons des grands écosystèmes tels que les grands lacs américains ou européens (Draštík et al., 2017). Ces systèmes très coûteux à la fin du XXème siècle sont aujourd'hui miniaturisés et disponibles pour les pêches récréatives (McInnes et al., 2015) ce qui permet de grandement diminuer les coûts des campagnes de recherches et ainsi élargir les connaissances sur les espèces et les milieux.

De par la grande différence entre les deux techniques qui seront abordées ici : milieux, espèces cibles etc... Le rapport comportera une partie commune de méthodologie de recherche. Dans un deuxième temps, la technique des recensements par prises de vues aériennes sera explicitée (champ d'application, mise en œuvre etc.) et discutée (facteurs correctifs, apport des nouvelles technologies). La troisième partie de ce rapport sera structurée de façon similaire à la deuxième mais s'attardera sur la/les techniques d'hydroacoustique.

## 1. Matériel et méthode

Deux moteurs de recherche scientifique Google.Scholar et Science direct ont été utilisé pour trouver les informations nécessaires à l'élaboration de ce rapport.

### 1.1 Mots clés et résultats

Diverses combinaisons de mots clés ont été renseignées dans les barres de recherches des deux moteurs précédemment cités (Tableau 1).

Table 1: Mots clés et nombre articles obtenus

	Science direct	scholar
<i>acoustic estimates of fish abundance</i>	6	3
<i>aerial surveys</i>	4	4
<i>animal density estimation</i>	1	0
<i>animal population estimation aerial view</i>	1	2
<i>drone count fish</i>	1	2
<i>fish abundance estimation methods</i>	1	1
<i>fish aerial surveys</i>	1	2
<i>fish density estimation</i>	3	3
<i>fish estimation aerial view</i>	0	1
<i>hydroacoustic estimates of fish abundance</i>	7	5

Tous les articles étudiés via ces moteurs de recherches (48) ne sont pas nécessairement cités dans le développement qui va suivre mais ils ont contribué à la compréhension globale du sujet. Des articles (une dizaine) ont également été trouvés après la lecture d'articles trouvés via les moteurs de recherche scientifique. Les travaux de Jolly (Jolly, 1969) et de Cochran (Cochran, (1977)) sont notamment cités dans quasiment tous les articles, pourtant ils n'apparaissent pas nécessairement dans les articles les plus pertinents avec les mots clés précédemment évoqués. Les suggestions de Science direct à la suite de la consultation/téléchargement d'articles ont également permis d'accéder à une douzaine d'articles qui ont participé à la compréhension des méthodes exposées ci-dessous.

## 1.2 Choix et traitement des articles

Les résumés des articles trouvés sur des différents moteurs de recherches ont permis de sélectionner les articles qui ont été par la suite complètement étudiés. Il était nécessaire que l'article ne soit pas « un simple compte rendu » d'une étude portant sur une espèce précise sur un territoire donné. Les articles retenus pour une lecture globale, la prise de note et l'enregistrement dans la base de données de citation (via l'outil bibliographique Mendeley) devaient traiter plus particulièrement la méthodologie, que ce soit le recensement d'un groupe particulier : grands herbivores, mammifères marins, la mise en place globale d'une campagne d'échantillonnage aérien ou hydroacoustique ou les différents facteurs correctifs applicables aux études en général. Les articles moins généralistes sont assez redondants, matériel et méthode plus ou moins similaires, les variations venant principalement du territoire et de l'espèce étudiée. Ces types d'articles ont été étudiés plus rapidement, seulement les parties matérielles et méthodes ont été détaillées afin d'avoir une vue globale des possibilités en fonction des moyens et des spécificités des études. Pour ce rapport, il était nécessaire de s'attarder sur des publications explicitant, théorisant la mise en place des campagnes, les facteurs déterminants, les sources d'erreurs et les éventuels facteurs correctifs nécessaires pour une estimation au plus juste des densités et abondances.

Chaque article retenu a ensuite été lu, une fiche de lecture associée à chaque article récapitule les points les plus intéressants et utiles à la construction du présent rapport. Les fiches de lectures se composent d'un ensemble de relevés de citations, tables et figures pouvant potentiellement participer à la compréhension des méthodes dans le présent rapport. Ces fiches contiennent parfois également des paragraphes entiers, synthétisant tout ou partie d'un paragraphe de l'article qui pourront être inclus tel que dans ce rapport.

## 2. Estimation des densités animales par prises de vues aériennes

### 2.1 Principes généraux et mise en place

La gestion des ressources animales nécessite des informations précises sur différents paramètres d'une population tels que la densité, les taux de survie et de naissances (Samuel et Pollock, 2012), la répartition et les changements au cours du temps (aussi bien à l'échelle saisonnière que l'évolution sur plusieurs années). Dans les zones densément couvertes par les forêts, les méthodes traditionnelles de suivi, piège photo ou capture marquage recapture ne sont pas très précises ni « cost-efficientes » (Franke et al., 2012). Pour pallier à cela, des études aériennes ont été utilisées depuis les années 40 pour estimer la taille des populations d'animaux sauvages (Kenneth et al., 2017).

L'échantillonnage aérien devra être statistiquement représentatif de la population à recenser. Les estimations doivent également être fiables : proche du nombre réel avec des intervalles de confiance faibles (Bouché, 2008)

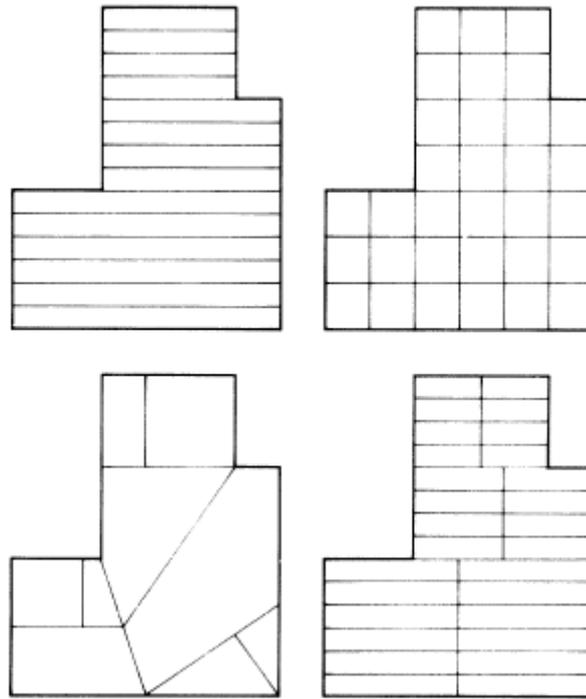
### 2.1.1 Découpage de la zone d'étude et calculs

Les premiers éléments à prendre en compte pour l'échantillonnage d'une zone au moyen d'engin aérien sont la topographie et la surface de l'aire d'étude. Les études aériennes vont en effet produire des données sous la forme : nombre d'individus/surface donnée. Il est donc nécessaire de parfaitement connaître la surface de la zone d'étude afin d'être en mesure de calculer l'effort d'échantillonnage (surface échantillonnée/surface totale) et d'accéder aux estimations de populations et densités globales. La topographie est également très importante puisqu'elle permettra de favoriser le type de découpe de la zone d'étude (transects, quadrats, sections) et de définir les plans de vols.(Bouché, 2008).

On distingue 3 types de découpages (figure 1 d'après (Caughley, 1977)) :

- Le transect en bandes, qui sera survolé en ligne droite avec la présence d'observateurs de chaque côté de l'appareil, surveillant une bande de part et d'autre de l'avion
- Le quadrat, découpage en carré, permettant un survol non plus en ligne droite mais avec des vols circulaires, voir stationnaires – l'hélicoptère devenant l'appareil le plus adapté à ce type de découpe
- La section, les surfaces ne sont plus nécessairement de tailles égales et le découpage est fait en fonction d'obstacles (route, ligne de crête, rivière)

Le choix du mode de découpage de la zone d'étude doit se faire en fonction de la topographie, de la surface de la zone à étudier ainsi que des moyens disponibles (type d'appareil, pilotes, ressources financières et humaines). En règle générale, les transects sont tout de même favorisés et fournissent les meilleurs résultats grâce à leur facilité de mise en œuvre et leur standardisation aisée (Seber, 1986).



*Figure 1: types de découpes de l'aire d'étude, sens horaire: transect en bande, quadrat par vol circulaire, quadrat ligne droite et section*

Quels sont les avantages du quadrat ? Et dans quelle situation le préférer aux transects en bandes ?

- Temps d'observation aussi long que nécessaire à l'observateur pour voir et compter les individus, plus de problèmes liés à la vitesse ou au vol unidirectionnel
- Chaque quadrat peut être cherché un nombre de fois égal au nombre des différentes espèces présentes sur la zone pour établir un comptage précis de chacune d'elles
- Le survol prolongé d'une zone conduira tout animal à se révéler par sa fuite
- Les difficultés de vols liées aux transects en bande n'ont plus lieu d'être (altitude constante, suivi des lignes etc)
- Altitude modifiable pour permettre aux observateurs d'identifier et compter les différentes espèces
- Les terrains accidentés sont plus faciles à échantillonner en quadrat que par transect
- La visibilité des animaux est globalement plus élevée en quadrat qu'en transect

En revanche il est plus difficile d'apporter des facteurs correctifs aux quadrats. En effet, les facteurs correctifs relatifs à la visibilité des animaux ou même de la nature du terrain, sont affectés par le temps de vol au-dessus de la surface à échantillonner et l'altitude (potentiellement différent pour chaque quadrat). En effet, les conditions d'observation et de comptage pour les quadrats ne sont pas parfaitement identiques pour

chaque quadrats, alors que les facteurs correctifs sont eux issus de la standardisation des différents paramètres (vols, conditions météo etc.)(voir II-3).(Caughley, 1977)

Une fois le découpage des unités-échantillons fini, un certain nombre d'unités sera choisi au hasard et proprement inventoriées. Le principe de recensement reste identique pour n'importe quel type de découpage : un survol de la zone au cours de laquelle les observateurs notent le nombre d'individus, observés. Il est intéressant de noter le plus d'informations possible lors de ces repérages comme le sexe, la taille du groupe d'individus si l'étude porte sur des animaux grégaires, l'heure d'observation et ce pour chaque surfaces d'échantillonnages (chaque quadrat ou transect). On calcule ensuite la densité animale par unité de surface avec la formule suivante(Bouché, 2008) :

$$D_s = \frac{\left( \sum_{i=1}^n N_i \right)}{\left( \sum_{i=1}^n S_i \right)} \Leftrightarrow D_T = \frac{N_T}{S_T}$$

$N_i$  : nombre d'animaux de l'espèce comptés dans l'unité-échantillon  $i$  ;

$S_i$  : superficie de l'échantillon  $i$  ;

$n$  : nombre d'unités-échantillons recensées ;

$D_T$  : Densité totale ;

$N_T$  : nombre total d'animaux de l'espèce ;

$S_T$  : superficie totale ;

L'estimation totale de la population en nombre d'individus est obtenue en calculant la moyenne d'individus par surfaces échantillonnées. Puis en multipliant par le nombre de transects totaux (dans le cas de figure où tous les transects font la même surface).

Exemple :

Une aire d'étude de 100ha que l'on divise en 10 transects de 10ha. On décide de réaliser un effort d'échantillonnage de 50%, 5 transects seront donc survolés en ligne droite et le nombre d'animaux indiqué : T1 : 10 – T2 : 12 – T3 : 8 – T4 : 14 – T5 : 5 soit 49 individus. La moyenne d'individus par échantillons est donc de :  $49/5 = 9,8$  individus/unité échantillon. L'estimation de la population totale sera donc de 98 individus pour 100ha.

La variance de l'échantillon s'exprimera par :

$$s_y^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \left\{ \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \right\}$$

Avec  $n$  : le nombre de d'unité-échantillons

$N$  : le nombre total de transects

$y$  : le nombre d'animaux dans chaque unité

La variance de la population totale s'exprimera par ;

$$\text{Var}(\hat{Y}) = \frac{N \cdot (N - n)}{n} \cdot s_y^2$$

L'erreur standard, donnant accès à l'intervalle de confiance à 95% par exemple sera calculée comme ci-dessous (Bouché, 2008) :

$$SE(\hat{Y}) = \sqrt{\text{var}(\hat{Y})}$$

$$IC95\% = \pm t_{1-\alpha/2} \cdot SE(\hat{Y})$$

(Facteur alpha de la table de Student)

Dans notre cas :

$$s_y^2 = 12.2$$

$$\text{Var}(Y) = 122$$

$$SE(Y) = 11$$

$$IC95\% = 30.5$$

Soit une population totale estimée entre 68 et 129 individus.

### 2.1.2 Répartition des individus et types d'échantillonnage

La distribution des individus sur la surface échantillonnée peut non seulement varier au fil des saisons mais également au sein des différentes unités échantillons elles même. On peut la considérer comme uniforme, ce qui est quasiment impossible (variance  $s^2=0$ ), aléatoire, un cas de figure également très rare ( $s^2=m$ ). Elle

peut également être qualifiée d'agrégative (Bouché, 2008), l'agrégation sera d'autant plus grande que l'espèce sera grégaire (attention aux périodes de reproduction). La disposition des « ressources » : point d'eau, zone nourricière, couvert particulier peuvent également être un facteur d'agrégation. Et les densités seront encore plus variables si des ressources naturelles (e.g point d'eau qui concentre les animaux) ou aménagements anthropiques (e.g : route qui a un effet répulsif et dispersif) selon la sensibilité des espèces. Pour limiter les erreurs, il sera opportun de définir les transects, perpendiculaires à ces types d'éléments (rivière, route) pour éviter qu'un certain nombre de transects soient complètement impactés par ces derniers. De plus, les transects seront choisis aléatoirement pour éviter les biais liés à un échantillonnage préférentiel pouvant générer jusqu'à 40% d'erreurs d'estimation de populations (Conn, Thorson, & Johnson, 2017).

Pour pallier à une répartition hétérogène des individus, l'échantillonnage systématique peut être envisagé. Bien plus coûteux, il consiste à échantillonner la totalité de la zone (effort d'échantillonnage = 100%). Paradoxalement, l'échantillonnage systématique se révèle moins précis lorsque les individus ont une distribution homogène. (Bouché, 2008). De plus, il ne semble pas y avoir de formules explicites permettant de calculer l'erreur standard d'un échantillonnage systématique.

Concernant l'échantillonnage partiel, avec transects choisis aléatoirement, deux cas de figures sont possibles : avec remplacement ou non. L'échantillonnage avec remplacement permet à un même transect « de sortir deux fois » lors de la sélection des transects par utilisation d'une table randomisée par exemple (Bouché, 2008; Caughley, 1977).

L'échantillonnage sans remplacement est plus précis qu'un échantillonnage avec remplacement. Chaque transect ne peut être pris en compte qu'une fois. Le gain de temps d'un échantillonnage avec remplacement n'est pas si important au final, même pour des échantillonnages « importants » (Caughley, 1977) (effort d'échantillonnage). Pour des échantillonnages inférieurs à 10% de la surface totale, la différence de précision entre les deux méthodes augmente. L'avantage de l'échantillonnage avec remplacement réside dans le fait qu'il rend les études plus flexibles, notamment en termes de design de l'étude et des plans de vols. Les erreurs de vols lors d'une étude sans remplacement, peuvent conduire au recoupement de transects et donc une étude sans remplacement devient, en fait, une étude avec remplacement. Les formules d'estimation n'étant pas les mêmes, les erreurs générées sont au final plus importantes que si on avait mené un échantillonnage avec remplacement tout du long. Si l'étude prévoit, plus de 20 % d'intensité d'échantillonnage, que de bonnes cartes et de bons pilotes permettent d'assurer une parfaite délimitation des transects et le respect de ceux-ci alors l'échantillonnage sans remplacement est préférable, dans le cas contraire l'échantillonnage avec remplacement fournira des résultats plus proche de la réalité.

L'échantillonnage complet apparait comme étant plus précis qu'un échantillonnage aléatoire si la distribution des animaux est hétérogène au sein des unités de surface. A l'inverse, si la distribution est homogène, l'échantillonnage partiel et randomisé donnera des résultats plus précis.

Dans le cas d'une étude, où l'on souhaite établir la distribution des animaux et leur abondance, l'échantillonnage systématique (complet) est plus approprié si la précision de l'erreur standard n'est pas une des préoccupations principales. Dans le cas contraire, un échantillonnage randomisé sera à prioriser. (Caughley, 1977)

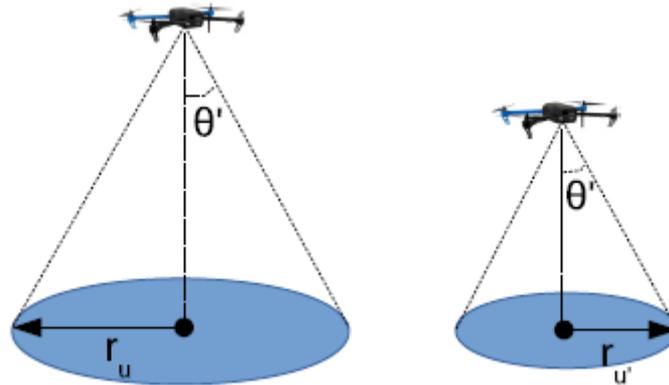
## 2.2 Apport de la technologie

### 2.2.1 Les appareils

Un des facteurs limitant des campagnes de recherche d'estimation des populations est le prix de revient de celles-ci, notamment lorsque les surfaces à couvrir sont importantes. Le calcul des coûts doit inclure la location de l'appareil, son entretien, le carburant, le salaire du pilote et des observateurs etc. (Bouché, 2008). Les prix s'envolent rapidement pour atteindre 1000€/h pour l'utilisation d'un hélicoptère ou d'un avion permettant à 4 personnes d'embarquer (pilote, co-pilote et deux observateurs. (Franke et al., 2012). La technologie a permis une réduction permanente des engins volants motorisés : ULM, « Micro-Light aircraft » puis drones, permettant de réduire progressivement les coûts mais nécessitant quelques adaptations. En effet, ces engins ne sont pas en mesure d'embarquer un nombre d'observateur suffisant pour les études classiques. Un pilote (parfois un observateur en plus) ou pas de pilote direct dans le cas des drones. En soit, comme le précise (Ventura et al., 2016) « *Any technique involving only the direct human intervention has several limitations* » comme les distances couvertes, le temps pour le faire et bien évidemment le coût financier. De plus, ces « nouveaux appareils » et notamment les drones procurent d'autres avantages par rapports aux « gros » engins traditionnellement utilisés (Martin et al., 2012) :

- Une empreinte écologique réduite
- Une sécurité plus élevée
- Moins d'impact sur les populations sauvages (perturbations comportementales)
- Des plans de vols préenregistrés ne permettant pas d'erreurs de vols
- L'embarquement d'appareils d'imagerie remplaçant les observateurs et ne laissant pas de place dans l'erreur des surfaces échantillonnées (cf figure 2 d'après (Zorbas et al, 2016))

- Le géo-référencement des photos prises et la possibilité de créer un modèle 3D de toute la zone survolée – permet également de créer facilement des cartes d'habitats, aussi bien terrestres que marines/sous-marines.(Ventura et al., 2016)
- La réduction des biais issus des erreurs d'observations « humaines » (voir partie II-3)



*Figure 2: Schématisation de l'efficacité des drones et caméras embarquées pour connaître parfaitement la surface échantillonnée (teta: paramètre de la lentille de l'appareil photo)*

### 2.2.2 L'imagerie

Le développement du matériel optique, notamment du numérique, offrent de nouvelles possibilités pour la recherche, comme la capacité d'enregistrer complètement les survols et d'analyser les images par la suite. Outre la flexibilité que cela offre pour les études terrains : réunir un équipage complet au moment propice pour les observations peut s'avérer difficile, elle permet également une réduction importante des coûts. Plus besoin d'autant d'observateurs, de loger et gérer tout un groupe de recherche sur le terrain. Une seule personne peut se rendre sur place, prendre les photos/vidéos à l'aide d'un drone et ramener les données pour analyses sous format numérique. Les prix des appareils optiques ont également fortement diminués, une caméra sport filmant en HD, 60 images secondes, coûte aujourd'hui « seulement » quelques centaines d'euros (Type GoPro). Le développement des grands angles permettent de voler à des altitudes adéquates pour le repérage/identification des espèces et couvrir en même temps une large zone : 450m d'altitude pour une bande de presque 100m (strip transect) (Franke et al., 2012). Les images sont aujourd'hui suffisamment précises et permettent après traitement logiciel de créer instantanément des cartes d'habitats (Ventura et al., 2016) ou le comptage automatique des individus.

L'imagerie de pointe permet également l'implémentation de technologies telles que la vision nocturne ou thermique. La vision nocturne permet un suivi facilité des espèces ayant des mœurs nocturnes, grands prédateurs notamment. La vision thermique permet quant à elle une meilleure détection des individus, couplé à un appareil photo numérique, les opérateurs, peuvent détecter les individus grâce à leurs signatures thermique et les identifier via des photographies « normales »(Franke et al., 2012). Menées à la bonne

période (hiver), le couplage des deux technologies permet une meilleure détection des individus et ce malgré les couvertures végétales. « Le problème » réside dans la potentielle incapacité d'identifier les individus sur ces photos, la signature thermique seule n'est, pour le moment, pas encore capable de donner l'espèce animale détectée. Dans ce rapport, il n'est pas dit si, in situ, un observateur embarqué aurait été en mesure d'identifier l'espèce des différents individus détectés à tous les coups. Dans cette étude, la technique mise en place a permis d'identifier l'espèce de 50% des animaux détectés (Franke et al., 2012). Dans tous les cas, l'intervention d'un observateur humain direct est une des sources principales d'erreurs d'estimation des densités animales au cours d'études aériennes (Routledge, 2018) . L'utilisation de caméra ne permet néanmoins pas de parer à tous les biais potentiels de ce type d'étude et aucun article étudié ne préconise l'utilisation exclusive de caméra comme étant supérieurement efficace à un observateur humain, et inversement. Néanmoins, des facteurs correctifs existent et permettent d'améliorer et d'affiner les estimations de densité, que ce soit par l'observation directe ou par de l'enregistrement d'images.

## 2.3 Facteurs correctifs et discussions

### 2.3.1 Facteurs d'erreurs

Les facteurs d'erreurs sont nombreux, Bouché, dans son cours sur l'inventaire de la faune sauvage (Bouché, 2008) en liste un certain nombre :

- L'élaboration de l'échantillonnage : transects pas parfaitement défini, choix non aléatoires (Conn et al., 2017) erreurs de vol
- Expérience des observateurs : fatigue, double comptages
- Agrégation des individus : le comptage d'un grand groupe d'individus en un seul survol peut se révéler compliqué
- Végétation : un couvert végétal dense empêchera de voir l'intégralité des animaux et conduira à une sous-estimation des effectifs
- Couleur et taille des animaux
- Visibilité et transparence de l'eau pour le recensement de la faune aquatique
- Stratification : variation de densité importante au sein d'une même unité échantillon, l'hétérogénéité qui en résulte induit une variance importante et des estimations moins précises

Une partie de ces biais peuvent être limités voir complètement évités en apportant un soin particulier à la mise en œuvre de l'étude : plans de vols, pilotes expérimentés, altitude constante. Ces biais peuvent être également corrigés grâce à l'utilisation de drones et d'imagerie numérique comme vu précédemment. Pour le reste, il peut être mis en place des facteurs correctifs portant principalement sur la détection et la visibilité

### 2.3.2 Facteurs correctifs

#### Stratification :

La stratification, est une hétérogénéité marquée des densités de populations à cause de leur répartition au sein d'une même unité-échantillon. Cette hétérogénéité peut être connue grâce à de précédentes études (Panigada et al., 2017) observée in situ ou en reprenant les observations effectuées lors du vol. Pour cette raison, il est intéressant de noter le plus d'information lors des échantillonnages sur la répartition des animaux. Des informations telles que le sexe, le couvert végétal leur présence à la surface de l'eau peuvent permettre de diviser par la suite les échantillonnages en strates liées à ces informations et permettre l'application de meilleurs facteurs correctifs ou plus simplement une meilleure estimation des abondances ou densités (Caughley, 1977). Le traitement de la stratification ne bénéficie pas de facteurs correctifs spéciaux, la méthode de Jolly comme explicitée par Bouché (Bouché, 2008) peut permettre une analyse plus fine des résultats mais la majeure partie des biais issus de la stratification se doit d'être résolu en amont. Les strates les plus denses devront bénéficier d'un effort d'échantillonnage proportionnellement plus important (pour plus de détails, voir Bouché, 2008 p20/21).

#### La détection :

La détection des individus est un autre pourvoyeur d'erreur dans les estimations de densité animales par vues aériennes. En effet, au moment du survol, certains individus ne sont pas détectés, dissimilés dans le couvert végétal ou bien confondus avec le sol. Lors d'une étude utilisant la vision thermique, des animaux peuvent être dispersés dans les différents transects afin de connaître le taux de détections de ces animaux en fonction de la couverture végétale. Franke et al, 2012 ont par exemple, disposé des chiens à des positions connues sous différents couverts (champs ouverts, jeunes épicéas, vieux épicéas...) le rapport entre le nombre de chiens détectés par la caméra thermique par rapport aux nombre de chiens disposés permet de calculer un facteur correctif, en supposant que la détection des animaux sauvages (ongulés dans ce cas) soit identique à celle des chiens dans ce type de couvert végétal. De même, en couplant un système de radio-émetteurs sur des individus précédemment capturés et équipés de colliers émetteurs visibles depuis les cieux, un facteur correctif peut être calculé. Les observateurs notent lorsqu'ils repèrent un individu portant un collier émetteur. On compare ensuite ce nombre avec le nombre d'animaux qui étaient dans la zone de façon certaine (grâce à l'émetteur radio, permettant un suivi GPS). Le rapport animaux détectés/animaux effectivement présent permet de corriger l'ensemble des observations sur la zone donnée (Seber, 1986).

### La visibilité :

La visibilité est différenciée de la détection en termes de facteurs correctifs. La détection corrige les estimations sur la base d'une réponse « oui/non » les animaux ont été vu. Les facteurs correctifs de visibilité font intervenir des paramètres sur la facilité de voir les individus comme la taille du groupe/harde, la transparence de l'eau, la température de l'eau, qui affectent le comptage sans impliquer l'expérience de l'observateur par exemple. La transparence de l'eau par exemple détermine fortement la visibilité des créatures marines. Elle peut varier de plusieurs mètres à zéro. Dans de telles conditions, tous les animaux peuvent être considéré comme visibles ou bien uniquement ceux à la surface. Dans le cas des suivis de lamantins, (Marsh et Sinclair, 2017), calculent des facteurs correctifs en supposant que lors d'une surveillance avec une eau claire et cinq mètres de visibilité, tous les animaux sont considérés comme visibles. Le nombre de lamantins observés est renseigné et le nombre de lamantins observés à la surface est précisé. Le rapport lamantins en surface/nombre total donne un coefficient permettant à une étude menée dans des conditions avec une visibilité des individus seulement en surface de retrouver le nombre total de lamantins. La taille des groupes d'animaux est également un facteur important de visibilité, plus un groupe est grand et plus il sera susceptible d'être vu par un observateur (Michael et al, 2012). Ceci conduit à une surestimation de la taille moyenne des groupes et une sous-estimation du nombre moyen de groupe par transect.

On peut également établir d'autres facteurs correctifs en fonctions des paramètres du terrain d'étude et de l'espèce suivie : température de l'eau, période de l'année, couvert végétal etc. « Malheureusement », ces facteurs correctifs doivent être calculés au cas par cas, en utilisant des modèles prédictifs (chiens et caméras thermique, colliers émetteurs) ou en se référant à des études pouvant être considérée comme complètes (observations au sol) (Steinhorst et Samuel, 1989).

### 2.3.3 Discussion

Les études de densité par surveillance aérienne s'appuient aujourd'hui sur une grande expérience (utilisée depuis les années 1940) et bénéficient progressivement des développements technologiques. Pratiques, voire indispensables pour estimer les densités de populations sur de grands espaces, elles permettent également, avec un même protocole d'étudier de nombreuses espèces : ongulés, grands carnivores, grands herbivores africains, mammifères marins, oiseaux... Malgré tout, ces études peuvent engendrer des erreurs d'estimation relativement importantes (jusqu'à 40%). Des facteurs correctifs existent et doivent être utilisé pour approcher au miens les valeurs réelles de densités. La difficulté réside dans le fait qu'on peut potentiellement appliquer des facteurs correctifs pour chacun des paramètres influençant potentiellement la détection ou la visibilité des individus. De nombreux facteurs comme le comportement de l'espèce, sa dispersion, l'expérience des observateurs, le climat, le type d'habitat et de couverture végétale peuvent être

soumis à des facteurs correctifs permettant d'affiner les estimations. Ils consistent généralement en des coefficients multiplicatifs calculés empiriquement. Les modèles peuvent être affinés en considérant des modèles de régression du coefficient en fonction des paramètres tels que la couverture de la végétation, la présence de neige, taille du groupe, sexe ou âge, période de l'année etc. (Steinhorst et Samuel, 1989). Il est bon de noter que les modèles correctifs existent pour le sous comptage mais pas le sur comptage, les observateurs devront renseigner leurs observations en étant certain d'avoir repéré un individu, dans le doute sera préférable de s'abstenir. (Martin et al., 2012).

### 3. Techniques d'hydro-acoustique

Les techniques d'acoustique sont reconnues depuis longtemps comme étant potentiellement les techniques les plus directes et efficaces pour l'estimation des abondances et l'évaluation des stocks de poissons (Dickie et al, 1983). Les sonars ont grandement contribué à notre compréhension des milieux aquatiques (eau douce et salée), notamment pour la distribution des animaux dans le temps et l'espace (MacLennan, et Simmonds, 2013). Les méthodes d'hydroacoustique offre une approche non destructive d'échantillonnage des densités de poissons ainsi qu'un temps et un effort de travail relativement faible (Draštík et al, 2017).

#### 3.1 Principes d'hydroacoustique et mise en place

##### 3.1.1 Notions d'hydroacoustique et coefficients clés

Les techniques d'hydro-acoustique se basent toutes sur le même dispositif de fonctionnement : une sonde émet des ondes acoustiques vers le fond, ces ondes se diffusent dans la colonne d'eau ; lorsqu'elles rencontrent un obstacle, elles sont renvoyées vers un récepteur qui intègre ce retour d'ondes acoustiques et permet de visualiser l'obstacle. Sont considérés comme obstacles tout élément susceptible de réfléchir le signal acoustique : fond, poissons, branches etc.

Un dispositif scientifique « d'aqua-sonding » est composé de divers éléments :

- L'émetteur, qui envoie les ondes, caractérisé par la fréquence des ondes qu'il envoie, leurs longueurs d'onde ainsi que le cône dans lequel celles-ci sont envoyées (figure 3)
- Un transducteur, capte les ondes réfléchies par les différents obstacles, souvent intégré à un « poisson pilote » trainant derrière le bateau de recherche
- D'amplificateur(s), chargé(s) d'amplifier les ondes envoyées et reçues afin de permettre une meilleure visualisation des échos
- Ecrans et logiciel intégrateur, les écrans permettent de visualiser « la trace » de lire et comprendre ce qui se passe sous le bateau. Le système peut être implémenté avec des logiciels permettant une

cartographie directe du fond par exemple ou une intégration des données donnant accès à la densité de poisson.

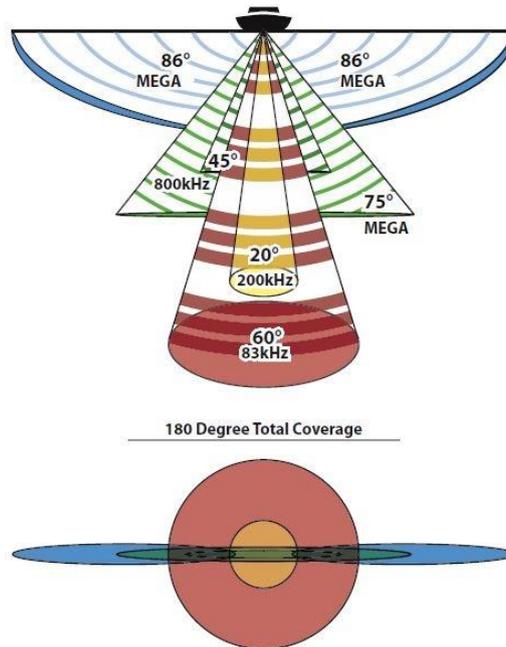


Figure 3: type de sondes, fréquences, faisceaux et surface d'étude (navicom.com)

L'acoustique est une science particulière, avec notamment des subtilités comme l'émission de décibels et l'intégration des données en volts par exemple. Ce type de détails ne sera pas abordé ici, pour cela, merci de consulter (MacLennan, et Simmonds, 2013) ou (Foote et al, 1987).

Comme vu précédemment, de l'énergie acoustique est projetée dans l'eau, afin de détecter les objets par les échos que ceux-ci retournent. L'intensité de l'écho dépend de la quantité de son renvoyé par l'objet. La « Target Strength » (TS) est une mesure quantitative des capacités réflexives de la cible, et c'est cette valeur, intégrée par les différents programmes et logiciels qui permettra d'accéder à des mesures telles que la densité de poisson ou la taille de ces derniers. De nombreux travaux consistent justement à calculer ce TS afin d'affiner les résultats et de limiter les erreurs d'estimation (Dickie et al., 1983; Foote, 1980; Foote, 1987; Love, 1971). Le calcul de TS se base sur l'équation suivante obtenue de façon empirique :

$$TS = 10 \log_{10}(\sigma_{bs}) \quad \frac{\sigma_{bs}}{\lambda^2} = 0.041 \times \left(\frac{L}{\lambda}\right)^{1,94}$$

L : longueur du poisson cible

$\lambda$  : longueur d'onde émise par la sonde

Le TS sert ensuite à deux choses : i) estimer la taille des poissons dans la zone ; ii) établir des calibrages pour l'intégrateur afin d'estimer les populations d'un type de poisson en se basant sur sa taille.

Il existe également des logiciels permettant de calculer in-situ les valeurs des TS pour un type de poisson en se basant sur des données de pêches comme ECOLOG (Dickie et al, 1983), qui donne des résultats fonctionnels proches des calculs en laboratoire). Des facteurs influencent le TS : vessie natatoire, squelette ainsi que la chair et les écailles, le remplissage des intestins, la masse grasse ainsi que l'orientation du poisson par rapport au faisceau d'onde (Appenzeller, 1992). Cette fluctuation implique un intervalle de TS (en décibels) pour chaque cible (figure 4)

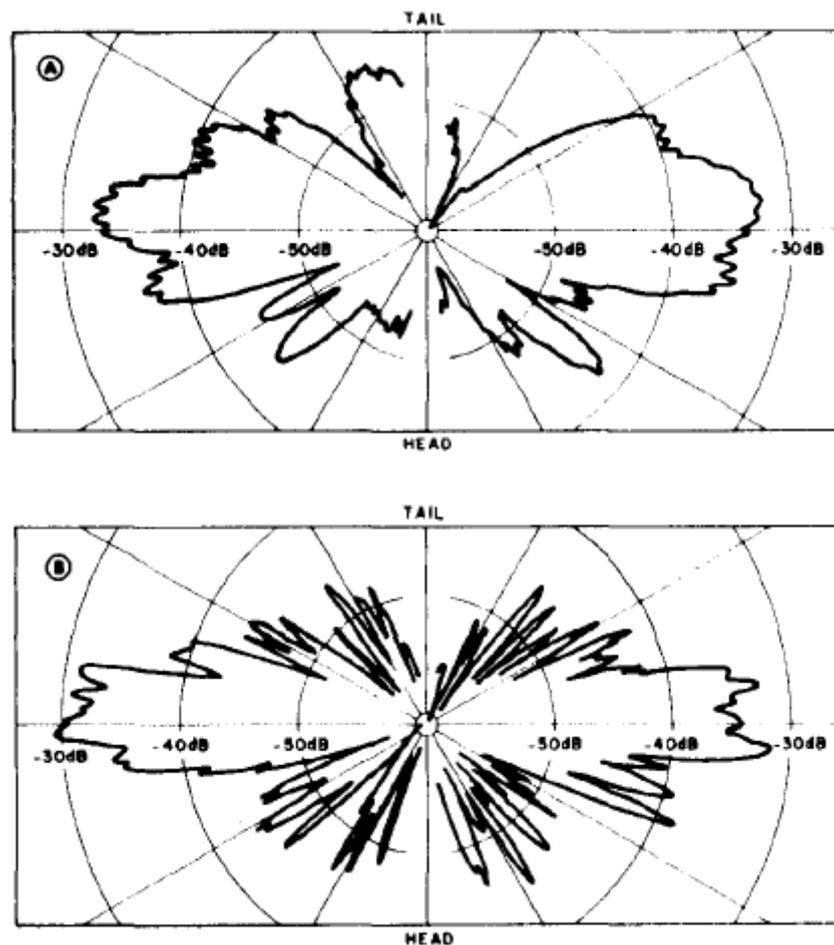


Figure 4:exemples de variation du TS pour un crappet noir de 21cm en fonction de la longueur d'onde et déplacement - (a) 30kHz, (b) 130kHz (d'après Love, 1969)

### 3.1.2 Mise en place et choix des appareils

Autrefois cantonnées aux pêcheries professionnelles et aux milieux marins les avancées technologiques récentes aussi bien des logiciels que des appareils de mesure ont permis d'étendre l'utilisation des méthodes d'hydro-acoustique à l'étude des populations de poissons d'eau (Draštík et al., 2017). Les appareils et leurs

nouveaux paramètres jouent un rôle important avec la multiplication des fréquences disponibles qui permettent une meilleure estimation des biomasses. Les basses fréquences autrefois largement utilisées (18 -50 kHz) conviennent bien aux grands fonds (idéal pour la mer) depuis des fréquences bien plus hautes (200, 400 kHz et plus) (Horne et Jech, 1999) sont aussi utilisées. Les appareils peuvent être à simple, double ou multifaisceaux. Le double faisceau en plus d'offrir une surface de détection plus importante permet de corriger les échos des cibles détectées en bordures du premier faisceau et donc d'obtenir des détections « plus propre » pour interprétation. Le multifaisceau offre une couverture encore plus grande qui s'accompagne d'une perte de précision. Peu utile pour l'estimation des densités, il sera en revanche très utile pour le mapping des habitats et du fond. Concernant, la mise en place de l'étude, la zone à étudier sera divisée en transects à prospecter. Le bateau d'étude navigue le long des transects et les échos sont enregistrés via des logiciels tel que Sonar 5 pro ou Myriax Echoview. L'écho intégrateur permet d'accéder à la biomasse et à la densité en se basant sur un modèle linéaire entre le nombre de détection et la densité totale. Le nombre de détection est quant à lui lié à la TS. Cette approche est décrite en détails dans (Burczynski et Johnson, 1986).

La définition de la TS est probablement l'étape la plus importante dans ce type de campagne puisqu'elle est responsable des calculs de densités automatisés par l'écho-intégrateur. Pour ce faire, on définit un intervalle de taille pour la/les espèce.s étudiées. Avec la formule précédente, on accède à un intervalle des valeurs de TS (en décibel). Lors de l'étude, seuls les échos réfléchis avec une intensité comprise dans l'intervalle de TS seront pris en compte : un point pour chaque cible (poissons). Il est évident que la précision des estimations dépendra de la précision de la calibration du sondeur (Foote et al., 1987) ainsi que de la définition de la TS et des capacités de réflexions des ondes par les poissons.(Peterson, 1976)

L'utilisation de ces systèmes de détections scientifiques s'accompagne nécessairement « *d'hydro-acoustic data-processing software* » qui utilisent des algorithmes d'intégration permettant de calculer des densités moyennes de poissons ainsi que des descriptifs des bancs (concentrations, étalements vertical et horizontal, proximité du fond etc.) (McInnes et al., 2015).

D'autres réglages pourront être nécessaires pour affiner les estimations et limiter les erreurs. Le réglage du Time Varied Gain (TVG) permettra d'éviter les bruits parasites comme ceux du fond ou de différencier un banc très dense de petits poissons d'un banc moins dense de plus gros poissons. (Kocovsky et al., 2013). Cette partie pourrait donner lieu à elle seule à un dossier détaillé, tant les paramètres et équations sont multiples et peuvent influencer les résultats et conclusions des études, pour plus d'informations, consulter (MacLennan et Simmonds, 2013)

## 3.2 Avancées technologiques et vulgarisation

### 3.2.1 Besoins de standardisation

Actuellement, les techniques d'hydroacoustiques produisent les estimations les plus précises et fiables pour de nombreux stocks de poissons. Néanmoins, le développement d'une standardisation de ces méthodes est nécessaire afin d'en faire un outil de monitoring transposable à tous les milieux et types de poissons (Draštík et al., 2017). De plus, la Directive Cadre sur l'Eau demande aux états Européens d'étudier leurs masses d'eau et d'assurer leur bon état écologique (2000/60/EC). Il y a donc un besoin urgent de développer une méthode permettant un suivi de la qualité des écosystèmes. Les informations recueillies devront être fiables, reproductibles et ne pas nécessiter un coût financier et humain trop important (Godlewska et al., 2009). Afin de s'assurer que les matériels d'études et protocoles puissent fournir des données comparables, aussi bien d'une année sur l'autre qu'entre deux masses d'eau, des études comparatives sont menées pour montrer que le type de matériel utilisé n'impacte pas les résultats finaux : fréquences, taille de bateau, comparaisons avec modes de suivis « traditionnels » (observations, filets maillants, marquages etc.) de nombreuses études tendent à prouver que la méthode, proprement appliquée avec des paramètres de calculs (TS, vitesse, ping, fréquence...) adaptés au matériel et aux espèces cibles ne donne pas de différence significative de l'estimation finale (Draštík et al, 2017) (Auvinen et Jurvelius, 1994) (Richards et al 1991).

### 3.2.2 Développement des « appareils de loisir »

Depuis 60 ans, le matériel d'échosondage se développe et se perfectionne (Kocovsky et al., 2013). Il s'est progressivement démocratisé pour l'utilisation des pêcheurs de loisirs en proposant les fonctionnalités des sondeurs scientifiques et commerciaux sans la possibilité d'un traitement des données et l'enregistrement continu des échos. Le résultat est la miniaturisation des appareils et la diminution du prix de ce genre d'appareil. Pour moins de 3000 euros, un bateau peut être équipé d'un appareil multifaisceaux, multi fréquences capable de détecter les poissons et de fournir des informations sur la nature du fond. Les sondes « scanner » à très haute intensité (1200kHz) permettent aujourd'hui de fournir une parfaite image du fond ainsi que la détection et l'identification des poissons directement sur le combiné (Figures 5 et 6, et annexes 1 à 3).

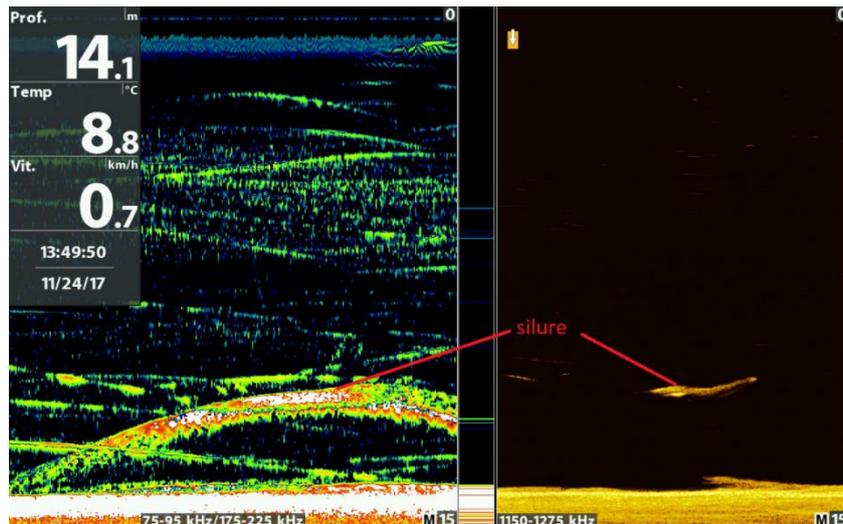


Figure 5: Echo de silure de Loire (source : Navicom)

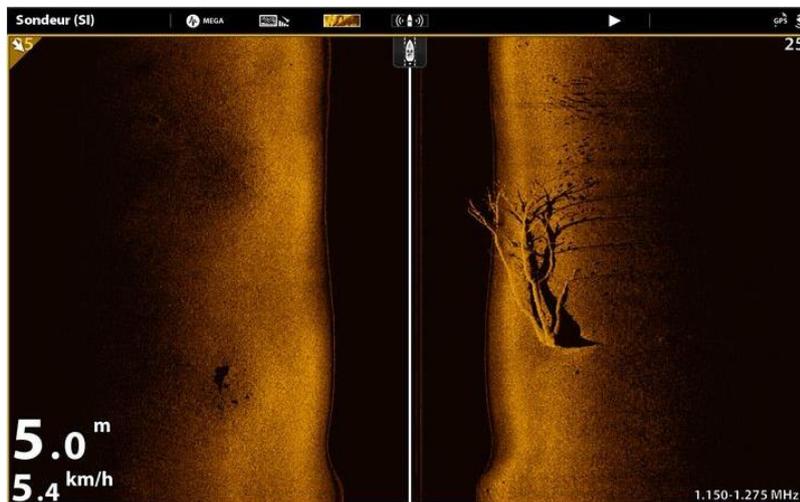


Figure 6: arbre immergé au Mégalmaging (source : Navicom)

Le développement « des dernières technologies (CHIRP- Navicom Huminbird) devrait permettre avec un peu retour d'expérience d'estimer également la taille des individus via leur trace, écho à l'écran » (F.Brilloux, guide de pêche et consultant Navicom par téléphone). Il est également intéressant de noter que des scientifiques ont tenté de comparer l'estimation de la taille de bancs de poissons et de densité en utilisant des sondeurs à visé récréative avec les résultats obtenus en utilisant un sondeur scientifique. Un logiciel, open source, FISH : Fish-finder Image Segmentation Helper, permet d'enregistrer l'écran du sondeur récréatif alors qu'il est normalement effacé en continu. La méthode de traitement employée ci-dessous (figure 7 ) n'a pas montré de différence significative avec les conclusions établies grâce au sondeur scientifique.(McInnes et al., 2015)

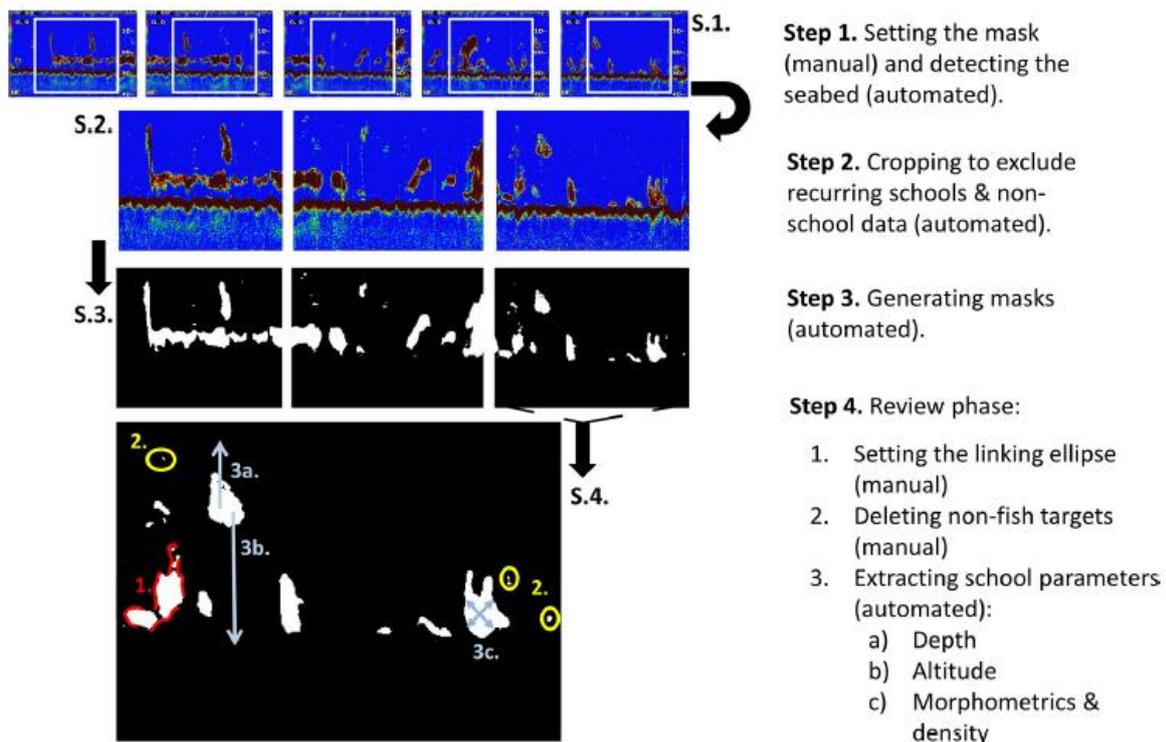


Figure 7: méthode d'analyse des échos de sondeur récréatif pour estimer la morphologie et la densité de bancs de poissons

### 3.2.3 Autres possibilités des sondeurs

La modernisation des équipements et l'augmentation de la puissance des composants informatiques permettent d'envisager des utilisations plus vastes que la simple estimation de densité pour les appareils d'hydroacoustique. Jusqu'à présent, l'identification des espèces de poissons ne se faisait que par capture, photographie sous-marine ou, dans de rares cas, l'analyse des échos par des observateurs/manipulateurs très expérimentés. Les deux premières sont très consommatrices en temps et logistique et la troisième basée sur l'expérience de l'observateur reste peu transposable et incertaine. Il n'existe en effet pas de règles générales pour déterminer l'espèce via la trace laissée sur l'écran du sondeur (Midttun et Nakken, 1969).

Les techniques modernes d'acoustiques sont aujourd'hui en mesure de fournir une large variété d'information à propos des écosystèmes, allant de l'abondance et de la distribution des différentes espèces (macrophytes, poissons, plancton) jusqu'au caractéristiques du fond comme la bathymétrie ou le type de sédiments (Godlewska et al., 2009)

Des logiciels, tel que Visual Habitat de Biosonics Inc, permettent de "transformer" les données des études acoustiques et de caractériser les habitats benthiques (dureté et rugosité). Ces informations sont un gain de

temps énorme pour la localisation et la délimitation des zones de nurseries par exemple pouvant par la suite bénéficier d'un statut de protection (Egerton et al, 2018).

Les fabricants de sondeurs dit récréatifs ne sont pas en reste également avec la mise sur le marché de logiciels permettant de générer la bathymétrie ou les types de végétation/substrats en direct via un ordinateur portable lors de la navigation. (Sylmaps – Navicom)(Figure 8)

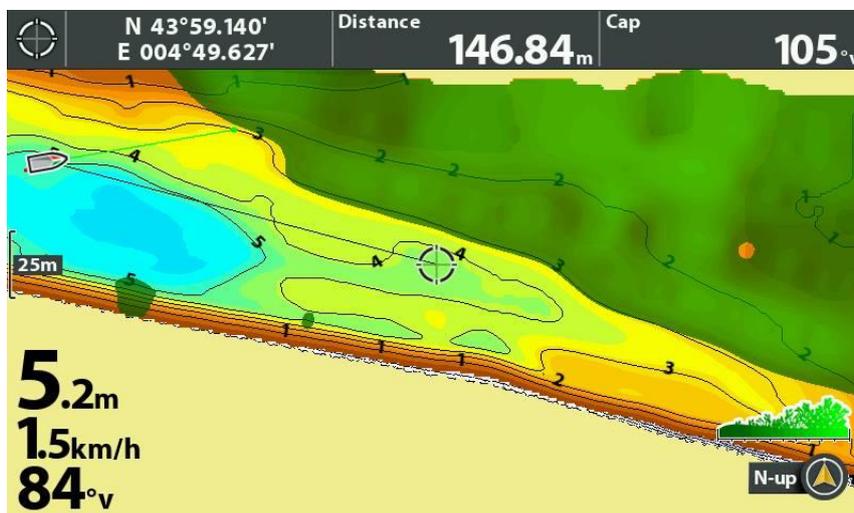


Figure 8: carte de végétation et bathymétrie à partir d'un sondeur Humminbird (photo: T.Poulain)

### 3.3 Facteurs d'erreurs et discussion

#### 3.3.1 Facteurs d'erreurs

Les méthodes d'hydroacoustiques sont standardisables et fournissent des estimations de densités et d'abondances qualifiées de fiables et précises.

Il reste néanmoins beaucoup de facteurs, d'erreurs. Les trois paramètres importants pour réduire ces erreurs sont : la relation entre la TS et la taille des poissons en conditions naturelles, la relation entre TS et la densité de poisson dans la zone insonifiée, la relation entre les distances et les volumes échantillonnés avec le calcul des densités lorsque les poissons se tiennent en bancs. (Dickie et al., 1983).

La TS des poissons dépend de leur taille, du comportement et de la densité globale du banc et il est évident que des incertitudes sur ce paramètre lors des missions de terrain impactent les calculs et interprétations des données recueillies lors des campagnes d'échantillonnage. Une mauvaise appréciation de la TS de l'espèce monitorée risque d'entraîner des biais importants de l'estimation de la densité de poisson. Il est donc indispensable de continuer les études en cage et in-situ qui calculent les TS des espèces de poissons afin d'améliorer la précision des TS en fonction des espèces et plus généralement le nombre d'espèces dont la TS est connue.

Une autre source de biais importante est le phénomène « d'écho shadowing », qui survient lorsque les poissons évoluent en bancs très denses. Les méthodes actuelles de quantification de l'abondance se basent sur l'assomption suivante : la biomasse et l'abondance sont reliées de façon linéaire aux retours d'échos,

donc au nombre de détections obtenues par l'appareil (Appenzeller, 1992; Draštk et al, 2009). Des études ont montré que l'estimation de densité et d'abondance était systématiquement faussée si les poissons étaient agrégés densément. Conduisant à une sous-estimation de l'abondance globale (Draštk et al., 2009; Fréon, et al, 1993) Ce phénomène a tendance à se produire durant le jour, les poissons se concentrant en bancs plus compacts que lors de la nuit. Le facteur d'erreur généré par ce « shadowing effect » peut générer jusqu'à 50% de sous-estimation de l'abondance piscicole (Appenzeller, 1992) qui peut être mesurée avec les modèles de Lytle et Maxwell. Ceci sous-entend également une méthode d'échantillonnage préférentielle, la nuit, pour éviter un phénomène d'agrégation des poissons trop important.

D'autres facteurs peuvent aussi biaiser les estimations comme la taille du bateau de recherche qui peut induire un comportement d'évitement des poissons et donc une sous-estimation encore une fois des densités. (DuFour et al., 2018). L'effet du plancton lors de l'intégration des données peut aussi être source d'erreurs. Il peut en effet représenter l'équivalent d'un poisson en densité intégrée par l'écho intégrateur. Le calcul de TS sera important lors de l'étude de milieux eutrophes, surtout l'été, afin de ne pas rendre possible la détection du plancton et son intégration dans le calcul des densités (Richards et al., 1991).

### 3.3.2 Discussion

Les méthodes d'hydroacoustiques sont de plus en plus utilisées pour quantifier l'abondance et la biomasse des écosystèmes marins ou d'eau douce. Bien qu'étant soumises à de nombreux biais pouvant altérer la précision, elles sont de plus en plus standardisées et s'appliquent à de plus en plus de territoires et d'espèces. Les incertitudes relatives aux calculs de TS et les difficultés d'interprétations de sa forme (figure 4) afin d'accéder à des informations telles que l'espèce, l'âge ou la taille de la cible représentent des axes de travail afin de limiter les erreurs dues à des intervalles de TS non adéquats (Kocovsky et al., 2013).

L'acoustique présente tout de même de nombreux avantages comme le fait que la fréquence et le type d'appareil n'influent et ne faussent pas le calcul des estimations de densité, permettant à « n'importe qui » d'obtenir des estimations fiables (Godlewska et al., 2009). N'importe qui est d'autant plus vrai que la démocratisation des sondeurs « grand public » et leur optimisation devrait permettre de se servir de ces appareils à des fins scientifiques. Bien que ne disposant pas d'écho intégrateur, ces appareils, couplés à un logiciel open source, permettent via les couleurs obtenues par la réflexion des ondes par les cibles et visibles sur l'écran de quantifier de façon effective la taille des bancs de poisson et leur position. Ces appareils ne permettent pas pour le moment d'accéder à la taille des poissons du banc ou la densité exacte mais elle peut permettre pour les appareils disposant des plus hautes fréquences d'identifier in-situ les poissons de la zone (McInnes et al, 2015) (Annexes 1,2 et 3)

Une utilisation intelligente des comportements des poissons, qui diffèrent durant le jour et la nuit pourra aussi permettre d'affiner les estimations.

## Conclusion

Le monitoring des populations animales, terrestre et aquatique est aujourd'hui plus que nécessaire afin de permettre la mise en place de mesures de protection efficaces. De nombreuses techniques sont à la disposition des gestionnaires mais le nombre de techniques, fiables, efficaces permettant un suivi régulier ne demandant ni trop de temps ni un investissement financier trop conséquent ne sont pas légion. Deux grandes méthodes d'estimation des densités ont été présentées. Ces méthodes sont aujourd'hui implémentées sur le terrain depuis de nombreuses années et leur fiabilité n'est plus à démontrer. Ce rapport, ne se voulait pas spécialiste et n'a pas pour but de se placer en guide d'application de ces deux techniques : le recensement aérien et l'hydroacoustique. Ces techniques ont ici été présentées, succinctement, et pour mettre en œuvre ces techniques, la lecture supplémentaires des articles cités se révélera indispensable. Les biais et facteurs d'erreurs ont été identifiés et présentés comme principaux facteurs pouvant mener à des erreurs dans les estimations de densités. Ils sont pour majoritairement imputable à des erreurs humaines ou à des erreurs de mise en œuvre de par la difficulté de mettre en place et de définir tous les paramètres.

L'apport de la technologie moderne présenté ici a pour but d'ouvrir les champs d'utilisation de ces techniques dans le but d'une meilleure compréhension des écosystèmes et de leur protection. Ces nouvelles technologies devraient permettre des estimations plus justes et une facilité de mise en œuvre (simplification, réduction des coûts) bénéfique à la protection de la ressource. Enfin, bien que différentes, ces techniques possèdent également des points communs : utilisation de transects, intégrations de données, facteurs correctifs etc. L'apport de la technologie pourrait permettre de les rapprocher encore plus en utilisant des techniques d'optiques (lasers) depuis de ciel et une intégration des données basées sur un envoi/réception des ondes lumineuses afin de mesurer la taille de bancs de poissons se nourrissant en surface durant la nuit. Malheureusement cette technique ne semble pas être encore au point et il faudra attendre que les technologies évoluent pour encore repousser nos connaissances des milieux.

## Bibliographie

- Appenzeller, a. R. and W. C. L. (1992). Bias in Hydroacoustic Estimates of. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, (1992).
- Auvinen, H., & Jurvelius, J. (1994). Comparison of pelagic vendace (*Coregonus albula*) stock density estimation methods in a lake. *Fisheries Research*, 19(1–2), 31–50.  
[https://doi.org/10.1016/0165-7836\(94\)90013-2](https://doi.org/10.1016/0165-7836(94)90013-2)

- Bouché, P. (2008). Méthodes d'inventaire de la grande faune à l'usage des ZCV. *Manuel Ecofac*, 162.
- Burczynski, J. J., & Johnson, R. L. (1986). Application of Dual-Beam Acoustic Survey Techniques to Limnetic Populations of Juvenile Sockeye Salmon *Oncorhynchus-Nerka*. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 43(9), 1776–1788. <https://doi.org/10.1139/f86-221>
- Caughley, G. (2018). Sampling in Aerial Survey. *The Journal of Wildlife Management*, 41(4), 605–615.
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling Techniques: 3d Ed.* Wiley
- Conn, P. ., Thorson, J. ., & Johnson, D. . (2017). Confronting preferential sampling when analyzing population distributions: diagnosis and model-based triage. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(10), 3218–3221. <https://doi.org/10.1111/ijlh.12426>
- Dickie, L. M., Dowd, R. G., & Boudreau, P. R. (1983). An echo counting and logging system (ECOLOG) for demersal fish size distributions and densities. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 40(57035), 487–498. <https://doi.org/10.1139/f83-067>
- Drašík, V., Godlewska, M., Balk, H., Claburn, P., Kubečka, J., Morrissey, E., ... Guillard, J. (2017). Fish hydroacoustic survey standardization: A step forward based on comparisons of methods and systems from vertical surveys of a large deep lake. *Limnology and Oceanography: Methods*, 15(10), 836–846. <https://doi.org/10.1002/lom3.10202>
- Drašík, V., Kubečka, J., Čech, M., Frouzová, J., Řiha, M., Juza, T., ... Mrkvička, T. (2009). Hydroacoustic estimates of fish stocks in temperate reservoirs: day or night surveys? *Aquatic Living Resources*, 22(1), 69–77. <https://doi.org/10.1051/alr/2009013>
- DuFour, M. R., Mayer, C. M., Qian, S. S., Vandergoot, C. S., Kraus, R. T., Kocovsky, P. M., & Warner, D. M. (2018). Inferred fish behavior its implications for hydroacoustic surveys in nearshore habitats. *Fisheries Research*, 199(March 2017), 63–75. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.11.018>
- Dumez, J. (1996). Le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux Rhône-Méditerranée-Corse, un outil de gestion des espaces fluviaux/Planning and Management Master Plan for Water Resources in the Rhône-Mediterranean-Corsica: a Management too for river basins. *Revue de Géographie de Lyon*, 71(4), 277–285. Retrieved from [http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geoca\\_0035-113X\\_1996\\_num\\_71\\_4\\_4347](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geoca_0035-113X_1996_num_71_4_4347)
- Egerton, J. P., Al-Ansi, M., Abdallah, M., Walton, M., Hayes, J., Turner, J., ... Le Vay, L. (2018). Hydroacoustics to examine fish association with shallow offshore habitats in the Arabian Gulf. *Fisheries Research*, 199(March 2017), 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.12.002>
- Foote, K. . (1980). Averaging of fish target strength functions. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 67(2), 504. <https://doi.org/10.1121/1.383915>
- Foote, K. G. (1987). Fish target strengths for use in echo integrator surveys. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 82(3), 981–987. <https://doi.org/10.1121/1.395298>
- Foote, K. G., Knudsen, H. P., Vestnes, G., MacLennan, D. N., & Simmonds, E. J. (1987). Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. *ICES Cooperative Research Report*, (144), 1–69. <https://doi.org/10.1121/1.396131>
- Franke, U., Goll, B., Hohmann, U., & Heurich, M. (2012). Aerial ungulate surveys with a combination of infrared and high-resolution natural colour images. *Animal Biodiversity and Conservation*, 35(2), 285–293.
- Fréon, P., Soria, M., Mullon, C., & Gerlotto, F. (1993). Diurnal variation in fish density estimate during acoustic surveys in relation to spatial distribution and avoidance reaction. *Aquatic Living Resources*, 6(3), 221–234. <https://doi.org/10.1051/alr:1993023>
- Godlewska, M., Colon, M., Doroszczyk, L., Długoszewski, B., Verges, C., & Guillard, J. (2009). Hydroacoustic measurements at two frequencies: 70 and 120 kHz - consequences for fish stock estimation. *Fisheries Research*, 96(1), 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2008.09.015>
- Horne, J. K., & Jech, J. M. (1999). Multi-frequency estimates of fish abundance: Constraints of

- rather high frequencies. *ICES Journal of Marine Science*, 56(2), 184–199.  
<https://doi.org/10.1006/jmsc.1998.0432>
- Jolly, G. M. (1969). Sampling methods for aerial censuses of wildlife populations. *East African Agricultural Forestry Journal*, 34(January), 46–49.  
<https://doi.org/10.1080/00128325.1969.11662347>
- Kocovsky, P. M., Rudstam, L. G., Yule, D. L., Warner, D. M., Schaner, T., Pientka, B., ... Sullivan, P. J. (2013). Sensitivity of fish density estimates to standard analytical procedures applied to Great Lakes hydroacoustic data. *Journal of Great Lakes Research*, 39(4), 655–662.  
<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2013.09.002>
- Love, R. (1971). Measurements of fish target strength: a review. *Fishery Bulletin*, 69(4), 703–715.
- MacLennan, D. N., & Simmonds, E. J. (2013). *Fisheries acoustics* (Vol. 5). Springer Science & Business Media
- Marsh, H., & Sinclair, D. . (2017). Correcting for Visibility Bias in Strip Transect Aerial Surveys. *The Journal of Wildlife Management*, 53(4), 1017–1024.
- Martin, J., Edwards, H. H., Burgess, M. A., Percival, H. F., Fagan, D. E., Gardner, B. E., ... Rambo, T. J. (2012). Estimating distribution of hidden objects with drones: From tennis balls to manatees. *PLoS ONE*, 7(6), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038882>
- McInnes, A. M., Khoosal, A., Murrell, B., Merkle, D., Lacerda, M., Nyengera, R., ... Pichegru, L. (2015). Recreational fish-finders-an inexpensive alternative to scientific echo-sounders for unravelling the links between marine top predators and their prey. *PLoS ONE*, 10(11), 1–18.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140936>
- Midttun, L., & Nakken, O. (1969). on Acoustic Identification, Sizing and Abundance Estimation of Fish. *FiskDir. Skr. Ser. IiavUnders*, 6, 36–48. Retrieved from  
[https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/114866/sh\\_voll6\\_01\\_1971\\_Nakken.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/114866/sh_voll6_01_1971_Nakken.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Panigada, S., Lauriano, G., Donovan, G., Pierantonio, N., Cañadas, A., Vázquez, J. A., & Burt, L. (2017). Estimating cetacean density and abundance in the Central and Western Mediterranean Sea through aerial surveys: Implications for management. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 141(April), 41–58. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.04.018>
- Pereira, H. M., & David Cooper, H. (2006). Towards the global monitoring of biodiversity change. *Trends in Ecology and Evolution*, 21(3), 123–129. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.10.015>
- Peterson, M. L. (1976). Acoustic estimates of fish density and scattering function. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 60(3), 618. <https://doi.org/10.1121/1.381123>
- Plan, W. W. F. R. (2016). *Rapport Planète Vivante 2016*.
- Press, A., Journal, T., & Management, W. (2012). Correction of Visibility Bias in Aerial Surveys Where Animals Occur in Groups : Michael D . Samuel and Kenneth H . Pollock Reviewed work ( s ): Published by : Allen Press CORRECTION OF VISIBILITY BIAS IN AERIAL SURVEYS WHERE, 45(4), 993–997.
- Richards, L., Kieser, R., Mulligan, T., & Candy, R. (1991). Fish ages. *Noûs*.
- Routledge, R. . (2018). The Unreliability of Population Estimates from Repeated , Incomplete Aerial Surveys. *The Journal of Wildlife Management*, 45(4), 997–1000.
- Seber, G. A. F. (1986). of Estimating Animal Abundance. *Biometrics*, 42(2), 267–292.  
<https://doi.org/10.2307/2531049>
- Steinhorst, R. K., & Samuel, M. D. (1989). Sightability adjustment methods for aerial surveys of wildlife populations. *Biometrics*, 45(2), 415–425. <https://doi.org/10.2307/2531486>
- Ventura, D., Bruno, M., Jona Lasinio, G., Belluscio, A., & Ardizzone, G. (2016). A low-cost drone based application for identifying and mapping of coastal fish nursery grounds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 171, 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.01.030>
- Zorbas, D., Di Puglia Pugliese, L., Razafindralambo, T., & Guerriero, F. (2016). Optimal drone placement and cost-efficient target coverage. *Journal of Network and Computer Applications*, 75, 16–31. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.08.009>

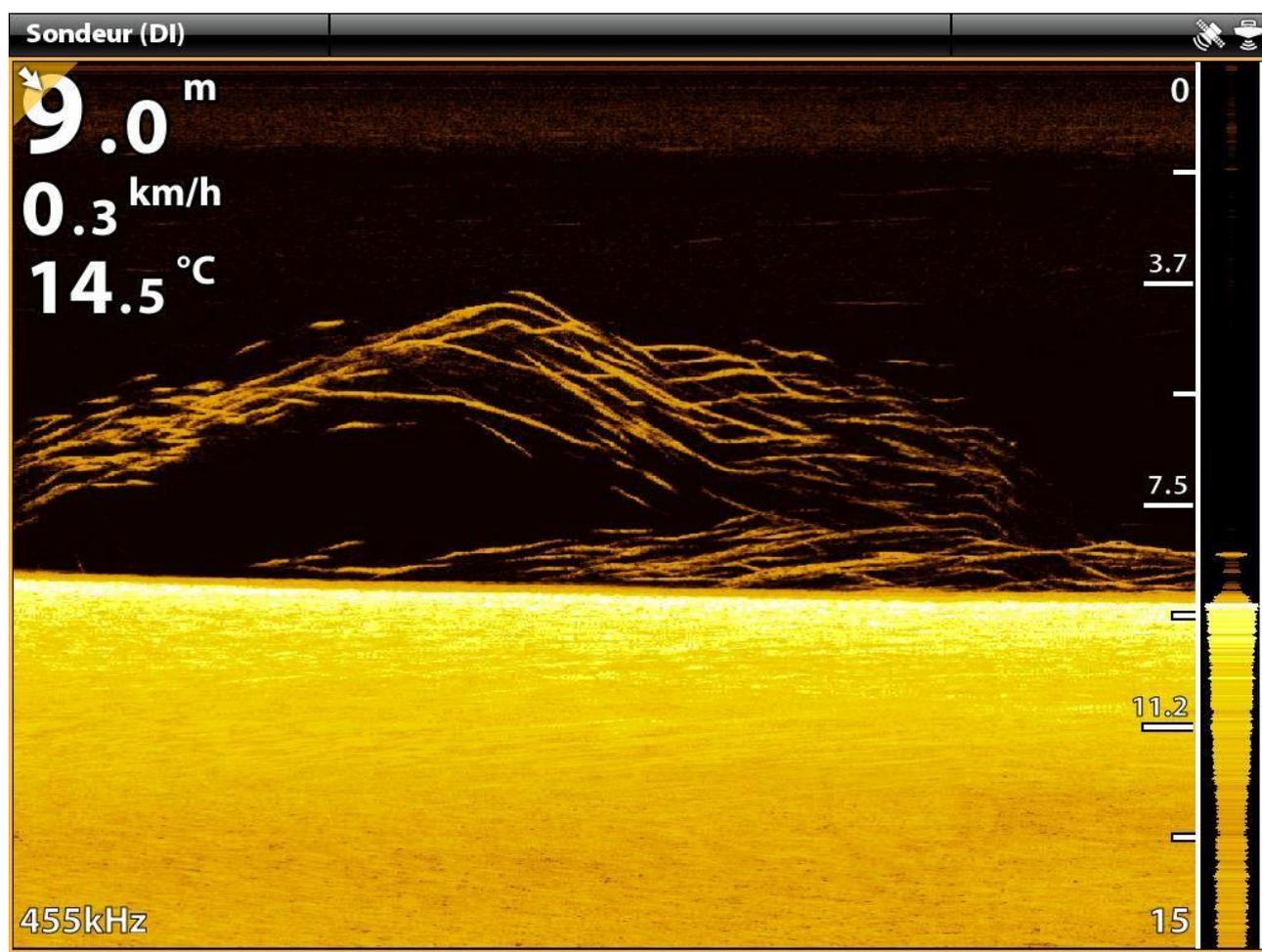
## **Internet**

Google.scholar.com  
Ifremer.fr  
legifrance.fr  
Navicom.fr  
Sciencesdirect.com

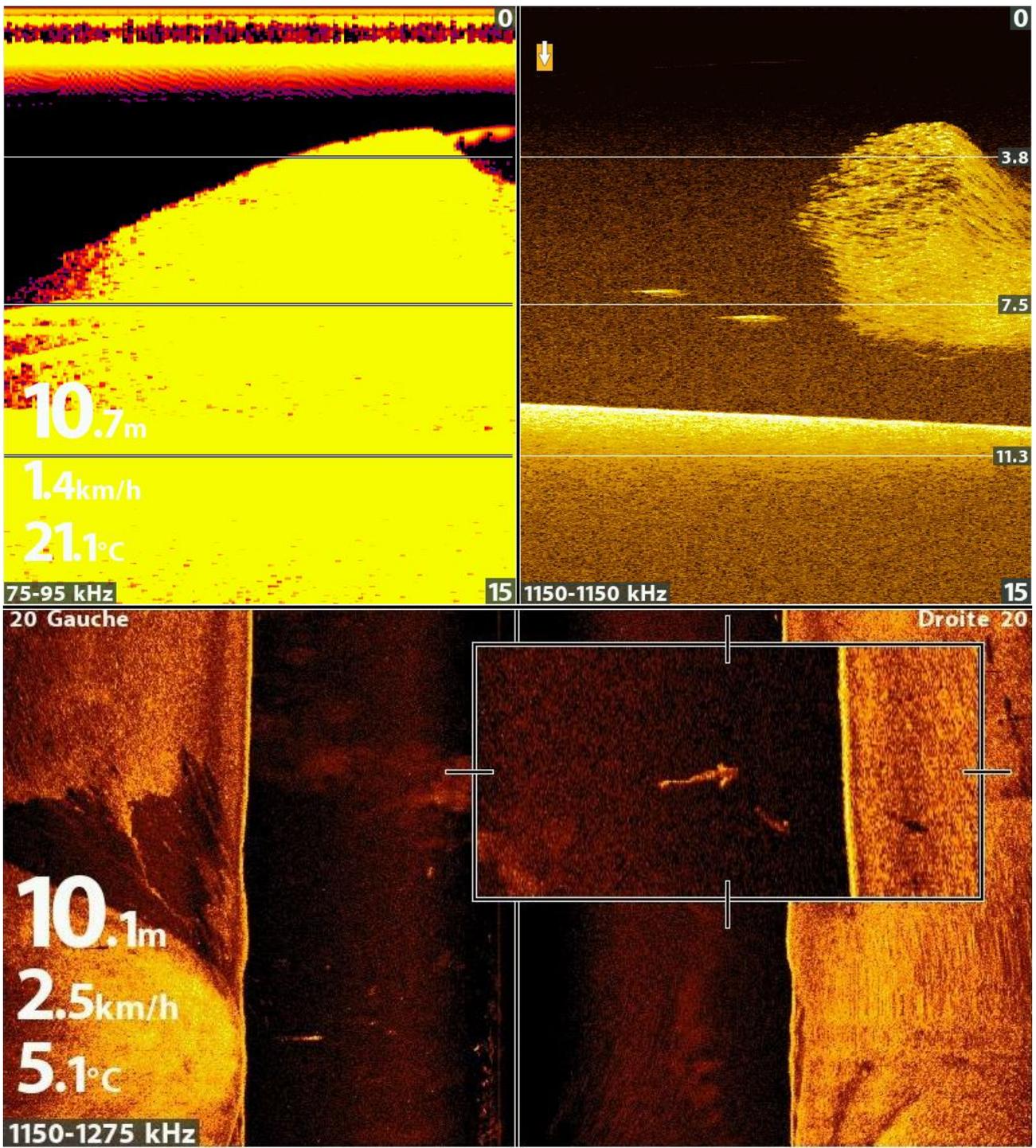
## **Table des figures et tableaux**

Table 1: Mots clés et nombre articles obtenus .....	12
Figure 1:types de découpes de l'aire d'étude, sens horaire: transect en bande, quadrat par vol circulaire, quadrat ligne droite et section .....	15
Figure 2: Schématisation de l'efficiencie des drones et caméras embarquées pour connaitre parfaitement la surface échantillonnée (teta: paramètre de la lentille de l'appareil photo).....	20
Figure 3: type de sondes, fréquences, faisceaux et surface d'étude (navicom.com) .....	25
Figure 4:exemples de variation du TS pour un crappet noir de 21cm en fonction de la longueur d'onde et déplacement - (a) 30kHz, (b) 130kHz (d'après Love, 1969) .....	26
Figure 5: Echo de silure de Loire (source : Navicom) .....	29
Figure 6: arbre immergé au MégaImaging (source : Navicom).....	29
Figure 7: méthode d'analyse des échos de sondeur récréatif pour estimer la morphologie et la densité de bancs de poissons .....	30
Figure 8: carte de végétation et bathymétrie à partir d'un sondeur Humminbird (photo: T.Poulain)	31

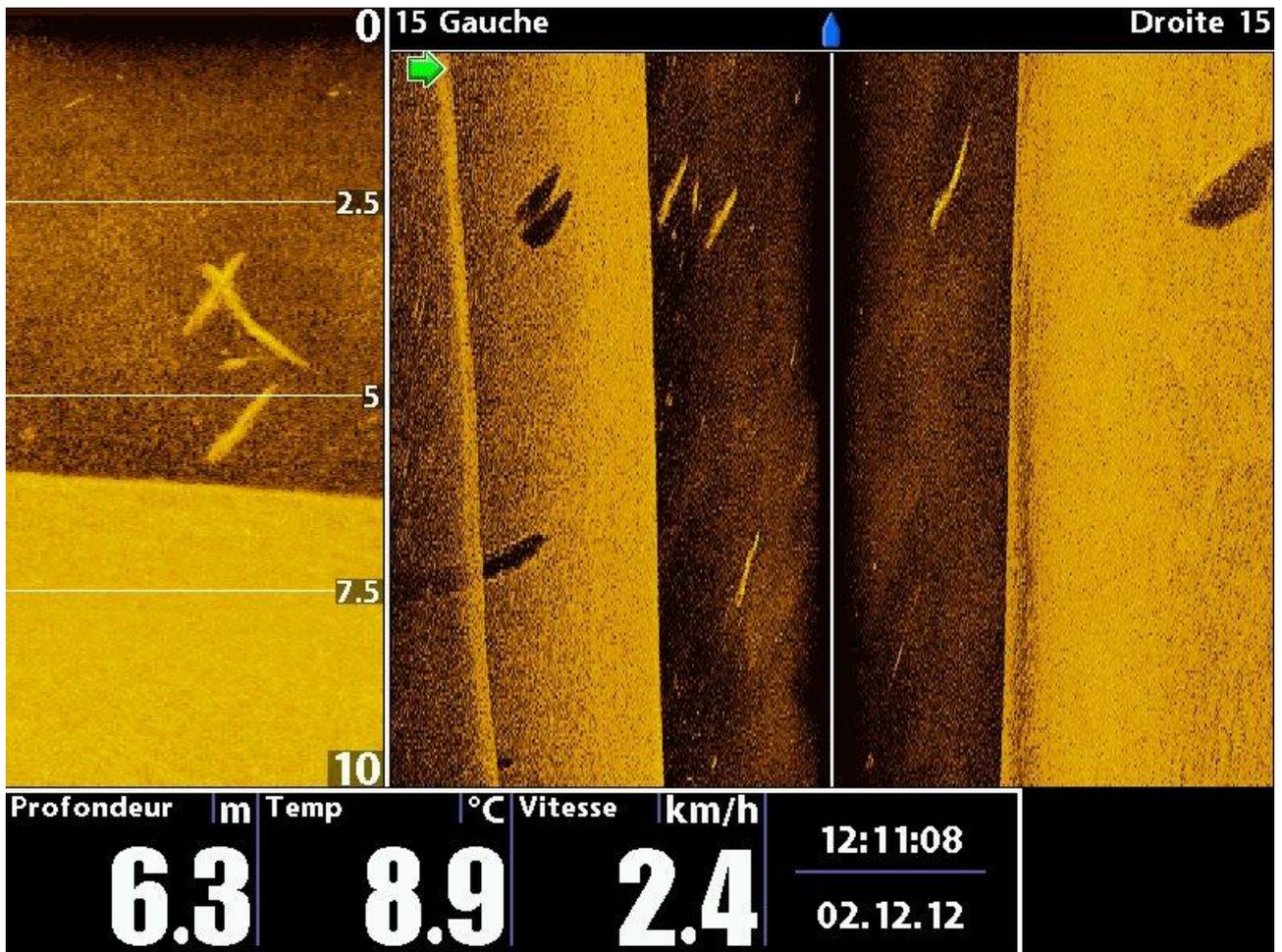
## Annexes



Annexe 1 : Banc de poisson fourage (photo : Navicom)



Annexe 2 : Banc de poisson fourrage et brochet (en haut) et silures en vue latérale (photo : Navicom)



Annexe 3 : Silures de Loire en vue latérale posés sur le fond (photo : Navicom)