



UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE
Paris, France

Thèse de Master
Année 2016-2017

Mention Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie
Spécialité Océanographie et Environnements Marins

Utilisation de la vidéo sous-marine et du chalutage pour la connaissance et le suivi des assemblages de mégafaune benthique

Chloé Guillerme

Réalisé sous la responsabilité de Sandrine VAZ, Jean-Claude
DUCHÊNE, Angélique JADAUD et Delphine CORNELLA

Ifremer (Laboratoire Halieutique Méditerranée, UMR MARBEC), Station
de Sète



Université Pierre et Marie Curie

Mémoire de Thèse de Master

Mention Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie

Spécialité Océanographie et Environnements Marins

Boîte Courrier 6, 4 Place Jussieu, 75252 Paris Cedex, France

Utilisation de la vidéo sous-marine et du chalutage pour la connaissance et le suivi des assemblages de mégafaune benthique

Chloé Guillerme

Fait sous la responsabilité de Sandrine Vaz, Jean-Claude Duchêne, Angélique Jadaud et Delphine Cornella

Ifremer (Laboratoire Halieutique Méditerranée, UMR MARBEC), Station de Sète

45 pages

16 Figures (13 figures, 3 tableaux)

4 Annexes



Océanographie, Environnements
Marins

Paris, 1 Février 2017

A qui de droit,

L'administration du Master Océanographie, Environnements Marins de l'Université Pierre et Marie Curie, est l'unique dépositaire des manuscrits servant à valider les Thèses de Master. Nous ne diffusons des copies que sur demande écrite et après avoir sollicité l'accord du ou des responsables du stage qui a conduit à l'écriture de la Thèse. En apposant la mention ci-dessous dans la première page du manuscrit (page de couverture intérieure), nous nous engageons à ne pas diffuser le manuscrit et à transmettre toute demande au responsable de stage qui la traitera indépendamment.

Université de Paris VI (U.P.M.C.)
Master mention SDUEE
Océanographie et Environnements Marins
Tour 46/00 - Etage 1 - Boite courrier 6
4, place Jussieu
F-75252 PARIS cedex 05

Pr. Jean-Marc Guarini

Responsable du Master Océanographie, Environnements Marins,

Avertissement/Disclaimer

Cette Thèse de Master a été réalisée de manière indépendante, pour remplir une partie des conditions d'obtention du titre de Master Océanographie, Environnement Marins de l'UPMC. Aucune autre assistance ou source que celles mentionnées n'ont été utilisées. Aucune donnée ne pourra être prise de ce manuscrit sans l'approbation du responsable de stage.

This Master Thesis has been independently composed for the partial fulfillment of the title of Master of Science in Oceanography, Marine Environment at UPMC. No other than the indicated aid and sources have been used. It has not been presented to any other examination board. No data can be taken out of this manuscript without prior approval of the thesis-promoter.

Sommaire

Remerciements	vi
Liste des figures et tableaux	vii
Liste des symboles	viii
1. Introduction	1
1.1. Le chalutage, définition et réglementations	1
1.2. Les impacts du chalutage sur le benthos	1
1.2.1. Perturbations	2
1.2.2. Rétablissement	2
1.3. Etude du benthos par vidéo sous-marine	3
1.4. Problématique et enjeux du stage	4
2. Matériel & Méthode	5
2.1. Zone d'étude	5
2.2. Récolte des vidéos	7
2.3. Données MEDITS.....	8
2.4. Outils d'analyse des vidéos	9
2.4.1. Identification visuelle	9
2.4.2. AviNotes	9
2.4.3. VideoMiner	10
2.4.4. Image J	11
2.5. Analyses d'images	11
2.5.1. Comparaison de détection d'objets	11
2.5.2. Comparaison de 5 vidéos : VideoMiner/Avinotes	11
2.5.3. Analyse sédimentaire et détermination de la densité de terriers	12
2.6. Analyses des données	13
2.6.1. Appariement des données Medits et vidéo	13
2.6.2. Association du Trawl Disturbance Indicator (TDI).....	14
2.6.3. Etude des marques de chalut.....	15
2.6.4. Etude des images analysées.....	15
2.6.5. Comparaison entre les densités estimées par AviNotes et par VideoMiner	16
2.6.6. Reconnaissances des objets Antedonidés (<i>Antedonidae</i>), Vérétilles (<i>Veretillum</i> sp.), Alcyons (<i>Alcyonium</i> sp.), Pennatules (<i>Pennatula</i> sp.) et terriers (Burrows).....	16
3. Résultats	17
3.1. Environnement et effort de pêche.....	17
3.2. Comparaison entre vidéo et chalut.....	17

3.2.1. Comparaison de la faune	17
3.2.2. Association du TDI.....	18
3.2.3. Etude des marques de chalut.....	19
3.2.4. Etude de la densité de terriers.....	20
3.2.5. Analyse sédimentaire.....	21
3.3. AviNotes.....	21
3.3.1. Comparaison des algorithmes de détection	21
3.3.2. Comparaison des logiciels d'annotations AviNotes et VideoMiner	22
3.4. Analyses des sorties d'objets pour 4 cas (Antédonidae, Vérétilum, Alcyon, trous).....	22
4. Discussion	23
4.1. Validation par vidéo des observations de le mégafaune chalutée	23
4.1.1. Comparaison de la faune observée par les deux méthodes	23
4.1.2. Comparaison des indices TDI	25
4.2. Validation par vidéo des observations da le mégafaune chalutée	25
4.2.1. Etude des marques de chalut.....	25
4.2.2. Analyse sédimentaire.....	26
4.2.3. Densité des terriers.....	27
4.3. Développement du logiciel AviNotes	27
4.3.1. Comparaison des trois algorithmes	27
4.3.2. Comparaison des recensements avec VideoMiner	28
4.3.3. Analyse des sorties d'objets.....	29
5. Conclusion.....	30
Bibliographie.....	31
Librairies R	34
Annexes	35
Annexe 1 : Description du protocole de mise en place des algorithmes pour la création des bases dans AviNotes. Pour Alternate 2 dans l'annexe 1.1 et Alternate 3 Mer Low et High dans l'annexe 1.2.	35
Annexe 2 : Moyenne du pourcentage de sédiment (vase ou sable) et écart-type pour toutes les photos d'une fréquence de prélèvement : 10 (bleu), 25 (turquoise) ou 50 mètres (rouge)	36
Annexe 3 : Analyse détaillée de la comparaison des différents algorithmes utilisés dans AviNotes en fonction de 5 types d'objets différents.	38
Annexe 4 : Tableau récapitulatif des résultats des différentes analyses des paramètres d'images pour chaque type d'objet : Vérétilles (Ver), Alcyons (Alc), Antédonidés (Ant) et Terriers (Bur).....	41

Remerciements

Je tiens à remercier l'A.M.O.P. sans qui ce stage n'aurait pas pu être réalisé et l'Ifremer de m'avoir accueillie dans ses locaux. Je souhaite particulièrement remercier Sandrine qui a su m'encadrer avec patience tout en me laissant une part d'autonomie. Merci aussi à Jean-Claude Duchêne pour les nombreux échanges que nous avons eus sur le logiciel AviNotes au cours du stage. Enfin mes remerciements vont à Angélique Jadaud et Luisa Metral pour leur aide sur l'identification des organismes à la vidéo.

Je tiens aussi à remercier toute l'équipe des stagiaires pour la bonne ambiance de la bibliothèque, les pauses sur le perron de l'Ifremer à discuter de notre avenir et autre sujet passionnant et les repas de midi toujours dans la bonne humeur. Merci aussi à ma famille pour son soutien.

Enfin, merci à Sandrine et à l'équipage du Juliath pour m'avoir permis d'embarquer pour la campagne de récoltes des vidéos et m'avoir tant appris sur le chalutage en Méditerranée.

Liste des figures et tableaux

n° figure/ tableau	Légende
Figure 1	Représentation cartographique de paramètres physique du Golfe du Lion
Figure 2	Photo du Pagure (traineau vidéo)
Figure 3	Cartographie bathymétrique du Golfe du Lion des stations échantillonnées
Figure 4	Fenêtre « Counting in Window » du logiciel AviNotes
Figure 5	Fenêtre d'analyse d'Image J : caractérisation du sédiment et comptage des terriers
Figure 6	Pourcentage de surface perturbée total en fonction du type de trace
Figure 7	Pourcentage de surface perturbée en fonction de la perturbation naturelle de fond ou de l'effort de pêche
Figure 8	Nombre de terriers en fonction de trois fréquences de prélèvement d'image
Figure 9	Régressions linéaires entre la densité de terriers et 4 paramètres
Figure 10	Histogramme du nombre de taxons pour chaque vidéo en fonction des deux méthodes
Figure 11	ACP des paramètres d'images ainsi que les objets associés à ces paramètres
Figure 12	Géolocalisation des Antedonidés sur le transect de Galion_14
Figure 13	Représentation du pourcentage de surface perturbée en fonction de la profondeur
Ta- bleau 1	Liste des traits biologiques de l'épifaune et scores associés à leur vulnérabilité
Ta- bleau 2	Pourcentage de taxons pour chaque niveau taxonomique
Ta- bleau 3	Caractéristiques des trois algorithmes utilisés dans notre étude

Liste des symboles

Symbole	Description
ACP	Analyse en Composante Principale
AIC	Aikaike Information Criteria
BIC	Bayesian Information Criteria
CGPM	Commission Générale des Pêches pour la Méditerranée
DCSMM	Directive-Cadre Stratégie pour le Milieu Marin
Galion	Gestion Alternative du Golfe du Lion
GLM	Generalised Linear Model
MAP	Mediterranean Action Plan
PCP	Politique commune de pêche
RAC/SPA	Regional Activity Centre For Specially Protected Areas
SHOM	Service hydrographique océanographique de la Marine
SIG	Système d'Information géographique
TDI	Trawl Disturbance Indicator
UNEP	United Nations Environment Programme
VMS	Vessel Monitoring System
WORMS	World Register of Marine Species

1. Introduction

1.1. Le chalutage, définition et réglementations

Le chalut est défini comme un filet de pêche remorqué (art traînant). Il est « constitué d'un corps en forme d'entonnoir terminé à l'arrière par une poche fermée où s'accumule le poisson » (Deschamps et al., 2003). Le chalutage semble être apparu au XIII^e siècle (Degroot, 1984). Cette technique de pêche cible des espèces très diverses et, en Méditerranée française, s'effectue entre 10 et 150 m de profondeur et les sorties des navires durent en général entre 12 et 15 h (Wendling, 2007).

La proportion de rejet des prises, correspondant à la part totale de pêche ramenée à bord mais rejetée morte ou vivante à la mer pour une quelconque raison, varie selon les engins utilisés (Sigurdardóttir et al., 2015) qui sont plus ou moins sélectifs en termes de prises : 13,3 à 26,8 % de la production de pêche en Méditerranée, soit 230 000 t/an (Tsagarakis et al., 2013). Beaucoup des organismes rejetés en mer sont morts ou ne survivront pas, ce qui constitue un gâchis non négligeable. Le chalutage est très important en Méditerranée et les rejets ne sont pas toujours régulés par les lois, mais souvent par le marché (demande des consommateurs et prix d'achat de certaines espèces et de certaines gammes de taille).

La Commission Générale des Pêches pour la Méditerranée (CGPM), créée en 1949, sous l'approbation de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, gère les pêches de Méditerranée en lien avec la commission européenne. Une Politique Commune de Pêche (PCP) a été aussi mise en place par l'Union européenne afin d'instaurer un stock de pêche durable entre 2015 et 2020 (Règlement UE n° 1380/2013 ; Règlement UE n° 2015/812), 2020 étant l'année où un « bon état écologique » devrait être atteint d'après les objectifs de la Directive-cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM). En Méditerranée, la pêche est gérée sur la base d'un nombre maximal de jours de sorties en mer.

1.2. Les impacts du chalutage sur le benthos

Le chalutage est une des perturbations anthropiques les plus importantes pour les fonds marins (Kaiser et al., 2006 ; Rosenberg et al., 2003; Sacchi, 2008), d'ailleurs critiqué lors de son apparition (Degroot, 1984). Le nombre de chalutiers en Méditerranée a beau avoir diminué – il passe de 160 à 60 entre 1996 et 2016 (région PACA et Languedoc-Roussillon)(Wendling, 2007 et Vaz, pers. com.) - la pression exercée sur le benthos a crû à

cause de l'augmentation de l'effort de pêche et de technologies de plus en plus efficaces (Sacchi, 2008). La compréhension de cet impact sur le système benthique représente donc un enjeu scientifique majeur.

1.2.1. Perturbations

Le chalutage a de nombreux impacts sur le fond : l'effet de lissage du fond diminue sa rugosité et diminue donc les traces de bioturbations ; la remise en suspension des sédiments augmente la turbidité et accroît le lissage (De Juan et Demestre, 2012). L'abondance des espèces peut diminuer de 55 % (Collie et al., 2000) ainsi que la diversité fonctionnelle du milieu (Thiébaud, 2016) qui correspond à la diversité des rôles des différentes espèces dans l'écosystème. De nombreux organismes meurent ou sont capturés après le passage du chalut, ces organismes pouvant être des proies pour d'autres. Le passage du chalut favoriserait d'autres organismes, les opportunistes (Degroot, 1984; Kaiser et al., 2006; Thiébaud, 2016) comme les charognards qui auraient des contenus stomacaux beaucoup plus importants après le passage du chalut. Il favoriserait aussi l'accumulation de matière organique (Hiddink et al., 2006) et de détritiques (Jennings et al., 2001), ce qui pourrait modifier la communauté microbienne. Les espèces fragiles ont des taux de mortalité très importants lorsque l'engin de pêche les touche : 90 % pour les oursins et 30-40 % pour les gros bivalves au centre de la Mer du Nord (Dinmore et al., 2003). Au contraire, les espèces situées dans des milieux déjà très perturbés naturellement vont être plus résistantes à des perturbations additionnelles comme le chalutage de fond d'après l'étude d'Hiddink et al. (2006), aussi basée sur des données de Mer du Nord. Dans les environnements chalutés, les espèces de petite taille, qui ont des taux de mortalité moins importants au passage du chalut, vont devenir plus abondantes que les espèces de grande taille, ce qui peut diminuer la richesse spécifique locale. Selon Jennings et al. (2001), le réseau trophique en lui-même ne serait pas modifié, mais le modèle qu'ils utilisent ne prend pas en compte certains éléments comme les bactéries ou la méiofaune qui pourrait être perturbée par le chalutage et donc modifier le réseau trophique. Les espèces fixées ou peu mobiles seraient par ailleurs plus perturbées car elles ne sont pas assez rapides pour échapper au chalut (Kaiser et al., 1998).

1.2.2. Rétablissement

Beaucoup d'équipes ont travaillé sur le temps de rétablissement des zones chalutées, avec des résultats très différents (sûrement en raison de l'hétérogénéité des zones d'études).

Collie et al. (2000) ont montré que, même après 4 ans, dans certains cas certaines espèces n'étaient toujours pas revenues ; pour certaines espèces comme les coraux et les éponges, la durée de rétablissement peut aller jusqu'à 15 ans. Pour les mollusques, le rétablissement semblerait plus important que pour les annélides (Kaiser et al., 2006), certains mollusques vont éviter de recruter si l'habitat n'est pas favorable ; on aura donc des espèces qui mettront des décennies voire des siècles à se rétablir. Chez les annélides, il y aurait une succession d'organismes en commençant par les plus opportunistes. La saisonnalité du chalutage est aussi importante (perturbation lors de la période de reproduction).

Une autre étude (Dinmore et al., 2003) montre que pour un trait de chalut unique, le rétablissement serait de l'ordre de 5 années pour la macrofaune, et que le déplacement de l'effort vers des zones plus profondes pourrait avoir un impact encore plus important. Selon l'étude portant sur le Royaume-Uni de Dernie et al. (2003), chaque habitat posséderait des facteurs physiques (hydrodynamisme, taille des particules, structure du sédiment), biologiques et chimiques qui le façonneraient et donc qui engendreraient une réponse différente à une perturbation. Kaiser et al. (2006) ajoutent que lorsque l'environnement est dominé par des processus physiques avec des sédiments sableux, la restauration est plutôt rapide (quelques jours à quelques mois), et lorsque des processus biologiques et chimiques s'ajoutent aux processus physiques, la restauration est beaucoup plus lente (plusieurs mois ou plus d'un an). Selon une autre étude (Hiddink et al., 2006), basée sur un modèle et des données de Mer du Nord, les environnements peu profonds et sableux seraient très impactés par le chalutage et l'impact serait plus important dans les milieux sableux et graveleux plutôt que dans les sédiments vaseux.

1.3. Etude du benthos par vidéo sous-marine

Comme le montrent toutes ces études, il est difficile d'avoir une idée précise de l'impact du chalutage sur le fond : cela dépend des conditions initiales du milieu, de sa composition en espèces, de la fréquence du chalutage, du type d'engins utilisés etc. La plupart d'entre elles ont été réalisées à l'aide de mesures in situ, de modèles ou encore par des approches d'imageries benthiques (Labrune et al., 2012; Romero-Ramirez et al., 2016; Rosenberg et al., 2003). Il existe cependant depuis quelques décennies une autre technique visant à mieux connaître cet impact : la vidéo sous-marine. Elle a l'avantage d'être moins invasive que les prélèvements classiques et permet de visualiser ce qui se passe au fond. Elle permet de

connaître l'abondance et la diversité des espèces (Fabri et al., 2014; Machan and Fedra, 1975) tout comme le chalut, mais aussi le comportement des organismes (Hughes and Atkinson, 1997). De plus, elle permet d'aider à la gestion de certaines Aires marines protégées comme dans l'étude de Stevens et al. (2014) (sud-ouest de l'Angleterre) en permettant, comme dit précédemment, une évaluation du benthos mais aussi en appliquant des protocoles économiques.

De nombreux travaux ont été réalisés afin de comparer la pertinence de ces données par rapport aux données acquises directement par chalutage (Baux, 2014; Soufflet, 2013; Wauters, 2011) ou autres instruments (Machan and Fedra, 1975). D'autres, tels que ceux de Machan et Fedra (1975) et Sheehan et al. (2016), visent à comparer différents types de systèmes vidéo afin de déterminer qui est le plus représentatif pour une zone donnée.

1.4. Problématique et enjeux du stage

La présente étude s'inscrit dans le cadre du projet Galion (Gestion Alternative du Golfe du Lion, <http://galion.amop.fr/>). Ce projet, d'une durée de trois ans, a pour but final de définir de nouveaux modes de gestion pour la pêcherie chalutière du Golfe du Lion dans la perspective de l'élimination des rejets en mer suite à la mise en œuvre de la nouvelle politique commune de pêche.

Les principaux objectifs sont de cartographier la distribution des captures et des rejets, d'étudier la sélectivité des engins de pêche, puis de définir les habitats sensibles ou à risque d'être impactés par la pêcherie chalutière démersale. Pour finir, il s'agit de proposer des stratégies afin de limiter les rejets. Ce stage vise à découvrir les fonds du Golfe du Lion pour visualiser les habitats sensibles sans pour autant risquer de déplacer l'activité vers des zones sensibles. La présente étude fait suite au travail réalisé par Margaux Llappasset (Llappasset, 2016) qui a permis de cartographier la distribution spatiale des habitats benthiques à risques sur la base de processus environnementaux et de valider cette approche prédictive en utilisant des données acquises par chalutage et en la couplant à un indice d'impact fonctionnel. Le lien entre l'état observé de la mégafaune benthique, l'environnement et l'impact de la pression de pêche a été exploré.

Cette étude vise à étudier la structure, la composition et la densité des inventaires d'invertébrés benthiques dans le Golfe du Lion obtenues par chalutage et vidéos sous-marines sur des zones chalutées. Les deux types de données d'observations de méga-

invertébrés benthiques seront utilisés en conjonction avec des traits de vie indicateurs de l'impact du chalutage et les résultats obtenus seront comparés. L'objectif final est de valider et compléter les résultats obtenus lors de la précédente étude pour mieux comprendre l'impact de l'effort de pêche et ainsi diminuer son impact potentiel dans le cadre de futures stratégies de pêches. Dans ce cadre, les questions suivantes seront explorées :

- 1) Les vidéos sont-elles représentatives de la mégafaune benthique ? Sont-elles plus/moins utiles que ou complémentaires des données acquises par chalutage ?
- 2) Peut-on les utiliser pour calculer des indicateurs de perturbations de fonds en réponse au chalutage ?
- 3) Peut-on développer des outils d'analyses automatiques pour améliorer la précision de leur traitement et réduire le temps d'analyse ?

Afin de répondre à ces questions, l'étude a été organisée en trois parties. La première a consisté à comparer les données acquises par chalutage aux données acquises par l'analyse des vidéos d'un point de vue de leur composition taxonomique d'une part et fonctionnelle d'autre part et de les mettre en relation avec l'effort de pêche ou certaines caractéristiques environnementales comme le sédiment, la profondeur ou encore la perturbation naturelle de fond (courant et houle). Chaque transect pour les deux méthodes d'acquisition des données s'est vu attribuer un indice de perturbation qui a été mis en relation avec l'effort de pêche ou les mêmes caractéristiques environnementales que celles citées précédemment. La deuxième partie explore les caractéristiques sédimentaires (notamment la détection des traces d'impact de chalutage et la densité des terriers) afin de mieux comprendre la répartition de ceux-ci et de les mettre en relation avec l'effort de pêche ou certaines caractéristiques de l'environnement (les mêmes que ci-dessus). La dernière partie a permis de mettre au point un outil de traitement de vidéo en testant différents algorithmes permettant le détournage automatique d'objets dans la vidéo. Les caractéristiques de ces objets ont été analysées et testées pour savoir si l'identification automatique de certains organismes ou traits particuliers était possible.

2. Matériel & Méthode

2.1. Zone d'étude

Toutes les données analysées ont été acquises dans le Golfe du Lion (Longitude entre 3°E et 5°E et Latitude entre 42°30'N et 43°30'N). Cette zone s'étend de Cerbère à Marseille jusqu'à

environ 80 km au large de Sète. La profondeur associée aux données récoltées ne dépasse pas 500 m. Celle-ci est caractérisée par des fonds meubles sableux et vaseux qui sont contrôlés par les courants ainsi que par les apports des fleuves et les processus sédimentaires (Garlan et Marchès, 2012). Le courant Liguro-Provençal, qui arrive du Canal de Corse, suit la côte par le Golfe de Gêne et le Golfe du Lion pour continuer vers la Mer de Baléares, est le principal courant traversant la zone.

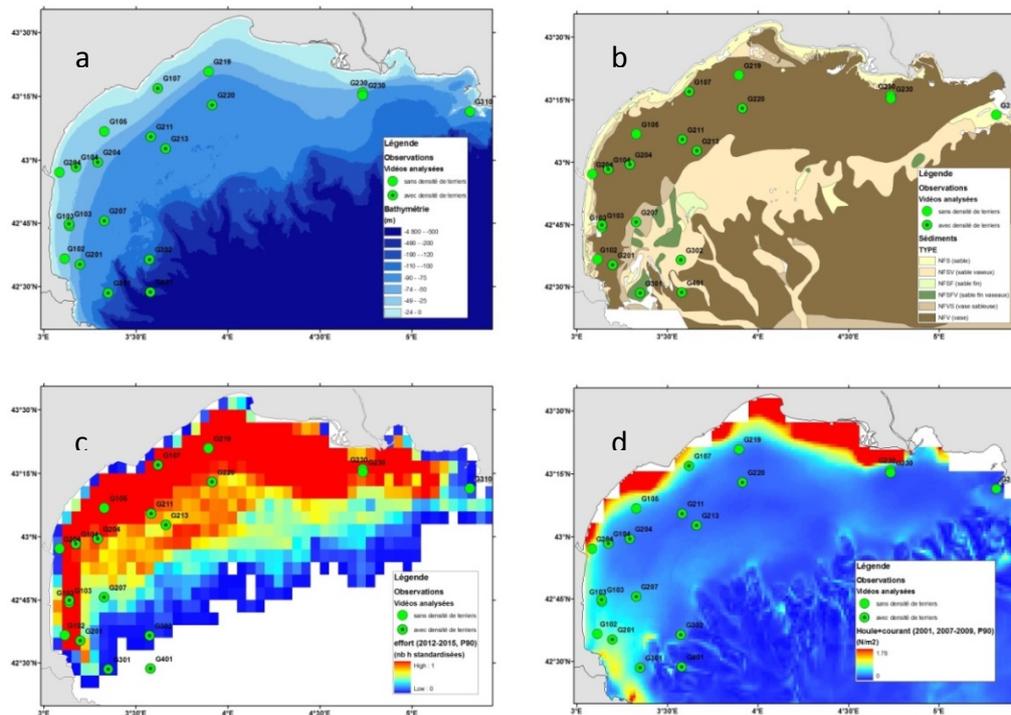


Figure 1 : Représentation cartographique de : a) la profondeur (m), b) le type de sédiment, c) l'effort de pêche et d) la perturbation naturelle de fond du Golfe du Lion.

Les stations analysées sont représentées par des ronds verts, ceux contenant une étoile représentent les stations où une analyse sédimentaire et un comptage des terriers a été effectué (voir plus bas).

Les données d'effort de pêche utilisées dans certaines analyses sont issues du système de surveillance des navires par satellites (VMS) (Figure 1c). Le système de surveillance est obligatoire pour tous les navires de pêche de plus de 12 m sous pavillon de l'Union européenne depuis le 1^{er} Janvier 2012 (Règlement UE n° 1224/2009, Règlement d'exécution (UE) 404/2011). Nous avons utilisé les données acquises entre 2012 et 2015. Elles sont exprimées en nombre d'heure par an et réduites au percentile 90. Il faut noter que ces données ont été standardisées par la suite pour avoir des valeurs entre 0 et 1 et que seules des données de bateaux ayant des engins susceptibles d'agir sur le fond ont été retenues.

D'autres données comme les profondeurs (Figure 1a), les sédiments (Figure 1b) ou la perturbation naturelle de fond (Figure 1d) ont aussi été utilisées. Les faciès de sédiments du Golfe du Lion viennent du Service hydrographique océanographique de la Marine (SHOM). Les données de perturbation naturelle de fond par la houle et le courant ont été acquises à la suite du travail d'Aurélié Rivier (2010).

2.2. Récolte des vidéos

Les vidéos analysées ont été filmées au cours de trois campagnes avec le Pagure 1 (Figure 2). Le Pagure est un traineau vidéo pesant environ 340 kg. Il possède un système d'éclairage autonome (2 phares led, 80 W), deux caméras, une frontale qui sert pour l'analyse des vidéos (Panasonic ou Gopro 4, résolution de 1920x1080) et une située en dessous du Pagure, qui sert à vérifier l'assiette du Pagure (Gopro 3 ou 4). Il possède aussi un appareil photo pour une prise de vue perpendiculaire au sol à intervalle de temps fixe. Il est équipé de deux lasers espacés de 10 cm à l'avant pour connaître l'échelle des images observées. Il est trainé par l'arrière du bateau à une vitesse maximale de 1 nœud afin d'avoir des vidéos analysables (si la vitesse est supérieure l'image apparaît floue, rendant son analyse difficile). La durée du transect est d'environ 15 minutes.

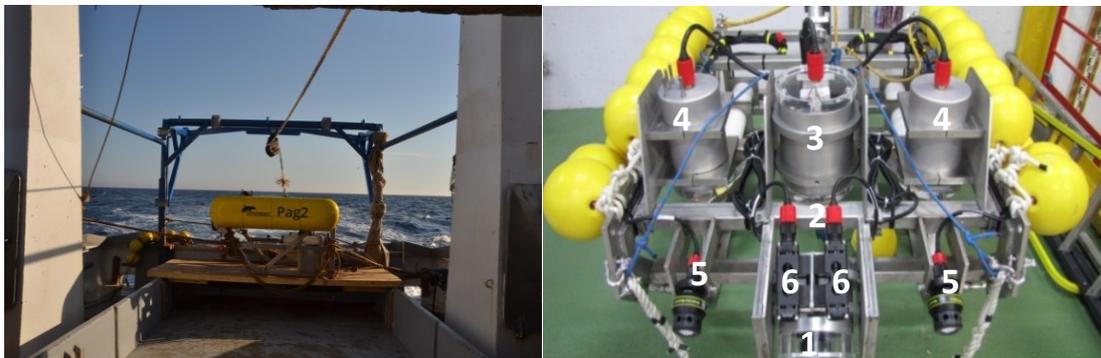


Figure 2 : Photos du Pagure 1, à droite avec les anciens flotteurs (1 : Panasonic ou Gopro 4, 2 : Gopro 3 ou 4 (à l'arrière de 3), 3 : Appareil photo Canon, 4 : Flash, 5 : Eclairage LED, 6 : Lasers) ; à gauche avec les nouveaux flotteurs sur le pont du Juliarth en 2016.

Toutes les analyses sont réalisées entre la fin du filage (fin du déroulage du câble de remorquage) et le début du virage du pagure (début de l'enroulage de câble de remorquage) et les coordonnées sont enregistrées via un GPS pour produire un fichier de navigation qui est essentiel pour l'analyse des vidéos et leur géolocalisation.

Au total 26 vidéos ont été acquises (Figure 3) : 15 ont été obtenues en septembre 2016 dans le cadre du projet Galion, 10 lors d'une campagne DCE en septembre 2015 et une lors de la campagne MEDITS en juin 2015 mais seulement 22 ont pu être exploitées. Les vidéos de la campagne DCE sont plutôt côtière et celles de Galion 2016 représentent des stations plutôt à l'ouest du Golfe du Lion. En avril 2017, 18 vidéos supplémentaires ont été récoltées (Figure 3) pour le projet Galion et, comme en 2016, à bord du Juliarth, un navire de pêcheur professionnel. Ces vidéos, plutôt représentatives de l'est du Golfe du Lion, n'ont pas été analysées dans le présent rapport.

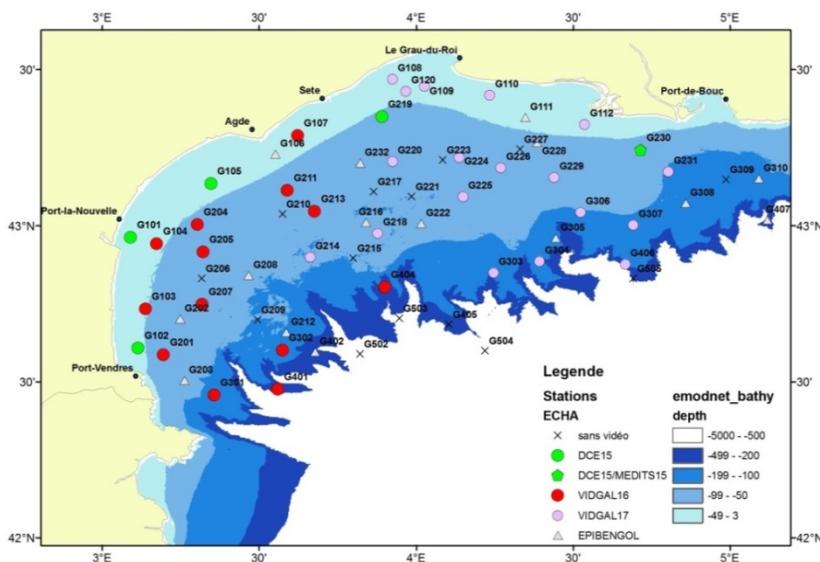


Figure 3 : Cartographie de la bathymétrie du Golfe du Lion avec les différentes stations d'échantillonnage des vidéos. VIDGAL16 et 17 représente les campagnes de Galion 2016 et 2017, EPIBENGOL est une campagne qui sera réalisée en 2018.

2.3. Données MEDITS

La campagne de pêche scientifique standardisée et internationale MEDITS a lieu chaque année en Méditerranée depuis 1994. La campagne française se déroule tous les ans dans le Golfe du Lion et l'Est de la Corse entre mai et juillet. Les données récoltées permettent d'obtenir des informations sur les espèces exploitées et, depuis 2012, sur toute la mégafaune benthique capturée (dénombrement et biomasse). Les organismes sont récoltés avec le GOC 73, un chalut standardisé avec une ouverture de maille de 20 mm dans le cul, de très faible sélectivité afin d'avoir une bonne représentativité des populations échantillonnées. Le chalut est tiré à une vitesse de 3 nœuds et pendant au minimum 30 minutes quand la profondeur est inférieure à 200 m et 60 minutes quand elle est supérieure à 200 m.

2.4. Outils d'analyse des vidéos

2.4.1. Identification visuelle

Quel que soit l'outil d'analyse d'image vidéo utilisé, il a fallu mettre au point une liste d'organismes/objets qui seront disponibles par la suite dans l'interface. Pour cela une liste des taxons présents a été établie avant le traitement des vidéos par les logiciels. Pour chaque vidéo, les organismes ont été identifiés jusqu'au niveau taxonomique le plus précis possible en utilisant plusieurs guides d'identification (Weinberg, 2013 ; Bergbauer et Humberg, 1999 ; Metral et Brisset, 2015), ainsi que le site d'identification DORIS (<http://doris.ffesm.fr/>). Lorsqu'il y avait des doutes, des avis supplémentaires ont été demandés à Angélique Jadaud, Luisa Metral (responsables de la campagne MEDITS) et Sandrine Vaz. La liste des espèces a été reliée à un référentiel taxonomique interne à Ifremer en associant à chaque taxon son numéro taxonomique et un code abrégé.

2.4.2. AviNotes

AviNotes est un logiciel de traitement d'image vidéo mis au point par Jean-Claude Duchêne, dont la particularité est la géolocalisation de chaque image du transect. Le principe de ce logiciel est de géo-localiser toutes les images de chaque film, de calculer des paramètres liés à ces images, puis de créer des bases à l'aide d'algorithmes qui recensent chaque objet contenu dans ces images. Tous les objets sont géo-localisés individuellement et possèdent une cinquantaine de paramètres décrivant leurs couleurs, leur forme et leur texture.

Les vidéos originales étant trop lourdes (de 50 à 60 images par seconde), le logiciel AviNote permet de réduire la taille en sous-échantillonnant celles-ci. Toutes les vidéos ont été sous-échantillonnées pour avoir une fréquence de cinq images par seconde.

Lors de la création de bases, il est possible d'appliquer différents types d'algorithmes de détection qui vont détecter, détouré et géo-localiser les objets visibles sur la vidéo. Ce sont les objets qui, par la suite, pourront être labellisés. Différents algorithmes préliminaires ont été développés en dehors du cadre strict de cette étude où ils ont été testés. Les détails de la construction de ceux-ci ne sont présentés que schématiquement (Annexe 1). Différents filtres sont passés sur les images afin de connaître les caractéristiques du fond, ce qui permet d'avoir une meilleure définition des objets qui n'en font pas partie. Ce traitement est suivi d'autres types d'analyse d'images en utilisant des paramètres et des seuils de décision

différents selon les algorithmes. Ainsi, certains algorithmes seront moins sensibles aux contrastes (Alternate2) ou vont avoir une plus grande capacité à fusionner les petits objets entre eux lorsqu'ils sont proches (Alternate3 Merge).

Une fois les bases créées, il est possible dans un premier temps d'annoter les objets à l'aide d'un dictionnaire préalablement mis au point afin d'homogénéiser le choix des mots clefs et d'affecter un code à chaque objet, pour une recherche ultérieure. Dans un deuxième temps, il est possible de construire des filtres d'images ou des profils d'objets. Les profils d'objets ont été utilisés dans la présente étude et nous ne détaillerons donc que cet outil ; les deux ont toutefois un principe similaire. L'outil de profils d'objets permet d'explorer les paramètres de couleurs, formes et textures des objets pour essayer de construire des profils caractéristiques d'un type d'objet (par exemple une espèce ou un genre). AviNotes utilise trois approches pour construire ces profils. La première est une construction nouvelle en laissant l'utilisateur sélectionner les paramètres et les plages de recherche pour chaque paramètre. La deuxième est une construction basée sur un modèle : un objet choisi dans la base du film. La troisième et dernière approche consiste à se baser sur un profil existant (déjà créé dans une autre base) en récupérant ses paramètres de recherche pour le modifier et/ou l'améliorer. Lors du stage le logiciel a été de nombreuses fois mis à jour (24) pour en améliorer l'utilisation. Un guide utilisateur est réalisé au fur et à mesure des mises à jour.

2.4.3. VideoMiner

Le développement d'Avinote s'étant fait au cours de l'étude, un outil d'annotation classique a été utilisé en première instance de façon à faire une première identification et un premier dénombrement des organismes présents par des outils plus classiques et à permettre ensuite la comparaison avec Avinote, tant au niveau quantitatif que du point de vue du temps de traitement et du niveau d'information obtenu.

VideoMiner est un logiciel d'annotation d'image mis au point par le ministère Pêche et Océan du Canada. Il permet d'annoter classiquement des informations standardisées sur des vidéos. VideoMiner fonctionne avec une base de données Access modifiable qui permet d'ajouter des informations telles que la turbidité de l'eau, le degré de perturbation de l'environnement, le type de sédiment, le champ de vision, le relief... Toutes les vidéos ont été préalablement sous-échantillonnées pour avoir une fréquence de cinq images par seconde afin de travailler sur le même type d'observation qu'Avinotes et ainsi de permettre

la comparaison entre les deux outils. En plus de la liste des taxons présents, trois types de traces de chalut ont été ajoutés à la liste d'annotation utilisée dans VideoMiner : les marques de panneaux, les marques de chaînes et les amoncellements laissés par les impacts de panneaux.

Les organismes ont été recensés au moment où ils passaient sur la ligne située entre les deux points laser. Lorsqu'ils étaient plus de deux, un comptage par plage de temps intégrée sur plusieurs secondes a été effectué. La vitesse de visualisation de la vidéo était quatre fois moins rapide que la vitesse initiale de la vidéo sous-échantillonnée. Les marques de chalut ont été recensées en marquant le début et la fin de chaque section de vidéo pour lesquelles ces impacts étaient visibles.

2.4.4. Image J

Afin de caractériser de façon quantitative le type sédimentaire et de mieux comptabiliser les terriers très fréquents sur les vidéos, un outil d'analyse d'image a été choisi en complément des outils d'analyses et d'annotation des vidéos. Le logiciel Image J (Schneider et al. 2012) a été utilisé sur les vidéos du projet Galion uniquement.

2.5. Analyses d'images

2.5.1. Comparaison de détection d'objets

Plusieurs algorithmes de détection ont été développés et testés pour permettre de choisir le ou les plus pertinents au traitement des vidéos disponibles dans la présente étude. Ce choix a été effectué sur la base de leur capacité de détection et de détournage des objets présents sur la vidéo avec ou sans regroupement des objets de petites tailles proches.

2.5.2. Comparaison de 5 vidéos : VideoMiner/Avinotes

Cinq vidéos ont été choisies afin de faire une comparaison entre les deux logiciels d'analyse vidéo au niveau du nombre de taxons recensés, du comptage des organismes et du temps de traitement. Elles ont été sélectionnées pour leur particularité :

- Galion 14 : Champ d'Antedonidés sur une partie importante de la vidéo
- Galion 12 : Taxons diversifiés et présence d'Alcyons
- Galion 6 : Présence de Vérétilles
- DCE 2 : Présence de rochers au début, diversité taxonomique
- DCE 7 : Présence d'une quantité importante de traces de chalutage.

L'annotation s'est faite au niveau de la ligne des lasers comme lors de l'annotation sur VideoMiner afin d'avoir un protocole homogène pour les deux analyses et afin de pouvoir comparer les deux sorties d'analyse vidéo.

Sous AviNotes, lorsque l'objet n'était pas correctement détecté par l'algorithme, il était possible de procéder à un marquage manuel. Une fois la vidéo annotée, nous avons pu utiliser l'option de fenêtre de comptage (fonction «Counting in window») (Figure 4). Il suffit de donner une dimension à la fenêtre de comptage, de sélectionner un filtre contenant les objets annotés pour connaître la totalité des objets recensés et annotés. Deux options de comptage existent pour la prise en compte des objets dans la fenêtre de comptage (Figure 4). De façon à se rapprocher du protocole utilisé dans VidéoMiner et à éviter que le même objet soit compté plusieurs fois, la hauteur de la fenêtre de comptage a été fixée à 150 pixels de part et d'autre des points lasers et seuls les objets dont le barycentre était dans la fenêtre ont été pris en compte. Enfin, pour chaque image AviNotes a fourni l'écartement en pixels des points lasers, permettant ainsi de connaître la largeur du champ analysé et ainsi de recalculer des surfaces observées.

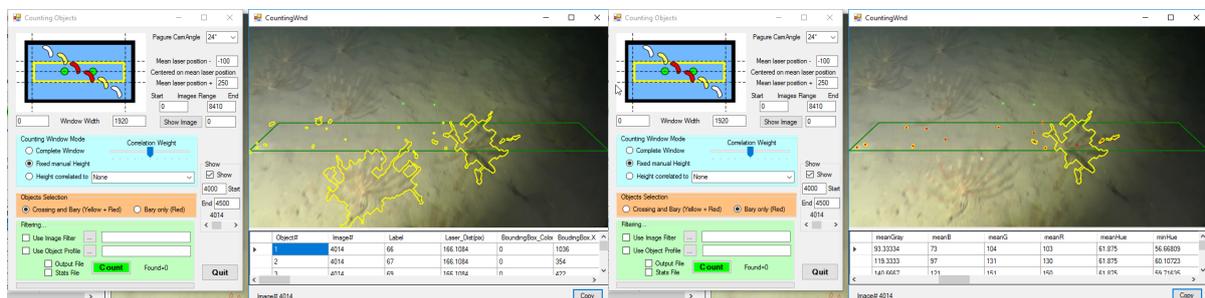


Figure 4 : Fenêtre « Counting in Window » du logiciel AviNotes : même image mais avec deux options différentes. A droite : tous les objets touchant le cadre sont comptés, à gauche : seuls les objets dont le barycentre est contenu dans la zone sont comptés. Le tableau sous la fenêtre de l'image représente les objets recensés et leurs caractéristiques. Des corrections de perspectives sont appliquées par le programme pour corriger les surfaces des objets.

2.5.3. Analyse sédimentaire et détermination de la densité de terriers

Des images ont été extraites manuellement dans AviNotes (avec l'option « extraire Jpeg ») tous les 10, 25 et 50 mètres le long du transect (avec une marge de 15% pour permettre d'extraire l'image la plus nette possible) entre la fin du filage et le début du virage du Pature. Ceci a permis de comparer les différentes fréquences de prélèvements et de connaître la plus représentative.

Une fois le prélèvement réalisé, nous avons mesuré pour chaque image la distance en pixels entre les deux points lasers dans Image J. Puisque la distance entre les deux points laser est toujours de 10 centimètres, nous avons pu calibrer une grille de maille 2 x 2 cm. Il a suffi ensuite d'attribuer à chaque carré un « type », ce pour cinquante carrés autour des points laser (Figure 5), ces cinquante carrés étant l'endroit de l'image où la déformation est la moins importante. Le type 1 représente la vase, le type 2 le sable et le type 3 les terriers. Ainsi pour chaque image et pour les trois fréquences de prélèvements, le sédiment a été caractérisé et les terriers ont été dénombrés.

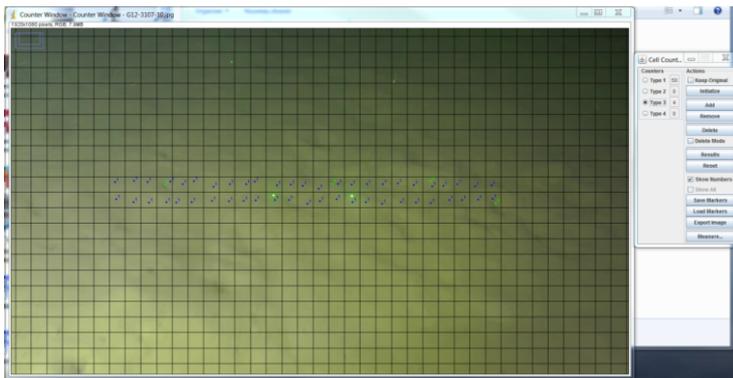


Figure 5 : Capture d'écran de la fenêtre d'analyse d'Image J pour la caractérisation du sédiment et le comptage des terriers.

2.6. Analyses des données

2.6.1. Appariement des données Medits et vidéo

Les vidéos acquise en 2016 ont été dénommées de façon à correspondre aux identifiant de chalutage de la campagne MEDITS. Ce n'était pas le cas pour les vidéos acquises en 2015 et un logiciel de SIG (ArcMap™) a été utilisé pour faire correspondre les vidéos avec celle des chalutages sur la base de leurs positions moyennes. Les deux types de transects ont été associés quand ils étaient distants de moins de 500 mètres. Les vidéos seront comparées avec les chaluts qui ont été réalisés la même année mais à trois mois d'écart pour les campagnes DCE et Galion.

Les compositions des chaque trait de chalut et de chaque vidéo ont été comparées quantitativement et qualitativement. Les données MEDITS peuvent présenter des niveaux de précisions taxonomiques variables en fonction de l'expertise de l'équipe scientifique présente. Dans un premier temps un regroupement taxonomique a été réalisé en fonction de l'occurrence des taxons sur les années 2012-2016, de façon à ne considérer que les niveaux taxonomiques reconnus de façon fiable et récurrente sur cette période. Puis, les observations correspondant à celles des vidéos 2015-2016 ont été extraites et les

compositions taxonomiques ont été comparées. Pour chaque regroupement taxonomique suivant : le phylum, la classe, l'ordre, la famille et le genre, le pourcentage de taxons présent seulement dans la vidéo, seulement dans le chalut ou commun aux deux méthodes ont été déterminés.

2.6.2. Association du Trawl Disturbance Indicator (TDI)

Le Trawl Disturbance Indicator (TDI) a été mis au point par De Juan et al. (2009) et De Juan et Demestre (2012) en Méditerranée. Il est basé sur les traits d'histoire de vie de l'épifaune qui vont permettre de définir la sensibilité de celle-ci au chalutage. Les traits biologiques pris en compte sont la position sur le substrat, le mode de nutrition, la mobilité, la taille et la fragilité. Pour chaque trait une note de 0 à 3 est attribuée, 3 étant la plus haute vulnérabilité (Tableau 1). Une liste pour les espèces de la campagne MEDITS ayant déjà été réalisée, elle a été mise à jour avec les données de la campagne 2016, et, pour les taxons seulement visibles à la vidéo, un TDI leur a été attribué grâce aux informations trouvées dans les guides d'identification cités plus haut et à l'aide de site de références WORMS (<http://www.marinespecies.org/>). Les niveaux taxonomiques déterminés pour les organismes des vidéos étant souvent moins précis que pour les données MEDITS, les indices des 5 traits d'histoire de vie ont parfois dû être déduits de ce qui était visible sur la vidéo. Les scores de tous les traits pour chaque espèce sont sommés pour obtenir un TDI propre à chaque taxon.

Tableau 1 : Liste des traits biologiques de l'épifaune et leurs scores associés à leur vulnérabilité vis-à-vis du chalutage.

Indice	Position sur le substrat	Mode d'alimentation	Mobilité	Taille (cm)	Fragilité
0	Enfouissement profond	Charognard	Très mobile (nage)	Petite <5	Coquille dure, vermiforme, régénération
1	Enfouissement en surface (1 ^e cm)	Dépositore/Prédateurs	Mobile (rampant)		Résistant, flexible
2	Surface		Sédentaire	Moyenne 5-10	Pas de protection
3	Emergent	Filtreurs	Sessile (attaché)	Grande >10	Coquille/ structure fragile

L'indice obtenu pour chaque taxon est pondéré par le logarithme de sa biomasse dans le cas des données de chalut et par le logarithme de sa densité pour le cas des vidéos. Cette

transformation logarithmique a été nécessaire pour réduire la dominance des espèces les plus abondantes sur l'indice calculé au niveau du transect.

Pondération

$$= \frac{\text{Log}(\text{Biomasse (chalut)}) \text{ ou } \text{Log}(\text{densité(vidéo)}) \text{ du taxon sur le transect}}{\sum \text{Log}(\text{Biomasse (chalut)}) \text{ ou } \text{Log}(\text{densité(vidéo)}) \text{ du transect}}$$

Le TDI de chaque transect vidéo a été comparé à ceux obtenus sur le chalut pour les mêmes stations pour les mêmes années. Les données ont ensuite été mises en relation avec la profondeur, l'effort de pêche et la perturbation de fond naturelle (houle et courant) et le sédiment. Pour cela des régressions linéaires ont été réalisées sur tous les paramètres en utilisant une procédure de sélection ascendante (« forward ») de paramètres sur la base d'un critère d'information (Aikaike Information Criteria, AIC).

2.6.3. Etude des marques de chalut

De façon à calculer la surface sur laquelle les traces de chaluts sont visibles et donc pour pouvoir connaître le pourcentage de surface perturbée sur un transect vidéo, il a été nécessaire d'interpoler la trajectoire parcourue par le Pagure dans le fichier de navigation pour associer seconde par seconde le fichier de navigation et les annotations des plages perturbées dans les vidéos. Puis la distance parcourue lors des plages de chaque type de trace a été rapportée à la distance. Seules les traces de panneaux et les traces de chaînes ont été étudiées car les traces d'amoncements ne sont visibles que sur des petites surfaces non estimables. Pour suivre une distribution normale, les données de pourcentage ont subi une transformation arcsinus de la racine carré recommandée pour les ratios (Legendre et Legendre, 2012).

Les résultats ont ensuite été mis en relation avec l'effort de pêche, la profondeur, la perturbation du fond (houle et courant de fond) et le sédiment en utilisant des régressions linéaires de tous les paramètres suivant une procédure de sélection ascendante (« forward ») de paramètres sur la base d'un critère d'information (Aikaike Information Criteria, AIC).

2.6.4. Etude des images analysées

Des régressions linéaires ont été réalisées afin de tester la différence entre les fréquences de prélèvements, sur les sédiments et sur la densité de terrier. Afin de savoir s'il y avait un lien

entre les terriers et la profondeur, l'effort de pêche ainsi que la perturbation naturelle de fond et les sédiments d'autres régressions linéaires ont été effectuées.

2.6.5. Comparaison entre les densités estimées par AviNotes et par VideoMiner

Une densité pour chaque taxon dénombré par chaque méthode a été calculée pour les cinq vidéos. Les données ne suivant pas la loi normale ont été doublement log transformées. Des régressions linéaires ont été utilisées pour comparer les densités observées par chaque méthode pour chaque taxon.

2.6.6. Reconnaissances des objets Antedonidés (*Antedonidae*), Vérétilles (*Veretillum sp.*), Alcyons (*Alcyonium sp.*), Pennatules (*Pennatula sp.*) et terriers (*Burrows*)

Le logiciel AviNotes pourrait servir dans le futur à automatiser la recherche et l'identification d'objets. Pour cela, il faut connaître les caractéristiques des différents objets pour construire des profils adaptés à leur recherche dans la vidéo. Du fait de leur abondance importante dans la présente étude, les quatre types d'objets suivants ont été étudiés : les Antedonidés, les Vérétilles, les Alcyons et les terriers visibles à la vidéo. Pour les cinq vidéos étudiées sous AviNotes, tous les objets labellisés comme tels ont été sélectionnés et une liste de 45 paramètres portant sur les couleurs, forme et texture de chaque objet a été extraite.

Des graphiques de type boîtes à moustache ont permis une première évaluation visuelle du pouvoir discriminant de chaque paramètre. Puis les corrélations entre ces caractéristiques ont été explorées afin de limiter le nombre de paramètres. Une Analyse en Composante Principale (ACP) sur la matrice de corrélation des paramètres (qui ne sont pas tous exprimés sur la même échelle d'unité) a été réalisée de façon à explorer le positionnement des quatre types relativement à ces paramètres.

Des GLM (Generalised Linear Models, McCullagh et Nelder, 1989) binomiaux ont été développés pour chaque type d'objet en utilisant une procédure de sélection ascendante (« forward ») de paramètres sur la base d'un critère d'information (ici le Bayesian Information Criteria, BIC, jugé plus sélectif que d'autres critères) pour déterminer, pour chaque type, les sous-ensembles pertinents de paramètres pour son identification. Enfin, un modèle multinomial généralisé a été développé afin de retenir les paramètres d'images les plus explicatifs pour les 4 types d'objets.

En plus des analyses statistiques, une analyse qualitative de trois algorithmes détectant les

objets a été réalisée. Pour cela des images d'organismes souvent visibles à la vidéo ont été sélectionnées (les mêmes que pour les analyses statistiques et les Pennatules pas assez nombreuses pour faire les précédente analyses). Le protocole de mise au point des algorithmes, qui ne sont pas détaillés ici, est visible en annexe (Annexe 1).

Toutes les analyses ont été réalisées sous R (R Development Core Team, 2008 ; Bivand et al., 2016 ; David Meyer et al., 2016 ; Dowle et Srinivasan, 2017 ; Fox et Sanford, 2011 ; Friedman et al., 2010 ; Hijmans, 2016 ; Oksanen et al., 2017 ; Pebesma et Bivand, 2005 ; Therneau et al., 2015 ; Venables et Ripley, 2002 ; Wickham, 2009 ; Wickham, 2011 ; Zeileis et Grothendieck, 2005) La distribution des données a été explorée avant chaque régression linéaire au moyen d'histogrammes, de coefficients d'asymétrie et de Kurtosis. Si cela été nécessaire, une transformation des données a été appliquée.

3. Résultats

3.1. Environnement et effort de pêche

La profondeur (m), l'effort de pêche (h), la perturbation naturelle sur le fond et la typologie sédimentaire ont été reliés aux données de chalutage ou de vidéo sur la base de leur géolocalisation. Une analyse préliminaire a révélé la corrélation négative et significative entre la profondeur et l'effort de pêche l'effort de pêche et la profondeur : l'effort est le plus important dans les zones où la profondeur est faible jusqu'à 50 mètres environ puis diminue entre 50 et 100 mètres pour être nul à partir de 120 mètres (seulement 3 points sont situés au-dessus de 120 m dans le jeu de données). De même la perturbation naturelle était corrélée négativement à la profondeur avec les perturbations les plus fortes concentrées sur la côte, là où les profondeurs sont faibles.

3.2. Comparaison entre vidéo et chalut

3.2.1. Comparaison de la faune

De manière générale l'identification des organismes dans le chalut est beaucoup plus précise que sur la vidéo. En effet, les organismes n'ont pas toujours été identifiés jusqu'au genre car la qualité de la vidéo ou leur orientation ne le permettait pas. Nous pouvons observer dans le tableau 2 que le pourcentage de taxons est toujours plus important dans le chalut où il atteint au total 156, contre seulement 30 pour la vidéo. Il faut noter que les phylums Chordés et Hémichordés sont absents de la vidéo, ainsi que les Bivalves, les Gastéropodes et

l'ordre des Ophiures (Ophiuroidea) qui forment une grosse partie des taxons du chalut, soit au total 23% et 36 taxons. On observe plus de diversité au niveau des taxons du chalut : pour la classe des Annélides 8 taxons sont présents dans les chaluts contre seulement 2 sur la vidéo, de même pour les Arthropodes avec 26 taxons dans les chaluts contre 5 pour les vidéos.

Les cinq taxons présent seulement dans la vidéo au niveau du genre sont : *Andresia sp.*, *Anseropoda sp.*, *Echinus sp.*, *Leptogorgia sp.* et *Sabella sp.*

Tableau 2 : Pourcentage de taxons pour chaque niveau taxonomique. La ligne Vidéo représente les taxons seulement présents dans les vidéos, Chaluts seulement dans les chaluts et commun, le pourcentage de taxons communs aux deux méthodes.

	Phylum	Classe	Ordre	Famille	Genre
Vidéo	0	5.88	6.38	3.26	4.50
Commun	77.8	58.8	21.3	14.1	8.11
Chalut	22.2	35.3	70.2	81.5	87.4
Nombre Total de taxons	9	17	47	92	111

3.2.2. Association du TDI

Le TDI a été calculé pour les observations issues du chalutage et comparé à celui issu des données de vidéo. Un point à environ 350 m (le seul aussi ayant une profondeur aussi importante) a semblé avoir un poids dans les analyses (Figure 5) il a donc été retiré des données de vidéo et de chalut.

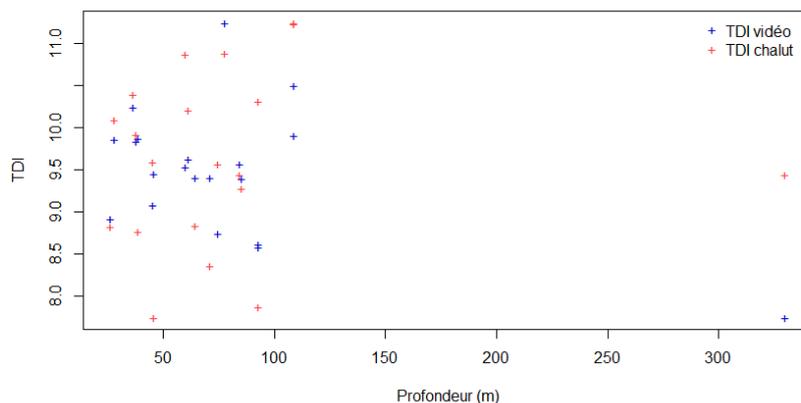


Figure 5 : Représentation du TDI des vidéos (bleu) et des chaluts (rouge) en fonction de la profondeur en mètres.

Une corrélation significative positive a été trouvée entre les deux types de TDI ($p\text{-value} \sim 0.01$, $\rho \sim 0.55$). Pour les données TDI de chalut ainsi que celle des vidéos, les résultats n'ont

montrés aucune relation entre le TDI et la profondeur, l'effort de pêche, perturbation naturelle de fond et ni les sédiments.

En revanche, les données totales des données de chalut, acquises depuis 2012, ont aussi été testées (en se limitant au Golfe du Lion <200m) pour voir si les résultats n'étaient pas dus au manque de donnée (seulement 20 observations contre plusieurs centaines pour le total des données de chalut). Lorsque les paramètres ont été testés séparément avec le TDI tous les résultats ont été significatifs (relations négatives entre le TDI et l'effort de pêche ou la perturbation et positive entre le TDI et la profondeur) sauf pour le type de sédiment. La profondeur, l'effort de pêche et la perturbation naturelle de fond étant corrélés entre eux nous avons fait une sélection ascendante sur la base de l'AIC qui nous a permis de voir que la profondeur pouvait suffire à elle seule à expliquer cette tendance.

3.2.3. Etude des marques de chalut

Sur 24 vidéos, seulement deux ne possédaient pas de traces de chalut visibles sur le transect. Les marques de panneaux sont plus représentées, elles sont recensées sur 20 vidéos contre 5 pour les traces de chaînes. Les chaînes représentent néanmoins les surfaces avec le plus gros pourcentage d'impact (Figure 6). En termes de distance, elles sont recensées en moyenne sur 6,6 m du transect contre 2,2 m pour les traces de panneaux.

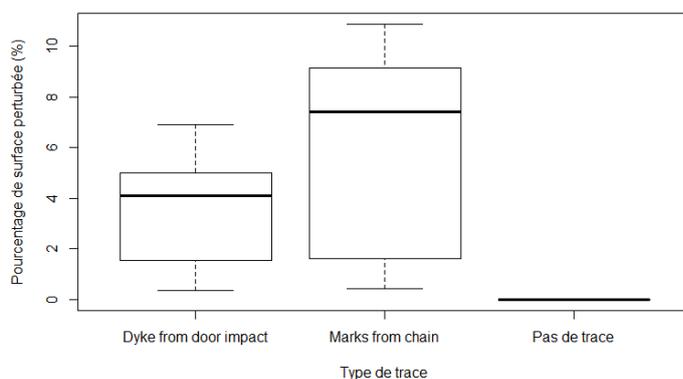


Figure 6 : Pourcentage de surface perturbée sur le transect total en fonction du type de trace.

Le pourcentage de traces s'est trouvé être seulement significativement et négativement lié à la perturbation naturelle de fond ($p\text{-value} \sim 0.04$) (Figure 7, à gauche). On observe quand même une tendance négative (bien que non significative) pour la relation entre le pourcentage de trace et l'effort de pêche (Figure 7, à droite).

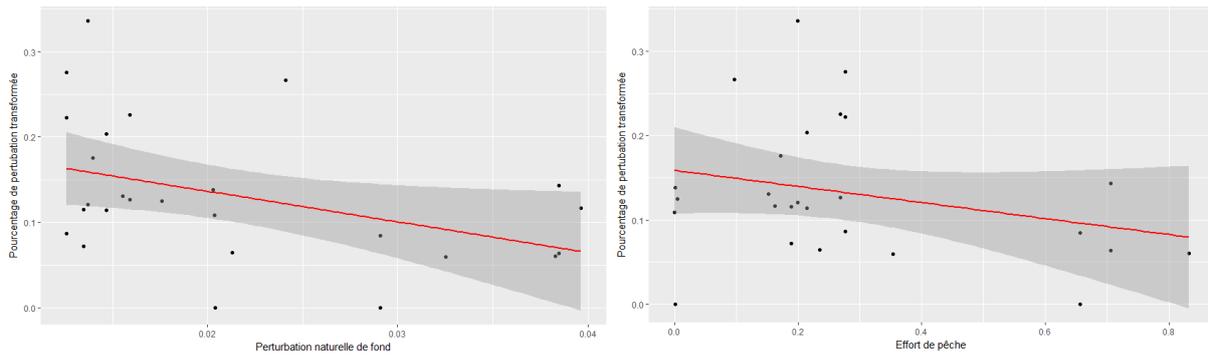


Figure 7 : Pourcentage de surface perturbée transformée en fonction de la perturbation naturelle de fond (gauche) et en fonction de l'effort de pêche (droite).

3.2.4. Etude de la densité de terriers

Les tests statistiques n'ont montrés aucunes différences significatives entre les trois fréquences de prélèvement (10, 25 et 50 mètres) (Figure 8) pour le nombre de terriers recensé.

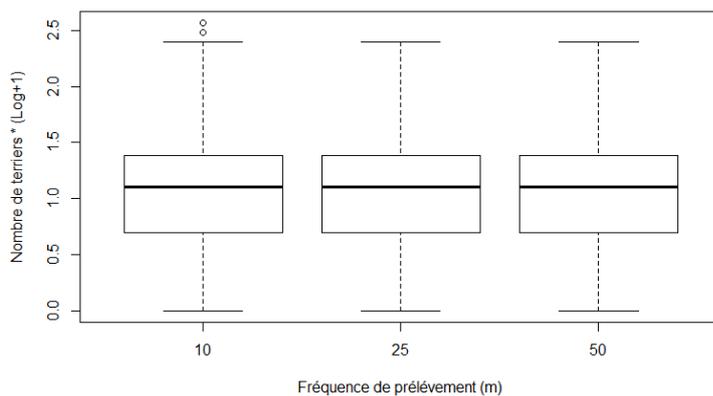


Figure 8 : Graphique représentant le nombre de terriers (Log+1) transformé en fonction de trois fréquences de prélèvement d'image : tous les 10, 25 et 50 mètres sur le transect vidéo.

Ces résultats nous ont permis de réaliser un modèle linéaire de la densité de terriers en fonction de la profondeur, de l'effort de pêche, de la perturbation naturelle de fond et des sédiments en utilisant la fréquence de prélèvement de tous les 50 mètres. La profondeur et l'effort de pêche ainsi que l'effort et la perturbation naturelle de fond étant corrélés, une sélection ascendante sur la base de l'AIC nous a permis d'éliminer du modèle l'effort de pêche. Nous avons trouvé une relation négative entre la densité de terriers et la perturbation naturelle de fond (p -value <0.001 , coefficient de régression ~-271) (Figure 9c), une relation positive avec la profondeur (p -value <0.001 , coefficient de régression ~0.06) (Figure 9a) ainsi qu'un effet significatif du type sédimentaire (Figure 9d), les sédiments vaseux supportant de plus grandes densités de terriers mais étant surreprésentés dans les données.

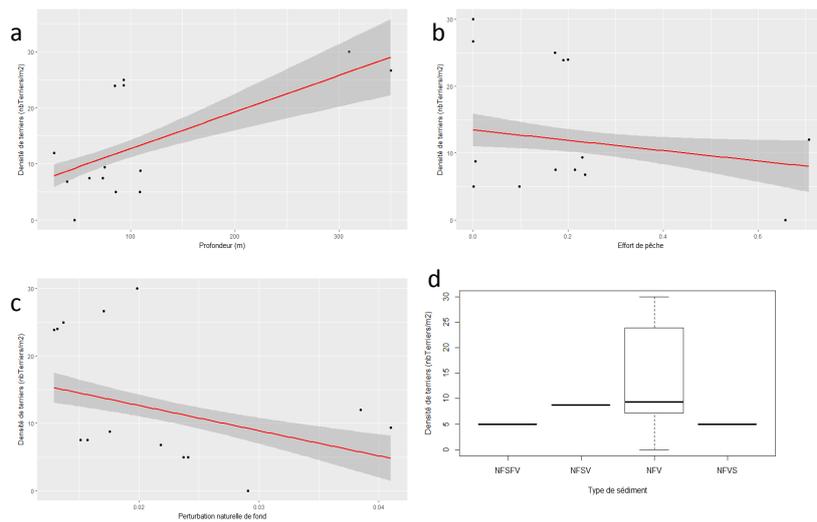


Figure 9 : Régression linéaire entre la densité de terriers (nombre de terriers par m²) avec la profondeur (a), l'effort de pêche (b), la perturbation naturelle de fond (c) et le type de sédiment (d)

3.2.5. Analyse sédimentaire

Compte tenu de l'homogénéité sédimentaire, sur un total de 768 images analysées, les tests statistiques n'ont montré aucune différence significative entre les trois fréquences de prélèvement (10, 25 et 50 mètres). Le tableau détaillé avec le nombre d'images et de points analysés ainsi que la moyenne du pourcentage de vase et de sable et l'écart-type du pourcentage pour chaque fréquence et chaque vidéo est disponible en annexe 2. L'influence de la profondeur et de l'effort de pêche n'ont pas été testés pour le sédiment.

3.3. AviNotes

3.3.1. Comparaison des algorithmes de détection

La capacité des différents algorithmes à détecter et détourner des objets a été évaluée visuellement sur cinq profils vidéo contrastés et au travers de cinq types d'objets jugés pertinents du fait de leurs caractéristiques visuelles et de leur abondance.

Tableau 3 : Résumé des caractéristiques des trois algorithmes utilisés dans notre étude et du temps de création des bases avec ceux-ci.

Algorithme	Caractéristiques	Temps de création de base
Alternate 2	Sensible au contraste Beaucoup de petits objets	3-4 h
Alternate 3 Merge Low	Beaucoup de petits objets proches Peu sensible au contraste	1h-1h30
Alternate 3 Merge High	Peu sensible au contraste Fusion d'une partie des petits objets proches d'Alternate 3 Merge Low	1-2 h

Ces comparaisons sont détaillées en annexe (Annexe 3) et sont résumées dans le tableau 3.

Alternate 2 est beaucoup moins sensible aux contrastes et les deux algorithmes Alternate 3 vont recenser beaucoup plus de petits objets. Alternate 3 Merge High va avoir une plus grande capacité à fusionner les petits objets entre eux lorsqu'ils sont proches qu'Alternate 3 mergeLow (Tableau 3 ci-dessus).

3.3.2. Comparaison des logiciels d'annotations AviNotes et VideoMiner

Cinq vidéos ont été annotées entièrement avec les deux logiciels AviNotes (à l'aide de l'algorithme Alternate 3 High complété par un pointage manuel des objets non détectés) et VideoMiner. Les résultats de comparaison de densité n'ont montré aucune différence significative pour la densité d'individus par m² et ce quel que soit le taxon considéré. Le nombre de taxons (Figure 10) semble être plus important pour l'analyse avec VideoMiner mais ce résultat n'est pas significatif.

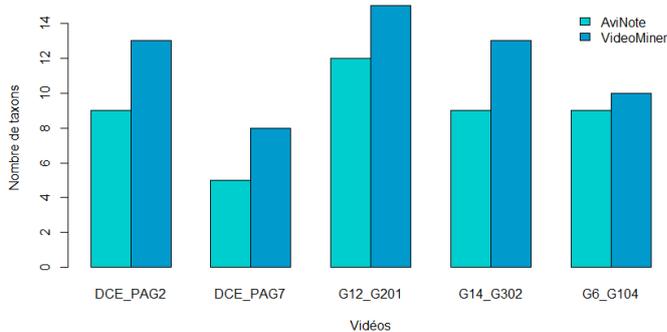


Figure 10 : Histogramme présentant le nombre de taxons recensé pour chaque vidéo en fonction des deux méthodes de traitements des vidéos

Il semblerait que le traitement des vidéos soit assez similaire pour des vidéos avec des taxons en faible abondance : il prend environ 1 heure pour les deux logiciels. En revanche lorsque la vidéo est plus riche, comme « Galion_14 » (riche en Antédonidés), le temps de traitement est beaucoup plus important pour AviNotes : 3 heures contre environ 1h30 pour VideoMiner.

3.4. Analyses des sorties d'objets pour 4 cas (Antédonidae, Vérétilum, Alcyon, trous)

Sur les 45 paramètres initiaux, seuls 21 ont été retenus après l'analyse visuelle des boîtes à moustaches et les ANOVAs. Les tests de corrélations entre les paramètres ont permis de supprimer les paramètres dont les niveaux de corrélation excédés 0.9 pour la suite des tests.

L'Analyse en composante principale (Figure 11) illustre les relations entre ces 20 paramètres et les centroids des quatre types d'objets sont également représentés. Ils sont très centrés et ne semble pas indiqués de forte différences entre ces types d'objets en fonction des paramètres retenus sauf peut-être pour les Vérétilles qui tirent vers le groupement de

paramètres «Energy ». Dans la suite des tests (GLM multinomial et binomial), aucun groupe de paramètres ne semblent particulièrement caractéristique d'un des types d'objets, en particulier les Antedons ; pour les trois autres types d'objets, une combinaison parfois complexe de paramètre semble nécessaire pour avoir une chance de les différencier. Si on regarde les corrélations, on observe quand même que le paramètre « StdevSat » qui est significatif pour les Alcyons et les Terriers est corrélé positivement aux Alcyons et corrélé négativement pour les Terriers. Le lien entre les Vérétilles et les paramètres « Energy » visible dans l'ACP l'est aussi dans la suite des tests qui sont tous les deux significatifs, mais les corrélations de ce paramètre avec les autres objets sont du même ordre de grandeur. Le tableau récapitulatif des résultats des différentes analyses est visible en annexe 4.

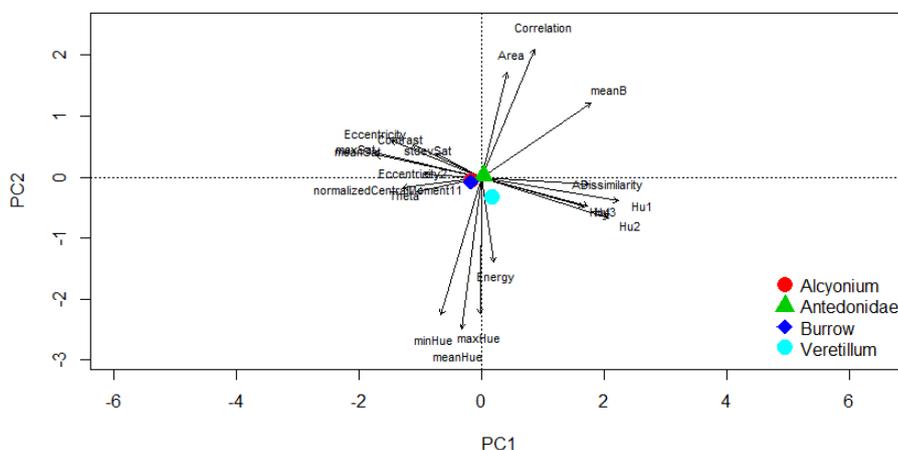


Figure 11 : Analyse en Composante Principale des paramètres d'images ainsi que les objets associés à ces paramètres.

4. Discussion

4.1. Validation par vidéo des observations de la mégafaune chalutée

4.1.1. Comparaison de la faune observée par les deux méthodes

Le nombre de taxons trouvés est plus important dans le chalut que sur la vidéo. Cela peut s'expliquer par plusieurs raisons. Le chalut ne couvre pas la même surface et la même distance que le traineau vidéo : le chalut est trainé pendant 30 à 60 minutes (selon la profondeur) à 4 nœuds pour une ouverture horizontale de plusieurs mètres (soit environ 54000 m²), alors que le traineau vidéo n'est trainé que pendant 15 minutes à 1 nœud environ pour un champ observable d'un mètre de large environ (soit environ 535 m²). La couverture du chalut étant plus grande, la probabilité de capturer des taxons plus dispersés est plus importante que pour la vidéo. De plus, la vitesse du Pagure étant faible et son éclairage visible de loin, certains organismes très mobiles ont le temps de fuir alors qu'ils

sont plus facilement capturés par le chalut. De même, les organismes qui vivent dans le sédiment ou qui en sont recouverts ne sont pas observables à la vidéo, ce qui réduit encore le nombre total de taxons. Enfin et surtout, la possibilité d'examiner la capture totale du chalut permet une résolution taxonomique largement supérieure à celle de la vidéo. La différence de période pour la récolte des données pour certaines stations (jusqu'à 3 mois d'écart) peuvent aussi exacerber ces différences.

Sur les cinq taxons identifié seulement à la vidéo (*Andresia sp.*, *Anseropoda sp.*, *Echinus sp.*, *Leptogorgia sp.* et *Sabella sp.*) les *Anseropoda sp.*, les *Echinus sp.* et les *Leptogorgia sp.* ont été recensés d'autres années ou à d'autres stations dans le Golfe du Lion. En revanche, les *Andrésies* ainsi que les *Sabelles* ne sont pas observés dans les traits de chaluts. Ceux sont des anémones des sables, leur colonne est profondément enfouie dans le sédiment, jusqu'à 25 cm et dans des conditions défavorables des tentacules peuvent se détacher (capacité d'autotomie, (<http://doris.ffessm.fr/>))(Le Granché et al., 2015). Ce genre est sûrement trop enfouit dans le sédiment pour que le chalut puisse le capturer. Les *Sabelles* possèdent un tube cylindrique constitué de particules qui sont agglomérées par du mucus, le tube peut atteindre parfois 60 cm selon l'espèce (<http://doris.ffessm.fr/>). Ce genre est très sensible et se rétracte dans son tube à la moindre vibration ou lumière. Elles ne sont probablement pas recensées dans le chalut car elles se rétractent avant son passage et parce que leur tube très fragile ne résiste pas à ce type d'échantillonnage.

Il faut donc retenir que la vidéo apporte des informations supplémentaires pour l'étude du benthos. De plus, c'est un mode d'observation non intégrateur et elle permet de distinguer un changement d'habitat, contrairement au chalut (Figure 12).

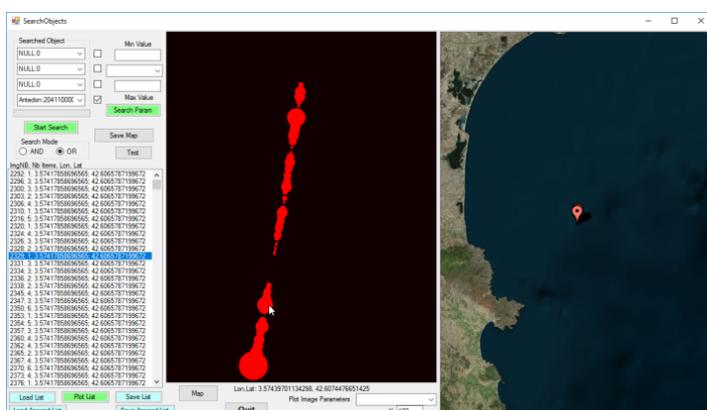


Figure 12 : Géolocalisation des Antedonidés sur le transect de Galion_14. Le diamètre des cercles sur l'image de gauche correspond à la densité par image pour chaque localisation d'Antedonidés.

Une description des habitats des canyons du Golfe du Lion a d'ailleurs été réalisée en partie

à l'aide de la vidéo/photo sous-marine en vue de pouvoir mettre en place des Aires marines protégées comprenant les environnements profonds (UNEP-MAP-RACP/SPA, 2013). Les deux techniques sont donc complémentaires, le chalut peut servir de base d'étude pour une meilleure description et pour un nombre de taxons plus important, tandis que la vidéo permet de visualiser la zone de manière plus précise dans l'espace, en donnant des informations sur le paysage sous-marin, et d'ajouter à la liste certains taxons plus discrets ou plus fragiles.

L'étude des autres vidéos récoltées mais non analysées pendant le stage permettra surement de mettre en valeur d'autres taxons non recensés actuellement à la vidéo.

4.1.2. Comparaison des indices TDI

Les TDI dérivés des vidéos ou du chalutage étaient comparables cependant, les résultats n'ont montré aucune corrélation du TDI avec les différents paramètres testés que ce soit pour les données de vidéo ou de chalut pour les stations inférieure à 200 m. Pourtant en utilisant l'ensemble des données de chalutage sur la même zone, les résultats ont montré une relation linéaire avec la profondeur. Il est probable que le nombre de vidéo analysé soit insuffisant à l'heure actuelle pour obtenir ce genre de résultat. De plus, les paramètres testés étant corrélés entre eux, leurs effets sur le TDI sont interchangeables.

4.2. Validation par vidéo des observations de la mégafaune chalutée

4.2.1. Etude des marques de chalut

Les résultats ont révélé que plus la perturbation naturelle au fond (due au courant et à la houle) est importante, moins il y a de traces de chalut visibles, ce qui s'explique probablement par le fait que la perturbation de fond va gommer les traces potentiellement présentes par remise en suspension fréquente des sédiments les plus fins. En effet, les traces de chaînes dominent nos observations et sont plus superficielles que celles des panneaux (pouvant aller jusqu'à 35 cm dans le sédiment)(Eigaard et al., 2016). Elles sont donc plus facilement gommées du sédiment et donc moins visibles à la vidéo.

Les résultats pour les autres paramètres ne sont pas significatifs, néanmoins, nous avons observé une tendance négative de la corrélation des traces de chalutage et de l'effort de pêche corrélé lui-même négativement avec la profondeur. Cette tendance pourrait être confirmée avec plus de données. L'hypothèse serait alors la suivante (Figure 13) : 1) l'effort

de pêche est lié à la profondeur, plus la profondeur est faible est donc plus on est près de la côte plus l'effort de pêche est important. Cela s'explique par le fait que les sorties des chalutiers en Méditerranée se limitent à 14h et favorisent donc les zones qui sont proches de la côte (Papaconstantinou et Farrugio, 2000). Nous avons aussi constaté que la perturbation naturelle due à la houle et au courant est plus importante à la côte. Ceci pourrait expliquer le peu de traces de chalut visibles à la vidéo pour les endroits peu profonds (proches de la côte), 2) la zone intermédiaire (entre 40 et 100m) reste toujours soumise à un effort de pêche important mais est peu impactée par des perturbations naturelles, ce qui expliquerait que les traces de chaluts y soient les plus détectables. 3) Enfin, pour les zones les plus éloignées, l'effort de chalutage est faible pour les raisons expliquées plus haut, on observe donc moins de traces de chalut sur le fond.

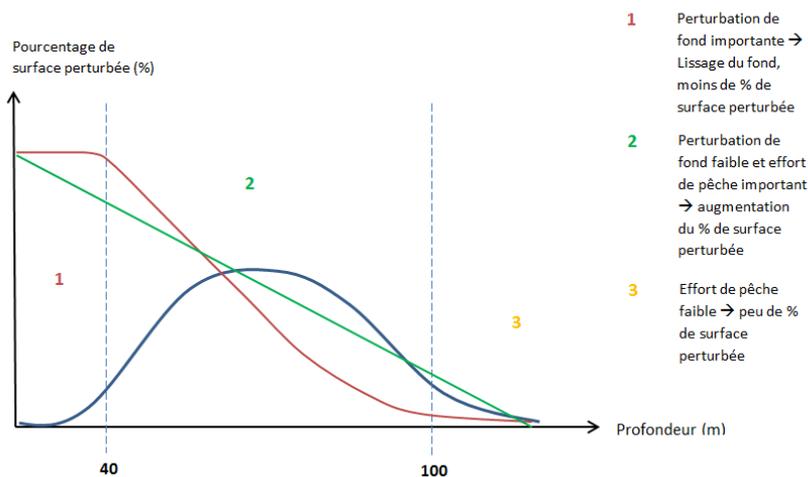


Figure 13 : Représentation du pourcentage de surface perturbée en fonction de la profondeur dans le Golfe du Lion (en bleu). L'évolution de la perturbation naturelle de fond en fonction de la profondeur est ajoutée en rouge ainsi que celle l'effort de pêche en vert.

4.2.2. Analyse sédimentaire

Le prélèvement d'image sur les transects vidéo a permis de réaliser une analyse sédimentaire précise. Le sédiment, majoritairement dominé par des fonds de vases, étant très homogène dans les zones prospectées, la fréquence des vidéos n'a pas eu d'influence sur le résultat et une analyse d'image tous les 50 mètres semble suffisante. Cette homogénéité sédimentaire était prévisible avec ce qui est connu de cette zone (Figure 1, Matériel et Méthode) mais il faut garder à l'esprit que pour des zones où le sédiment est plus hétérogène, comme en Manche par exemple, où d'autres vidéos ont été acquises, l'utilisation d'une fréquence aussi faible pourrait diminuer la qualité des données. Il serait préférable de faire des nouveaux tests statistiques si une nouvelle étude devait être réalisée dans un milieu aux sédiments plus hétérogènes.

4.2.3. Densité des terriers

De même que pour les sédiments, la fréquence de prélèvement n'avait pas d'effet sur la densité de terriers estimée. Il sera donc préférable d'utiliser un prélèvement d'image tous les 50 mètres permettant une économie de temps non négligeable.

La densité de terriers augmente avec la profondeur et baisse avec la perturbation naturelle de fond. Ce résultat peut s'expliquer de deux façons : 1) l'habitat plus profond et plus calme est plus favorable à la faune susceptible de façonner ces terriers. En effet, certains groupes de taxons comme certains crustacés peuvent avoir des terriers sous forme de galeries fragiles et nécessitant du calme donc potentiellement plus en profondeur là où la perturbation de fond est moins importante. D'autres taxons qui sont suspensivores ont besoin d'un minimum de courant pour pouvoir capter les particules alimentaires. 2) dans les zones où la perturbation de fond est importante, le fond est lissé et les traces de bioturbation sont moins visibles. Là encore, les autres variables étant corrélées entre elles, on ne peut pas dire avec certitude que l'effort de pêche est en lien avec la densité de terriers, même si nous pourrions penser avec De Juan et Demestre (2012) et Eigaard et al. (2016) que le chalutage aurait un effet de lissage sur le fond (tout comme la perturbation naturelle de fond) et diminuerait ainsi les traces de bioturbations et donc le nombre de terriers visibles.

4.3. Développement du logiciel AviNotes

4.3.1. Comparaison des trois algorithmes

La turbidité de l'eau semble être importante pour la détection des objets par les différents algorithmes. En effet, nous avons pu voir que pour les trois algorithmes testés, il n'y a pas de différence de résultats dans le cas des terriers et des Pennatules, si l'eau est turbide. De plus la complexité de l'objet et les couleurs qui le composent vont plus ou moins favoriser sa détection. Les Antedonidés, beaucoup plus complexes et sombres, sont peu détectés, alors que les Alcyons en général très clairs le sont beaucoup plus.

Des trois algorithmes, Alternate 3 Merge High semble le plus efficace pour la détection des différents types d'objets ; il détecte les 5 types d'objets étudiés ici. En revanche, Alternate 2 semble détecter une forme plus fidèle pour les Alcyons et les terriers qui sont sur-détectés par les deux autres. En ce qui concerne les Antedonidés, les caractéristiques visuelles de ces

organismes sont peu contrastées par rapport à celles du sédiment et des améliorations de détection seraient souhaitables, car il s'avère difficile de les détourer correctement. Cependant, le fait d'avoir déjà un objet représentatif des Antedonidés pourrait suffire à l'analyse des vidéos, même si les caractéristiques de ce type d'objet ne sont pas exploitables en l'état. En effet, il est possible de créer des objets manuellement à partir d'un curseur, ce qui permet ensuite d'exploiter ces objets pour des dénombrements ou des études de distribution à petite échelle.

Nous avons donc utilisé l'algorithme Alternate 3 Merge high pour nos analyses de vidéo, car c'est l'algorithme qui détecte le plus d'objets et des objets de taille plus fidèle à la réalité, ce qui pourrait permettre de faire des analyses sur ce critère. Il permet aussi de créer des bases d'annotation beaucoup plus rapidement qu'Alternate 2.

4.3.2. Comparaison des recensements avec VideoMiner

Les deux méthodes produisaient un résultat équivalent en termes de recensement. Nous avons tout de même remarqué que le nombre de taxons était souvent sous-estimé dans AviNotes. Ce phénomène pourrait être dû à l'utilisateur. En effet, les objets recensés étant détourés en rouge dans AviNotes, l'œil de l'utilisateur se focalise sur les objets qui ont déjà été recensés dans la base, et l'œil a plus de mal à repérer des organismes dans le fond sombre, moins contrastés. Cette hypothèse peut être confirmée par le fait que les taxons non recensés sont souvent les poissons qui ne sont pas toujours bien contrastés sur le fond. Il pourrait être judicieux de faire un premier passage d'annotation des objets détourés puis de faire un deuxième passage en décochant l'option de détourage pour mieux distinguer les organismes à annoter, mais cela aurait un impact très important sur le temps de traitement. Une autre idée pourrait être de tester différentes couleurs de détourage pour trouver une couleur qui « distrait » moins l'œil de l'utilisateur. De plus, les comptages sous AviNotes sont faits de façon automatique dans une fenêtre de comptage prédéfinie. Cela peut induire un comptage plus strict que dans VideoMiner où l'utilisateur se limite volontairement à une zone de comptage et est souvent forcé d'intégrer ces comptages sur des plages de temps variables. Il faut aussi noter que la position des lasers (là où le comptage a été effectué pour les deux méthodes) est au-dessus de la zone d'éclairement maximale du substrat par le Pagure ; c'est pourtant dans cette dernière que le traitement d'image fonctionnerait le mieux. Le choix de la zone de comptage limitée à la position des lasers n'est donc pas

optimal pour AviNotes. L'angle de l'éclairage devra être corrigé à l'avenir ou la fenêtre de comptage situé dans une zone différente (dont la surface devra être déterminée en fonction des corrections de perspectives).

Le temps de traitement plus long pour AviNotes vient sûrement du fait que chaque Antedonidé doit être labellisé, donc il faut cliquer à chaque fois qu'un individu est repéré. De plus le traitement se fait image par image. Néanmoins, si certains paramètres d'objets permettent de définir des plages de valeurs typiques de ces organismes ou d'autres objets tels que les terriers, la labellisation sera beaucoup plus rapide puisqu'il suffira de lancer un filtre pour sélectionner tous les objets correspondants à ces valeurs sur le transect, ce qui n'est pas le cas pour VideoMiner. En revanche, pour VideoMiner le comptage a été fait par plage de temps (en secondes) lorsqu'il y avait plus de deux individus, la lecture des images a donc été plus rapide, mais peut-être moins précise. De même, si un doute est émis sur le comptage des taxons abondants (qui ont donc été comptés sur des plages de temps pas forcément bien définies), dans le cas de VideoMiner il faudra recommencer l'analyse de la vidéo alors que dans le cas d'AviNotes, chaque objet étant annoté individuellement et le comptage étant fait par le logiciel, la vérification et la correction seront beaucoup plus simple. En général, l'analyse d'images sans automatisation est très observateur-dépendante et donc parfois subjective (Romero-Ramirez et al., 2016, 2013). La collecte de données sous-marines et dans notre cas la vidéo permettent d'avoir une grande quantité de données à un coût intéressant, mais Edgington et al. (2007) et Walther et al. (2004) mettent en avant le temps et l'effort nécessaire à l'analyse de ces données. Ils soulignent alors, ainsi que Romero-Ramirez et al. (2016), que la mise au point de logiciels permettrait une certaine automatisation pour réduire ce temps et cet effort.

Les potentialités développées dans AviNotes vont dans le sens d'une plus grande précision dans l'annotation et le dénombrement des organismes. De plus, les objets labellisés dans AviNotes sont localisés à la fois précisément sur l'image et géographiquement sur le transect, ce qui n'est pas le cas pour VideoMiner. Ceci ajoute un avantage non négligeable pour l'étude des vidéos à l'échelle intra-vidéo.

4.3.3. Analyse des sorties d'objets

D'après les résultats il semble difficile de définir des paramètres représentatifs du type d'objet « Antedonidae ». Il faut noter que les objets pris en compte dans les analyses pour

les Antédonidés étaient beaucoup plus nombreux que pour les autres types d'objets du fait de leur présence plus importante sur les vidéos. Cette difficulté vient sûrement du fait que les objets sont mal détournés par le logiciel ce qui donne des paramètres d'objets qui ne sont pas forcément représentatif de l'objet réel, de plus les Antédonidés ont des couleurs et des formes très diversifiées ce qui doit être ressenti dans l'analyse. Pour le reste des objets, les paramètres n'ont pas montrés de tendance très nette pour la définition des types d'objets, Il faudrait réitérer les analyses avec plus d'observation par types d'objets. Cela permettrait aussi de confirmer le peu de tendance observé dans les résultats. Cependant, même si des développements importants sont probablement encore nécessaires, AviNotes permet de conduire des analyses des objets annotés pouvant permettre non seulement de les détecter plus rapidement mais aussi d'en étudier des paramètres de taille ou de couleur qui peuvent être à terme pertinents dans des analyses écologiques.

5. Conclusion

L'utilisation de données acquises par vidéo sous-marine s'est montrée complémentaire des données acquises par chalutage, mettant en valeur des taxons non visibles dans les captures de chaluts, permettant de quantifier les traces d'impacts de chalutage, la nature du sédiment superficiel et les terriers. L'utilisation de ces données a aussi permis le calcul d'un indicateur de perturbation en réponse au chalutage comparable à celui issu des données de chalutage. Néanmoins, les données étant pour le moment en quantité insuffisantes, elles n'ont pas reflété les mêmes résultats que pour les traits de chalut. Le développement du logiciel AviNotes a permis d'initier des processus d'automatisation de l'analyse vidéo benthique afin de gagner en précision et en temps d'analyse. Différents algorithmes ont pu être testés afin de détecter un maximum d'organismes/objets sur les vidéos.

L'analyse d'autres vidéos, acquises lors de la campagne de 2017, permettra peut-être de mettre en évidence d'autres taxons seulement visibles à la vidéo confirmant, encore, la complémentarité des études de vidéo et de contenu de chalut, d'améliorer la connaissance sur les facteurs contrôlant la densité de terriers et la sensibilité de la mégafaune épibenthique dans le Golfe du Lion et d'obtenir des indices de perturbation en réponse au chalutage plus représentatif de la réalité. Pour finir, la poursuite du développement collaboratif du logiciel AviNotes permettra d'approfondir l'utilisation des outils existant pour l'analyse des vidéos à des fins écologique et de gestion.

Bibliographie

- Baux, N., 2014. Mise en place d'un protocole de suivi des assemblages de mégafaune benthique par vidéo sous-marine. Rapport de stage de M1, Université des Sciences et Technologies de Lille.
- Bergbauer, M., Humberg, B., 1999. Flora y fauna submarina del mar Mediterraneo. Omega, Barcelone.
- Collie, J.S., Hall, S.J., Kaiser, M.J., Poiner, I.A.N.R., 2000. A quantitative analysis of fishing impacts on shelf-sea benthos. *J. Anim. Ecol.* 69, 785–798.
- De Juan, S., Demestre, M., 2012. A Trawl Disturbance Indicator to quantify large scale fishing impact on benthic ecosystems. *Ecol. Indic.* 18, 183–190. doi:10.1016/j.ecolind.2011.11.020
- De Juan, S., Demestre, M., Thrush, S., 2009. Defining ecological indicators of trawling disturbance when everywhere that can be fished is fished: A Mediterranean case study. *Mar. Policy* 33, 472–478. doi:10.1016/j.marpol.2008.11.005
- Degroot, S.J., 1984. The Impact of Bottom Trawling on Benthic Fauna of the North-Sea. *Ocean Manag.* 9, 177–190.
- Dernie, K.M., Kaiser, M.J., Warwick, R.M., 2003. Recovery rates of benthic communities following physical disturbance. *J. Anim. Ecol.* 72, 1043–1056. doi:10.1046/j.1365-2656.2003.00775.x
- Deschamps, G., Meillat, M., Arzel, P., Dremière, P.-Y., Biseau, A., George, J.-P., Larnaud, P., Morandeau, F., Théret, F., 2003. Histoire du chalut, Evolution des techniques et des matériaux. Ifremer éd.
- Dinmore, T.A., Duplisea, D.E., Rackham, B.D., Maxwell, D.L., Jennings, S., 2003. Impact of a large-scale area closure on patterns of fishing disturbance and the consequences for benthic communities. *ICES J. Mar. Sci.* 60, 371–380. doi:10.1016/S1054
- Edgington, D.R., Cline, D.E., Mariette, J., Kerkez, I., 2007. Detecting, tracking and classifying animals in underwater observatory video, in: International Symposium on Underwater Technology, UT 2007 - International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies 2007. pp. 634–638. doi:10.1109/UT.2007.370827
- Eigaard, O.R., Bastardie, F., Breen, M., Dinesen, G.E., Hintzen, N.T., Laffargue, P., Mortensen, L.O., Nielsen, J.R., Nilsson, H.C., Neill, F.G.O., Smith, C., Sørensen, T.K., Polet, H., Reid, D.G., Sala, A., Sko, M., Tully, O., Zengin, M., Rijnsdorp, A.D., 2016. Estimating seabed pressure from demersal trawls, seines, and dredges based on gear design and dimensions. *Mar. Sci.* 73.
- Fabri, M.C., Pedel, L., Beuck, L., Galgani, F., Hebbeln, D., Freiwald, A., 2014. Megafauna of vulnerable marine ecosystems in French mediterranean submarine canyons: Spatial distribution and anthropogenic impacts. *Deep. Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* 104, 184–207. doi:10.1016/j.dsr2.2013.06.016
- Garlan, T., Marchès, E., 2012. Etat physique et chimique, Caractéristiques physiques, Nature des fonds marins. SHOM.
- Hiddink, J.G., Jennings, S., Kaiser, M.J., Queirós, A.M., Duplisea, D.E., Piet, G.J., 2006. Cumulative impacts of seabed trawl disturbance on benthic biomass, production, and species richness in different habitats. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63, 721–736. doi:10.1139/f05-266
- Hughes, D.J., Atkinson, R.J.A., 1997. A towed video survey of megafaunal bioturbation in the north-eastern Irish Sea. *J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom* 77, 635–653. doi:10.1017/S0025315400036122
- Jennings, S., Pinnegar, J., Polunin, N., Warr, K., 2001. Impacts of trawling disturbance on the trophic structure of benthic invertebrate communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 213, 127–142. doi:10.3354/meps213127
- Kaiser, M., Edwards, D.B., Armstrong, P.J., Radford, K., Lough, N.E.L., Flatt, R.P., Jones, H.D., 1998.

- Changes in megafaunal benthic communities in different habitats after trawling disturbance. *ICES J. Mar. Sci.* 55, 353–361. doi:10.1006/jmsc.1997.0322
- Kaiser, M.J., Clarke, K.R., Hinz, H., Austen, M.C. V, Somerfield, P.J., Karakassis, I., 2006. Global analysis and prediction of the response of benthic biota to fishing. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 311, 1–14. doi:10.3354/meps311001
- Labrune, C., Romero-Ramirez, A., Amouroux, J.M., Duchêne, J.C., Desmalades, M., Escoubeyrou, K., Buscail, R., Grémare, A., 2012. Comparison of ecological quality indices based on benthic macrofauna and sediment profile images: A case study along an organic enrichment gradient off the Rhône River. *Ecol. Indic.* 12, 133–142. doi:10.1016/j.ecolind.2011.04.028
- Legendre, P., Legendre, L., 2012. *Numerical Ecology*, 3e ed. Elsevier.
- Llapasset, M., 2016. Définition des habitats benthiques sensibles ou à risque dans le golfe du Lion. Mémoire de stage de M2, Université de Perpignan Via Domitia.
- Machan, R., Fedra, K., 1975. A new towed underwater camera system for wide-range benthic surveys. *Mar. Biol.* 33, 75–84. doi:10.1007/BF00395004
- McCullagh, P., Nelder, J.A., 1989. *Generalized linear models*, 2e ed. Londres.
- Metral, L., Brisset, B., 2015. Fiches pratiques d'aide à l'identification des espèces marines de Méditerranée occidentale pour la campagne de chalutage MEDITS.
- Papaconstantinou, C., Farrugio, H., 2000. Fisheries in the mediterranean. *Mediterr. Mar. Sci.* 1, 5–18. doi:10.12681/mms.2
- Règlement (UE) n° 1380/2013 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2013 relatif à la politique commune de la pêche, modifiant les règlements (CE) n° 1954/2003 et (CE) n° 1224/2009 du Conseil et abrogeant les règlements (CE) n° 2371/2002 et (CE) n° 639/2004 du Conseil et la décision 2004/585/CE du Conseil, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32013R1380>, consulté le 06/06/2017
- Règlement UE n° 1224/2009 du Parlement européen et du Conseil du 20 novembre 2009 instituant un régime communautaire de contrôle afin d'assurer le respect des règles de la politique commune de la pêche, modifiant les règlements (CE) no847/96, (CE) no2371/2002, (CE) no811/2004, (CE) no768/2005, (CE) no2115/2005, (CE) no2166/2005, (CE) no388/2006, (CE) no509/2007, (CE) no676/2007, (CE) n1098/2007, (CE) no1300/2008, (CE) no1342/2008 et abrogeant les règlements (CEE) no2847/93, (CE) no1627/94 et (CE) no1966/2006, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:343:0001:0050:fr:PDF>, consulté le 06/06/2017
- Règlement d'exécution (UE) 2015/1962 de la Commission du 28 octobre 2015 modifiant le règlement d'exécution (UE) n° 404/2011 de la Commission portant modalités d'application du règlement (CE) n° 1224/2009 du Conseil instituant un régime communautaire de contrôle afin d'assurer le respect des règles de la politique commune de la pêche, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32015R1962>, consulté le 06/06/2017
- R Development Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Rivier, A., 2010. Evaluation de l'action de la houle et du courant sur les fonds marins dans le cadre de la réalisation de cartographie d'habitats marins. Ifremer.
- Romero-Ramirez, A., Grémare, A., Bernard, G., Pascal, L., Maire, O., Duchêne, J.C., 2016. Development and validation of a video analysis software for marine benthic applications. *J. Mar. Syst.* 162, 4–17. doi:10.1016/j.jmarsys.2016.03.003
- Romero-Ramirez, A., Grémare, A., Desmalades, M., Duchêne, J.C., 2013. Semi-automatic analysis and interpretation of sediment profile images. *Environ. Model. Softw.* 47, 42–54.

doi:10.1016/j.envsoft.2013.04.008

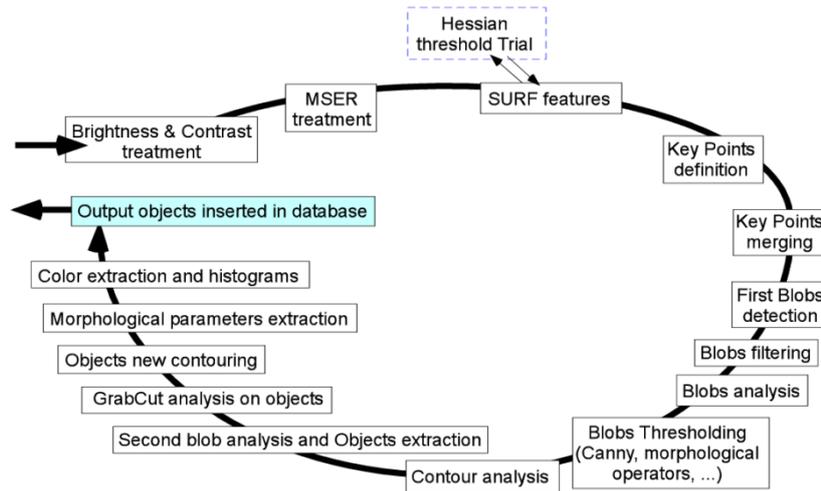
- Rosenberg, R., Nilsson, H.C., Grémare, A., Amouroux, J.M., 2003. Effects of demersal trawling on marine sedimentary habitats analysed by sediment profile imagery. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 285–286, 465–477. doi:10.1016/S0022-0981(02)00577-4
- Sacchi, J., 2008. Impact des techniques de pêche en Méditerranée, solutions d'amélioration. CGPM.
- Sheehan, E. V., Vaz, S., Pettifer, E., Foster, N.L., Nancollas, S.J., Cousens, S., Holmes, L., Facq, J.V., Germain, G., Attrill, M.J., Reynolds, J., 2016. An experimental comparison of three towed underwater video systems using species metrics, benthic impact and performance. *Methods Ecol. Evol.* 7, 843–852. doi:10.1111/2041-210X.12540
- Sigurdardóttir, S., Stefánsdóttir, E.K., Condie, H., Margeirsson, S., Catchpole, T.L., Bellido, J.M., Eliassen, S.Q., Goñi, R., Madsen, N., Palialexis, A., Uhlmann, S.S., Vassilopoulou, V., Feekings, J., Rochet, M.J., 2015. How can discards in European fisheries be mitigated Strengths, weaknesses, opportunities and threats of potential mitigation methods. *Mar. Policy* 1–51, 366–374. doi:10.1016/j.marpol.2014.09.018
- Schneider, C. A.; Rasband, W. S. & Eliceiri, K. W. (2012), "*NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis*", *Nature methods* 9(7): 671-675, PMID 22930834
- Soufflet, M., 2013. Comparaison des assemblages de mégafaune benthique à partir d'observations obtenues par chalut de fond et par vidéo sous-marine. Mémoire de M1, Université des Sciences et Technologies de Lille.
- Stevens, T.F., Sheehan, E. V., Gall, S.C., Fowell, S.C., Attrill, M.J., 2014. Monitoring benthic biodiversity restoration in Lyme Bay marine protected area: Design, sampling and analysis. *Mar. Policy* 45, 310–317. doi:10.1016/j.marpol.2013.09.006
- Thiébaud, E., 2016. Effet de la pêche sur les écosystèmes marins. Roscoff.
- Tsagarakis, K., Palialexis, A., Vassilopoulou, V., 2013. Mediterranean fishery discards: review of the existing knowledge. *ICES J. Mar. Sci.* 71, 1219–1234. doi:10.1093/icesjms/fst034
- UNEP, MAP, RAC/SPA, 2013. Description of the ecology of the Gulf of Lions shelf and slope area and identification of the areas that may deserve to be protected. doi:10.1002/9780470670590.wbeog931
- Walther, D., Edgington, D.R., Koch, C., 2004. Detection and tracking of objects in underwater video. *Proc. 2004 IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004.* 1, 0–5. doi:10.1109/CVPR.2004.1315079
- Wauters, L., 2011. Comparaison de la mégafaune benthique récoltée par chalut de fond et observée par vidéo sous-marine. Rapport de stage de M1, Université des Sciences et Technologies de Lille.
- Weinberg, S., 2013. Découvrir la vie sous-marine-Méditerranée. Éditions Gap, Challes-les-Eaux.
- Wendling, D., 2007. Etat des lieux réglementation sur le chalut pour le Golfe du Lion.

Librairies R

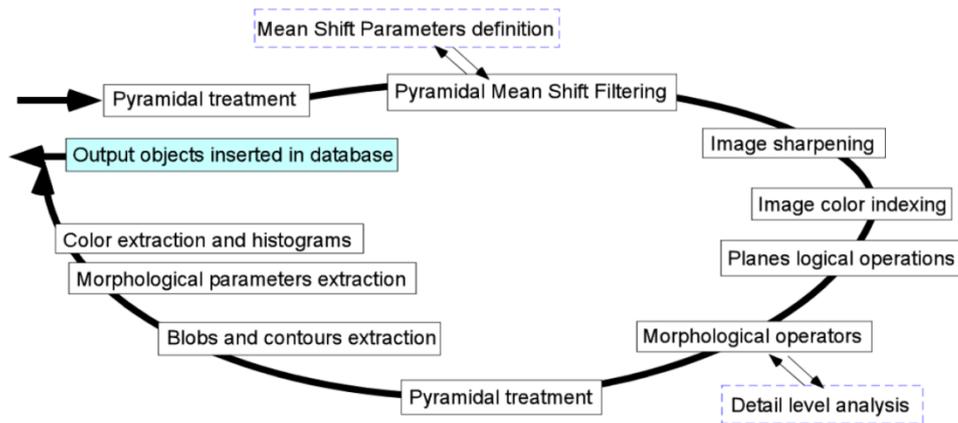
- Roger Bivand, Tim Keitt and Barry Rowlingson (2016). *rgdal: Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library*. R package version 1.1-10. <https://CRAN.R-project.org/package=rgdal>
- Matt Dowle and Arun Srinivasan (2017). *data.table: Extension of `data.frame`*. R package version 1.10.4. <https://CRAN.R-project.org/package=data.table>
- John Fox and Sanford Weisberg (2011). *An {R} Companion to Applied Regression, Second Edition*. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Jerome Friedman, Trevor Hastie, Robert Tibshirani (2010). Regularization Paths for Generalized Linear Models via Coordinate Descent. *Journal of Statistical Software*, 33(1), 1-22. URL <http://www.jstatsoft.org/v33/i01/>
- Robert J. Hijmans (2016). *raster: Geographic Data Analysis and Modeling*. R package version 2.5-8. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>
- David Meyer, Evgenia Dimitriadou, Kurt Hornik, Andreas Weingessel and Friedrich Leisch (2017). *e1071: Misc Functions of the Department of Statistics, Probability Theory Group (Formerly: E1071), TU Wien*. R package version 1.6-8. <https://CRAN.R-project.org/package=e1071>
- Jari Oksanen, F. Guillaume Blanchet, Michael Friendly, Roeland Kindt, Pierre Legendre, Dan McGlinn, Peter R. Minchin, R. B. O'Hara, Gavin L. Simpson, Peter Solymos, M. Henry H. Stevens, Eduard Szoecs and Helene Wagner (2017). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.4-3. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Pebesma, E.J., R.S. Bivand, 2005. Classes and methods for spatial data in R. *R News* 5 (2), <https://cran.r-project.org/doc/Rnews/>. Roger S. Bivand, Edzer Pebesma, Virgilio Gomez-Rubio, 2013. *Applied spatial data analysis with R, Second edition*. Springer, NY. <http://www.asdar-book.org/>
- Terry Therneau, Beth Atkinson and Brian Ripley (2015). *rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees*. R package version 4.1-10. <https://CRAN.R-project.org/package=rpart>
- Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002) *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0
- H. Wickham. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2009.
- Hadley Wickham (2011). The Split-Apply-Combine Strategy for Data Analysis. *Journal of Statistical Software*, 40(1), 1-29. URL <http://www.jstatsoft.org/v40/i01/>
- Achim Zeileis and Gabor Grothendieck (2005). *zoo: S3 Infrastructure for Regular and Irregular Time Series*. *Journal of Statistical Software*, 14(6), 1-27.<doi:10.18637/jss.v014.i06>

Annexes

Annexe 1 : Description du protocole de mise en place des algorithmes pour la création des bases dans AviNotes. Pour Alternate 2 dans l'annexe 1.1 et Alternate 3 Mer Low et High dans l'annexe 1.2.



Annexe 1.1 : Protocole de création d'algorithme pour Alternate 2



Annexe 1.2 : Protocole de création d'algorithme pour Alternate 3 Merge Low et Alternate 3 Merge High

Annexe 2 : Moyenne du pourcentage de sédiment (vase ou sable) et écart-type pour toutes les photos d'une fréquence de prélèvement : 10 (bleu), 25 (turquoise) ou 50 mètres (rouge)

Vidéo	Nombre d'images analysées	Nombre de points analysés	Fréquence de prélèvement (m)	Moyenne du pourcentage de vase	Moyenne du pourcentage de sable	Ecart-Type du pourcentage
GALION_1-G220	30	50	10	100	0	0
GALION_1-G220	12	50	25	100	0	0
GALION_1-G220	5	50	50	100	0	0
GALION_2-G213	31	50	10	100	0	0
GALION_2-G213	13	50	25	100	0	0
GALION_2-G213	6	50	50	100	0	0
GALION_3-G211	46	50	10	100	0	0
GALION_3-G211	25	50	25	100	0	0
GALION_3-G211	9	50	50	100	0	0
GALION_4-G107	27	50	10	100	0	0
GALION_4-G107	19	50	25	100	0	0
GALION_4-G107	10	50	50	100	0	0
GALION_5-G204	41	50	10	100	0	0
GALION_5-G204	16	50	25	100	0	0
GALION_5-G204	8	50	50	100	0	0
GALION_6-G104	56	50	10	100	0	0
GALION_6-G104	22	50	25	100	0	0
GALION_6-G104	11	50	50	100	0	0
GALION_7-G205	19	50	10	100	0	0
GALION_7-G205	7	50	25	100	0	0
GALION_7-G205	4	50	50	100	0	0
GALION_8-G207	52	50	10	100	0	0
GALION_8-G207	21	50	25	100	0	0

GALION_8-G207	10	50	50	100	0	0
GALION_9-G103	34	50	10	100	0	0
GALION_9-G103	14	50	25	100	0	0
GALION_9-G103	7	50	50	100	0	0
GALION_10-G301	29	50	10	95.9	4.1	14.9
GALION_10-G301	11	50	25	100	0	0
GALION_10-G301	5	50	50	100	0	0
GALION_12-G201	41	50	10	100	0	0
GALION_12-G201	16	50	25	100	0	0
GALION_12-G201	8	50	50	100	0	0
GALION_13-G401	18	50	10	100	0	0
GALION_13-G401	9	50	25	100	0	0
GALION_13-G401	4	50	50	100	0	0
GALION_14-G302	46	50	10	98.7	1.3	8.85
GALION_14-G302	18	50	25	100	0	0
GALION_14-G302	8	50	50	100	0	0

Annexe 3 : Analyse détaillée de la comparaison des différents algorithmes utilisés dans AviNotes en fonction de 5 types d'objets différents.

Comparaison d'algorithmes pour les terriers avec turbidité faible

Lorsque la turbidité est faible, Alternate 2 semble être l'algorithme le plus adapté pour la recherche de terriers. En effet les deux autres algorithmes détectent énormément d'objets correspondants en fait à des zones du sédiment un peu plus claires ou un peu plus foncées.

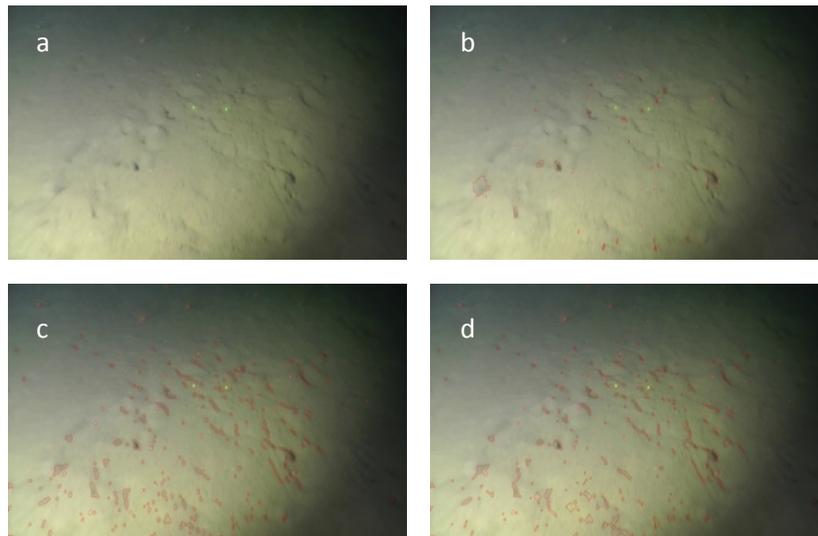


Figure A3.1 : Image représentant des terriers avec une turbidité faible sous 3 traitements différents. a) sans traitement, b) Alternate 2, c) Alternate 3 MergeLow, d) Alternate 3 Merge High

Comparaison d'algorithmes pour les terriers avec turbidité importante

Lorsque la turbidité est importante on ne distingue pas de différence entre les différents traitements.

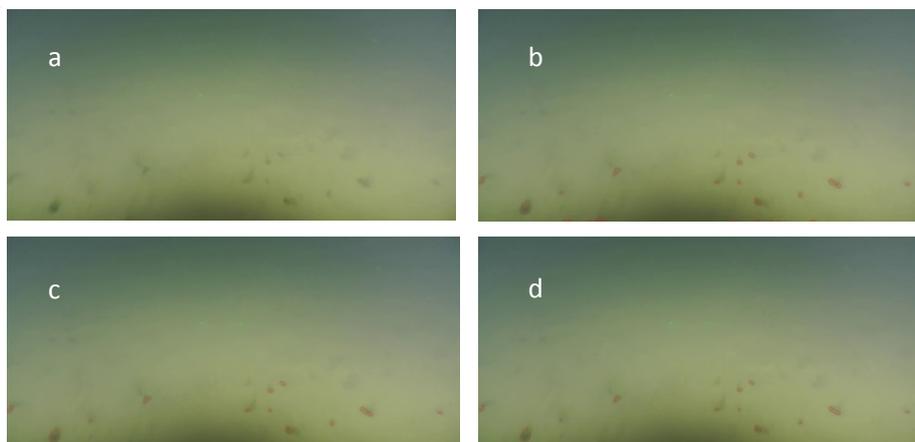


Figure A3.2 : Image représentant des terriers avec une turbidité élevée sous 3 traitements différents. a) sans traitement, b) Alternate 2, c) Alternate 3 Merge Low, d) Alternate 3 Merge High

Comparaison d'algorithmes pour les Pennatules (*Pennatula sp.*)

Les Pennatules sont assez mal définies par les différents algorithmes. Seuls des petites parties sont détectée et il n'y a pas de vraies différences entre les différents algorithmes.

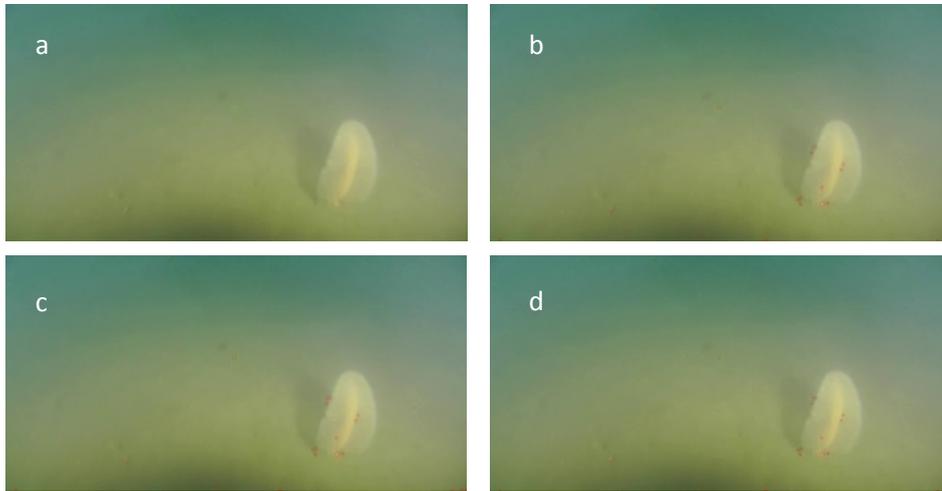


Figure A3.3 : Image représentant une Pennatule (*Pennatula sp.*) sous 3 traitements différents. a) sans traitement, b) Alternate 2, c) Alternate 3 Merge Low, d) Alternate 3 Merge High

Comparaison d'algorithmes pour les Vérétilles (*Veretillum sp.*)

Les Vérétilles sont assez mal définies par les différents algorithmes. Les organismes étant érigés, seule l'extrémité est détectée. Néanmoins, il semblerait que ce soit Alternate 3 MergeHigh qui en détecte le plus grand nombre et la plus grande surface.

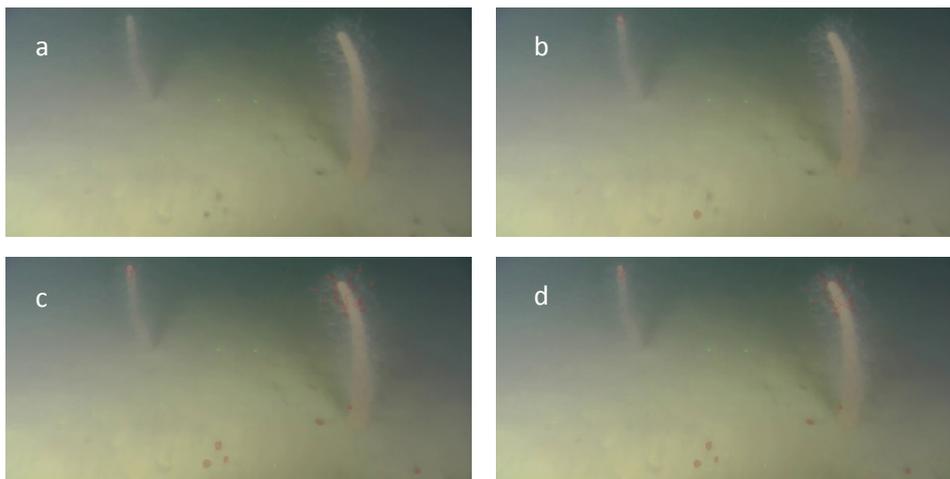


Figure A3.4 : Image représentant deux Vérétilles (*Veretillum sp.*) sous 3 traitements différents. a) sans traitement, b) Alternate 2, c) Alternate 3 MergeLow, d) Alternate 3 Merge High

Comparaison d'algorithmes pour les Antédonidés (*Antedonidae*) :

On peut voir sur les trois images des trois algorithmes que c'est l'objet représenté par l'algorithme Alternate 3Merge High qui est le plus fidèle aux proportions des Antédonidés. Ces organismes posent problème pour les algorithmes de manière générale car ils sont peu contrastés par rapport au sédiment et leur forme change énormément d'un individu à l'autre. Il reste toujours des individus non définis quel que soit l'algorithme utilisé.

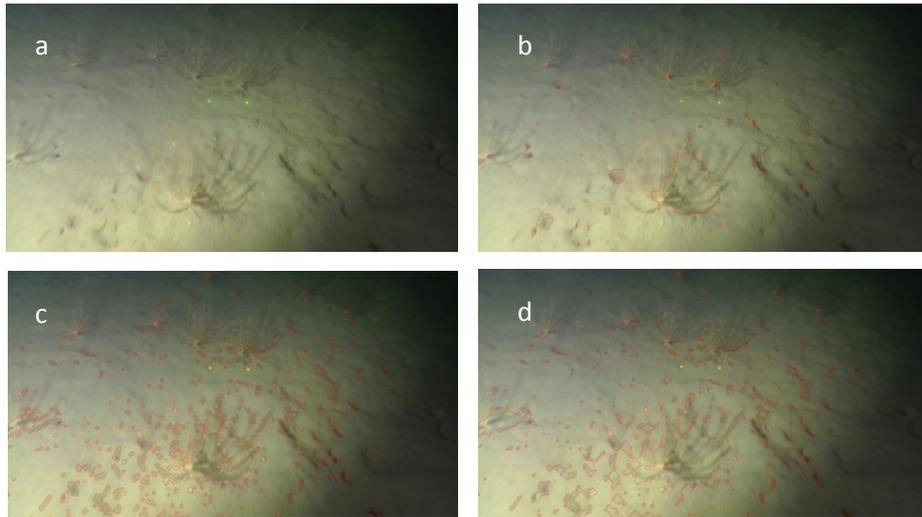


Figure A3.5 : Image représentant des Antédonidés (*Antedonidae*) sous 3 traitements différents. a) sans traitement, b) Alternate 2, c) Alternate 3 Merge Low, d) Alternate 3 Merge High

Comparaison d'algorithmes pour les Alcyons (*Alcyoniumsp.*)

Pour les trois algorithmes l'organisme est détecté. Il semble que l'algorithme Alternate2 soit le plus proche de la forme de l'Alcyon sur cette image. D'après des observations personnelles des images, ils font partie des objets les mieux définis par les algorithmes.

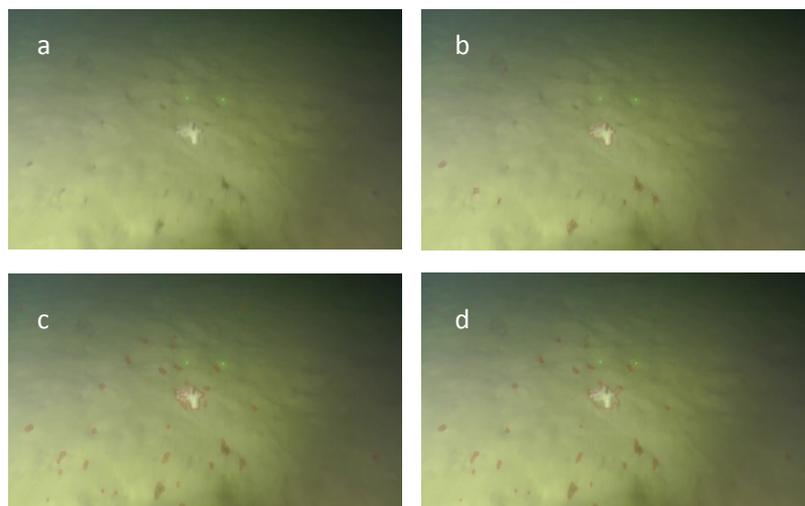


Figure A3.6 : Image représentant un Alcyon (*Alcyonium sp.*) sous 3 traitements différents. a) sans traitement, b) Alternate 2, c) Alternate 3 Merge Low, d) Alternate 3 Merge High

Annexe 4 : Tableau récapitulatif des résultats des différentes analyses des paramètres d'images pour chaque type d'objet : Vérétilles (Ver), Alcyons (Alc), Antédonidés (Ant) et Terriers (Bur)

Les paramètres en gras sont les paramètres conservés car moins corrélé (<0.9) aux autres. Quand un groupe de paramètres était très corrélé, seul un paramètre était conservé (indiqué en italique) pour représenter son groupe.

Paramètres	Groupe de corrélé	Exploration visuelle des Boxplots				ANOVA pour tous les types (alpha 5%)				ANOVA pour chaque type séparément (alpha 5%)				GLM multinomial				GLM binomial			
		Ver	Alc	Ant	Bur	Ver	Alc	Ant	Bur	Ver	Alc	Ant	Bur	Ver	Alc	Ant	Bur	Ver (r2~0.83, roc~0.99)	Alc (r2~0.38, roc~0.92)	Ant	Bur (r2~0.71, roc~0.97)
meanGray	1	-	OK	-	-	***				**	**	N	**	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<i>meanB</i>	1		OK			***				**	**	N		0.03	-0.009	-0.05	0.03	0.07 (***)	-	-	-7.57e-04 (***)
meanG	1	-	-	-	-	***				-	**	N	**	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
meanR	1	-	-	-	-	***				-	*	N	**	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
meanHue			OK			***				**	*	N	**	0	0	0	0	-0.31 (***)	-	-	23.0 (***)
minHue			OK			***				**	*	N	**	-0.09	-0.009	-0.01	0.11	-	-	-	0.22 (***)

maxHue		O	-	-	-	***	**	*	**	N	**	0.09	0.02	-	0.0	0.32	13.8	-	-0.15
		K	-	-	-		*	**	A	*		7	0.04	8	(***)	(***)		-	(***)
meanSat		O	-	-	-	***	**	*	**	N	**	0	8.62	-	13.5	-	-	-	-
		K	-	-	-		*	*	A	*			6	12	-	-	-	-	-
minSat	7	-	O	-	O	***	**	*	**	N	**	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		K	-	-	K		*	*	A	*									
maxSat	7	-	O	-	O	***	**	*	**	N	**	0	0	0	0	0	-	-	-
		K	-	-	K		*	*	A	*									
meanLum	1	-	-	-	-	***	-	**	*	N	**	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		-	-	-	-														
stdevHue	2	O	-	-	-	***	**	*	-	N	**	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		K	-	-	-		*			A	*								
stdevSat	2	O	O	-	-	***	**	*	**	N	**	24.9	70.9	-	70.7	61.6	96.3	-	-36.1
		K	K	-	-		*	*	*	A	*		35.9		(***)	(***)			(**)
stdevLum	2	-	-	-	-	***	**	*	*	N	**	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		-	-	-	-		*	*	*	A	*								
entropHue	2	O	-	-	-	***	**	*	-	N	**	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		K	-	-	-		*			A	*								
entropSat	2	-	-	-	O	***	**	*	*	N	**	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		-	-	-	K		*	*	*	A	*								
entropLum	2	-	-	-	O	***	-	**	*	N	**	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		-	-	-	K														
Area	6	-	-	-	-	***	-	-	-	N	**	0	0	0	0	-	-	-	-15.1
		-	-	-	-						*								(***)
Perimete	6	-	-	-	-	***	-	NA	*	N	**	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		-	-	-	-						*								
Hu1	3	-	-	-	-	***	-	**	*	N	**	-2.1	-	8.71	-	-	-16.5	-	-
		-	-	-	-														

								A	*		6.15		1.9		(***)		
								N	**				2				
Hu2		-	-	-	-	***	-	**	A	**	0.69	0.07	-	0.6		-	-
								N	**								
Hu3		-	-	-	-	***	-	**	A	*	0.81	0.55	0.96	0.4		-	22.9 (***)
								N	**								
Hu4		-	-	-	-	**	-	-	A	*	0	0	0	0		-	-
								N	-		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Hu5		-	-	-	-	-	-	-	A	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
								N	-		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Hu6		-	-	-	-	-	-	-	A	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
								N	-		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Hu7		-	-	-	-	-	-	-	A	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
								N	**								
centralMoment02	6	-	-	-	-	***	-	**	A	*	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
								N	**								
centralMoment11		-	-	-	-	-	-	-	A	**	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
								N	**								
centralMoment20	6	-	-	-	-	***	-	-	A	*	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
								N	**								
normalizedCentralMome nt02		-	-	-	-	***	**	-	A	*	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
								N	**								
normalizedCentralMom ent11		-	-	-	-	***	**	-	A	*	3.83	2.57	2.37	-	0.1	12.4	14.4 (***)
								N	**								
normalizedCentralMome nt20		-	-	-	-	***	*	-	A	*	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
								N	**								
Theta		O	-	OK	-	***	**	-	A	**	0.11	0.03	0.27	0.2	0.79	(***)	-
								N	**								
Eccentricity		O	-	-	-	***	**	-	N	-	-	-	2.38	-	-	-3.98	-

		K				*		A		1.22	0.81		1.4		(***)			
Eccentricity2		-	-	-	O K	***	*	-	N A	** *	448. 2	-821	129. 8	54 3	-	-2317 (***)	-	-
Spread	3	-	-	-	-	**	-	-	N A	** *	NA	NA	NA	NA	NA	NA	N A	NA
AngularSecondMoment	4	O K	-	-	-	***	** *	-	N A	** *	NA	NA	NA	NA	NA	NA	N A	NA
Energy	4	O K	-	OK	-	***	** *	**	N A	** *	10.2	4.07	- 12.6	10. 4	18.1 (***)	-	-	-
Entropy	2	O K	-	-	O K	***	** *	-	N A	** *	NA	NA	NA	NA	NA	NA	N A	NA
Contrast		-	-	-	-	***	** *	** *	N A		- 0.05	0.04 2	0.04 2	0.0 4	-16.9 (***)	-	-	-
ADissimilarity	5	O K	-	-	O K	***	** *	** *	N A	** *	11.4	9.86	- 7.42	11. 4	-	21.6 (***)	-	-
InverseDifferenceMome nt	5	O K	-	-	O K	***	** *	** *	N A	** *	NA	NA	NA	NA	NA	NA	N A	NA
objMean_i	1	-	-	-	-	***	-	*	N A	** *	NA	NA	NA	NA	NA	NA	N A	NA
Variance_i	1	-	O K	-	-	***	-	*	N A	** *	NA	NA	NA	NA	NA	NA	N A	NA
Correlation		-	-	OK	-	***	*	-	N A	** *	0	0	0	0	-	-	-	-

Utilisation de la vidéo sous-marine et du chalutage pour la connaissance et le suivi des assemblages de mégafaune benthique

Résumé : Le chalutage est une des perturbations anthropiques les plus importantes pour les fonds marins, la connaissance des communautés susceptibles d'être perturbées par cette technique de pêche est donc essentielle. Des vidéos sous-marines du benthos ont été analysées afin de les comparer à des données acquises par chalutage, en particulier en ce qui concerne leur composition taxonomique ou les valeurs d'indice de perturbation (Trawl Disturbance Indicator) associé à chaque transect. Ces analyses visaient aussi à mettre au point un logiciel permettant d'améliorer la précision et réduisant le temps des analyses habituellement majoritairement faites manuellement. Elles ont permis non seulement de mettre en avant la complémentarité des données acquises par vidéo et de celles obtenues par chalutage, mais aussi de recenser les traces de chalut visibles sur le fond, de caractériser le sédiment superficiel et de déterminer la densité de terriers pour chaque vidéo analysée. Le développement du logiciel AviNotes a permis d'initier des processus d'automatisation de l'analyse vidéo benthique, différents algorithmes ont pu être testés afin de détecter un maximum d'organismes/objets sur les vidéos. Des études supplémentaires sont néanmoins nécessaires pour confirmer certains résultats comme ceux obtenus pour les indices de perturbations qui ne reflétaient pas bien les indices calculés auparavant avec les données de chalut et pour continuer à améliorer les outils d'analyses vidéo.

Mot clef : Vidéo sous-marine ; Chalutage de fond ; Communauté benthique ; Golfe du Lion ; Perturbation

Use of sub-marine video for knowledge and monitoring of benthic megafauna

Abstract: Trawling is one of the most important disturbances due to human activity on the sea floor. Knowledge of communities which could be impacted by this fishing technique is therefore critical. Benthic sub-marine video have been analyzed in order to compare it with data collected by trawling, notably compare their taxonomic composition or the value of their disturbance indicator (Trawl Disturbance Indicator) for each transect. The purpose of this study was also to create software (AviNotes) capable to improve precision and time of video analysis usually done manually. Analysis permitted to highlight complementarity between data collected by sub-marine video and by trawling, but also to count marks of bottom-trawling on the sea bed, to characterize the superficial sediment and to determine burrows density for each video analyzed. AviNotes has allowed initiating automatization process in sub-marine video analysis; several algorithms have been tested in order to detect a maximum of organisms/objects on the video. Further studies are nonetheless needed to improve some results like disturbance indicator which is not reflecting well the one found for trawling data and to continue to improve tools for video analysis.

Key words: Sub-marine video; bottom trawling; Gulf of Lion; Disturbance