

Validation de la méthode d'évaluation du stock de langoustine du golfe de Gascogne par vidéo sous-marine

Valorisation des résultats des trois années de campagne LANGOLF-TV
(2014 – 2015 – 2016)

Rapport scientifique – décembre 2016

Avec le soutien financier de:



Estimation du stock de Langoustine du Golfe de Gascogne à l'aide de transects vidéo

Spyros FIFAS¹, Mathieu WOILLEZ¹, Michèle SALAUN², Jean-Philippe VACHEROT²

¹ Ifremer, Centre de Bretagne Brest, STH/LBH ² Ifremer, Station de Lorient, STH/LTBH

1 Introduction

1.1 Historique international des évaluations CIEM par vidéo sous-marine

Les rapports du WKNEPHTV en 2007 et du WKNEPHBID en 2008 (anon, 2007 ; 2008) définissent les fondements de la standardisation technique de l'usage de la vidéo sous-marine pour le comptage fiable des terriers des langoustines ainsi que les premiers éléments en vue d'une évaluation analytique des stocks de langoustines suivis par vidéo sous-marine. Ces éléments sont analysés annuellement lors des WGNEPS du CIEM (groupes analysant la méthodologie pour l'évaluation des stocks de langoustines ; dernier en date : anon, 2015).

1.1.1 Description de la méthode d'évaluation de la biomasse absolue

Le suivi par vidéo sous-marine permet de calculer le nombre de terriers des langoustines selon des transects usuellement disposés en grille systématique plutôt qu'aléatoirement permettant ainsi un champ d'application plus vaste en analyse géostatistique et en cartographie. La méthode nécessite au préalable la reconnaissance fiable de la forme des structures creusées par les langoustines et elle est développée sur une hypothèse de non viabilité des terriers inhabités par la même espèce (par analogie à certains stocks écossais propices pour des observations *in situ* en raison de leur faible bathymétrie). Le nombre de terriers assorti de son intervalle de confiance définit la densité moyenne de la population qui est couplée avec une estimation précise de la surface réellement occupée obtenue à l'aide d'informations liées à la nature sédimentaire des fonds et à l'exploitation (**e.g.** VMS). Les éléments liés au diagramme d'exploitation du stock (Fmsy et "harvest rate" correspondant) permettent de statuer sur le niveau d'exploitation en vigueur en utilisant comme données d'entrée les poids moyens de langoustines débarquées et rejetées mortes respectivement (acquis à partir de la structure en taille des débarquements et rejets par sexe) ainsi que le taux de rejet et le taux de survie des rejets.

1.1.2 Stocks suivis en routine : expérience écossaise et irlandaise

Les premiers suivis de stocks de langoustines par vidéo sous-marine ont été réalisés en Ecosse au début des années 1990 ; dans un premier temps, ces opérations visaient une meilleure compréhension du comportement des langoustines et plus généralement la quantification de certains paramètres biologiques de l'espèce et n'avaient pas comme objectif l'évaluation de l'abondance d'une population. La distribution bathymétrique des langoustines est négativement corrélée avec la latitude : de ce fait, les stocks écossais sont avantagés en terme de suivi **in situ** comparés à d'autres stocks à répartition plus méridionale (20-25 m de profondeur y sont relativement fréquents alors qu'au golfe de Gascogne ou sur le plateau celtique on se situe en moyenne dans la gamme 80-120 m). En outre, grâce à cette caractéristique, des observations par plongée sous-marine ont permis d'étudier la structure des terriers (diamètre, nombre d'entrées) : ces études écossaises servent toujours comme référence au paramétrage sur d'autres stocks de langoustines des aires VI et VII du CIEM évalués en routine par vidéo sous-marine. Depuis le début des années 2000, Irlande et Angleterre/Pays de Galles ont progressivement adopté l'usage de la vidéo : lors du WKNEPHTV en 2007 (anon, 2007), il avait déjà été signalé que 17% des stocks de langoustines de l'Atlantique Nord-Ouest et de la Méditerranée faisaient appel à l'usage de la vidéo comme outil d'évaluation.

Pour la majorité de ces stocks, des points de référence sont définis (Fmsy et "harvest rate" associé) et les évaluations à partir des données vidéo sont analytiques tandis que pour une partie mineure de ces stocks pour différentes raisons (notamment délimitation imprécise de l'aire de répartition du stock ou lacunes sur les données relatives aux débarquements et aux rejets) la vidéo est utilisée comme outil d'une DLS ("data limited stock") méthode développée pour le cas spécifique de la langoustine (anon, 2014a).

1.1.3 Golfe de Gascogne : essais antérieurs (Trenkel et al., 2007)

La première expérience de campagne vidéo menée dans le Golfe de Gascogne sur des crustacés benthiques a eu lieu l'été 2004 (Trenkel et al., 2007). Cette campagne a permis d'étudier à une échelle très fine les interactions spatiales et temporelles entre langoustines (**Nephrops norvegicus**), galathées (**Munida rugosa**) et gonoplaces rhomboïdes (**Goneplax rhomboides**). Cette étude se base sur des comptages d'individus et non des comptages de terriers. Trenkel et al. (2007) montrent qu'il existe une compétition pour l'espace entre les deux espèces fouisseuses que sont les langoustines et les gonoplaces rhomboïdes (évitement spatial). Par contre, elle est absente entre les langoustines et les galathées. Cependant, si il y a une compétition trophique entre ces espèces, elle est probablement modulée par la différence d'activité durant la journée (réduction de l'activité au cours de la journée chez la langoustine). Cette analyse est intéressante, néanmoins fortement limitée dans le temps (4 jours) et dans l'espace (6 sites au Nord de la Grande Vasière d'une superficie totale d'environ 58 300 m² **vs.** Plus de 11 000 km² de la Grande Vasière), ce qui limite la portée des conclusions à l'ensemble de la Grande Vasière et à sa communauté de crustacées benthiques.

1.1.4 Golfe de Gascogne : comment est-on arrivé à l'expérience 2014-2015 ?

L'absence d'une série temporelle d'indices d'abondance indépendante de la pêche commerciale constituait pendant de longues années un handicap pour l'évaluation analytique du stock.

Pour y remédier, une campagne nommée LANGOLF a été mise en place à partir de 2006 (N/O "Gwen Drez") afin de combler ce manque. Pour des raisons liées aux spécificités de la langoustine (type sédimentaire, engin de pêche employé), il a été jugé nécessaire d'inaugurer une nouvelle série d'observations. Les campagnes de chalutage sur des secteurs avoisinant la "grande vasière" telle EVHOE (N/O "Thalassa") ne conviennent pas pour la langoustine en raison de leur période de réalisation (automne) et des horaires de travail inadaptés. En fait, les prises de langoustine présentent un profil saisonnier (meilleure période de fin de printemps/début de l'été) et horaire (meilleur intervalle situé autour du lever et du coucher du soleil).

Cette campagne avait permis de disposer d'une série standardisée pour la période 2006-2013 en complément de la série commerciale de la flottille du Guilvinec du 2^{ème} trimestre (GV-Q2) disponible depuis 1987. Cette campagne a donné, en outre, des éléments pour l'étude de la faune associée, macro-benthique et démersale, et de la structure sédimentaire de la "grande vasière".

L'évaluation du stock de langoustine du golfe de Gascogne était basée par le passé sur un modèle analytique classique fondé sur l'analyse des captures par âge, lesquelles étant construites à partir des longueurs et d'un modèle de croissance. Il est à noter que les données à disposition n'avaient pas permis d'aboutir à des projections de captures validées par le CIEM, seules les tendances fournies par le modèle en âges étant retenues. Jusqu'à présent, l'évaluation analytique et l'avis sur le stock ont été biennaux (années paires).

Dans un contexte de restriction budgétaire, l'Ifremer a mis un terme à la campagne LANGOLF en 2014. Face à cette décision, un groupe de réflexion composé notamment de représentants de pêcheurs et de scientifiques de l'Ifremer a proposé la mise en œuvre d'une campagne halieutique alternative d'évaluation du stock de langoustine du golfe de Gascogne, **via** la méthode de vidéo sous-marine. Cette méthode validée par le CIEM permet d'aboutir à des évaluations quantitatives validées.

Le programme "LANGOLF-TV" a ainsi été monté sous l'égide du CNPMEM en partenariat avec l'Ifremer, avec un co-financement de l'association France Filière Pêche (FFP)¹ et de la Direction des pêches maritimes et de l'aquaculture (DPMA) du Ministère de l'écologie.

1.2 Objectifs de l'étude

1.2.1 Faisabilité de la manip vidéo en Gascogne

Le programme Langolf TV a consisté à étudier à partir de 2014 la faisabilité technique et opérationnelle d'une évaluation du stock de langoustine du golfe de Gascogne par une campagne de vidéo sous-marine, et à préciser les moyens nécessaires à une éventuelle pérennisation. Sur les deux premières années exploratoires, les opérations vidéo étaient

¹ FFP est une association à caractère interprofessionnel chargée de promouvoir une pêche plus durable et responsable et de favoriser la commercialisation des produits de la pêche française.

combinées avec du chalutage expérimental à bord de navires professionnels afin de disposer des distributions de fréquence des tailles des langoustines par sexe ainsi que de la proportion entre langoustines et autres crustacés fouisseurs (notamment galathée, essentiellement l'espèce **Munida ispp**) pouvant éventuellement biaiser les résultats acquis par comptage des terriers.

Le CNPMM assurait la coordination générale du programme (portage administratif et financier, circulation des informations entre les partenaires, contractualisation avec les prestataires scientifiques/techniques et professionnels).

L'Ifremer avait en charge la coordination des opérations scientifiques (campagnes de vidéo sous-marine et de chalutage professionnel) et l'exploitation des résultats, ainsi que leur valorisation scientifique (notamment auprès du CIEM).

Un comité de pilotage composé des partenaires et financeurs, représentants professionnels et pêcheurs participants s'est réuni trois fois sur la durée du programme : au moment de son lancement puis après chaque campagne expérimentale.

1.2.2 Evaluation du stock de langoustines du golfe de Gascogne par la vidéo

Comme signalé auparavant (§1.1.1), la méthode d'évaluation par vidéo exige un calcul non biaisé de la surface exactement effectivement occupée par le stock et la disponibilité en données relatives à la dynamique du stock (structure en tailles par sexe pour débarquements et rejets). Ces deux conditions semblent remplies de manière satisfaisante dans le cas du golfe de Gascogne.

La surface concernée par la présence des langoustines est délimitée avec précision en tenant compte des informations : (1) relatives à la structure sédimentaire des fonds (5 strates spatiales ; fig. 1 en haut) et (2) de la grille systématique des transects vidéo réalisés superposée avec les données VMS sur la pêcherie (fig 1 en bas ; source des données : DPMA et traitement : SIH Ifremer). L'échantillonnage des débarquements et des rejets (cristallins et à bord des navires professionnels) fournit des estimations récurrentes sur la période depuis 1987 et notamment depuis 2003 et la mise en place de la DCF européenne (programme OBSMER).

Sous ces conditions favorables, le stock de langoustines du golfe de Gascogne paraît bien adapté pour l'évaluation par vidéo sous-marine.

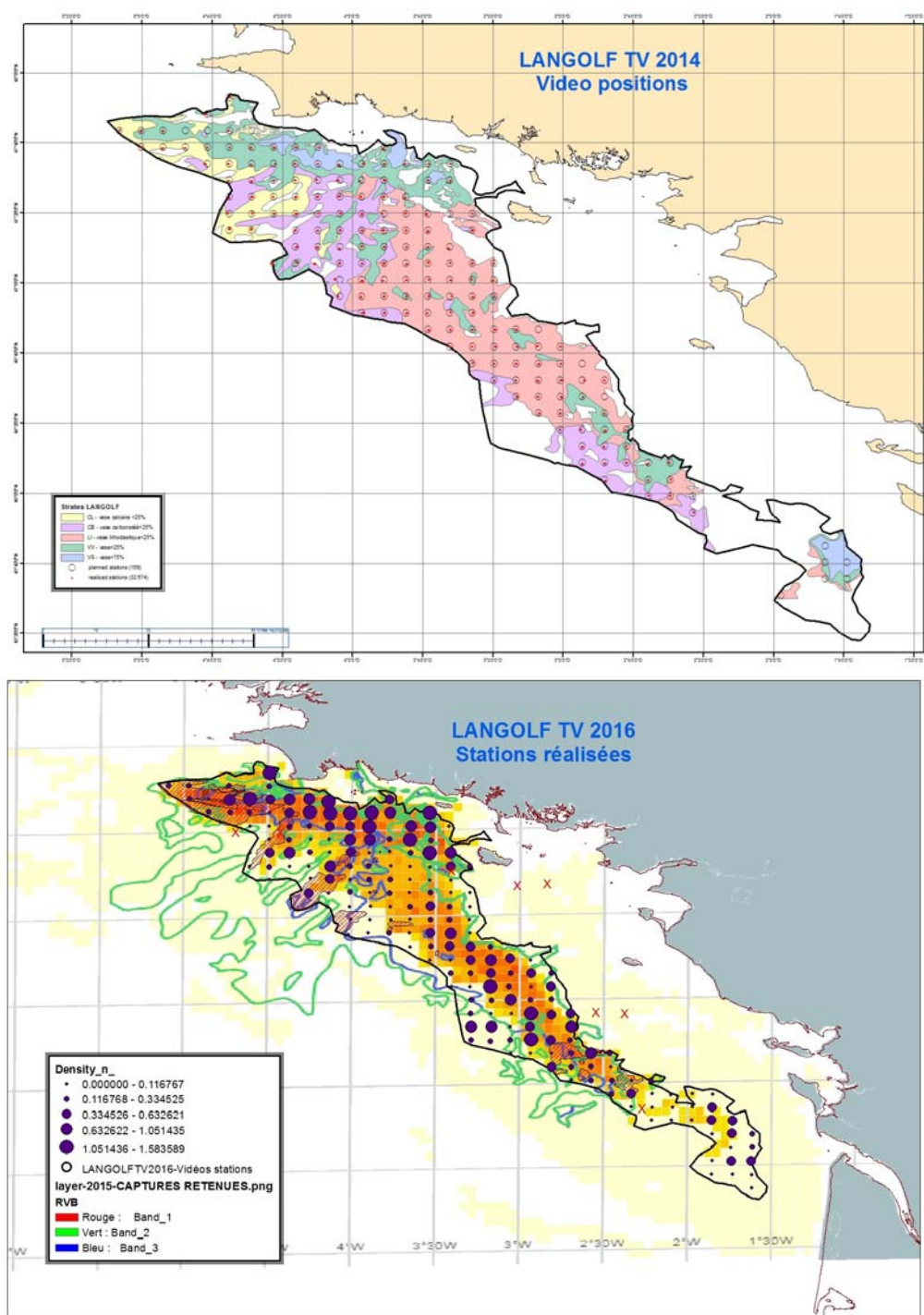


Figure 1. En haut : stratification spatiale du golfe de Gascogne selon des critères sédimentaires (cf. précisions dans le chapitre 2). En bas : superposition des stations vidéo selon une grille systématique (exemple de l'année 2016 non traitée par ce travail) avec les données VMS des captures retenues des langoustines (exemple de l'année 2015 ; source : DPMA ; traitement : SIH Ifremer).

2 Matériels et méthodes

La zone d'étude appelée "Grande Vasière" d'une superficie avoisinant les 11 680 km² est décrite par les travaux de Dubrulle et al. (2005), Bourillet et al. (2006) ; les spécificités de son écosystème sont abordées par Le Loc'h (2004). La partie médiane du golfe de Gascogne entre la baie d'Audierne et le plateau de Rochebonne représente une vaste étendue de sédiments sablo-vaseux uniformes dont les limites sont délicates à fixer. De part et d'autre de l'isobathe de 100 m, généralement entre 70 et 120 m de profondeur, cet ensemble est large d'environ 150 km à sa partie septentrionale (large de Penmarc'h) et se rétrécit progressivement (~ 25 km au niveau de Rochebonne). Actuellement les rivières sont les principales sources de particules fines du golfe de Gascogne. La couverture sédimentaire de la "Grande Vasière" est généralement très fine (0,5-1,5 m) alors que sur l'extrémité Nord (Glénan) l'épaisseur vaseuse avoisine les 3 m. La pellicule de sédiment vaseux (rarement plus de 20-25% de pélites) est très mince sur les crêtes et plus épaisse dans les creux des dunes. La superficie réelle de la "Grande Vasière" est variable et peut se rétrécir significativement en hiver. Pour fixer un contour précis de la zone d'étude des informations ont été combinées provenant soit des travaux en sédimentologie, soit des sources liées à des activités de pêche professionnelle (enquêtes auprès des chalutiers langoustiniers du golfe, données VMS).

Cinq strates sédimentaires en fonction de la teneur du sédiment en vase ainsi que de son origine ont été définies (Fig. 1) comme suit :

- | | |
|-------------------------------|------------------|
| (1) 25% vase | (abréviation VV) |
| (2) 75% vase | (abréviation VS) |
| (3) Vase lithoclastique < 25% | (abréviation LI) |
| (4) Vase carbonatée < 25% | (abréviation CB) |
| (5) Vase calcaire < 25% | (abréviation CL) |

2.1 Description des campagnes (2014-2016)

2.1.1 Dates

Les campagnes antérieures de chalutage sur le "Gwen Drez" se déroulaient sur 14 jours alors que, pour 2014 et 2015 lors de LANGOLF-TV, on disposait de 10 jours effectifs pour les opérations vidéo associées au chalutage tandis que pour 2016 les transects vidéo ont été réalisés sur 12 jours effectifs à bord (tableau 1). En 2014 et 2015 6 scientifiques étaient simultanément embarqués pour la partie vidéo et un seul par navire professionnel (spectre inter-spécifique échantillonné réduit aux seules langoustines et galathées). En 2016, suite à l'abandon des opérations de chalutage associées, seule l'équipe de 6 scientifiques pour le suivi vidéo a été mobilisée.

Tableau 1. Calendrier des campagnes langoustines (LANGOLF "Gwen Drez" 2006-2013, LANGOLF-TV 2014-2015).

<i>Année</i>	<i>Navires+ durée effective</i>	<i>Dates</i>
2014	Celtic Voyager (10 jours) au cours desquels Atlantique (7 jours) + Sanaga (3 jours)	20-29/09
2015	Prince Madog (10 jours) au cours desquels Atlantique (6 jours) + Pastenague (2 jours) ²	20-29/07
2016	Celtic Voyager (12 jours)	04-15/05

2.1.2 Navires

Vidéo

En 2014 et en 2016, le "Celtic Voyager" a assuré la réalisation de la campagne, mais en 2015 suite à une grosse avarie il a été remplacé par le "Prince Madog".

Le "Celtic Voyager" est un des deux bateaux du Gouvernement irlandais mis à la disposition du Marine Institute (construit en 1997 ; longueur 31,4 m, largeur 8,5 m, tirant d'eau 3,8 m, puissance 640 kW ; capacité d'accueil de 8 marins et 6 scientifiques). Il est équipé de laboratoires permettant l'acquisition de données biologiques, géologiques, chimiques et/ou physiques du milieu marin. Il est également doté d'un sondeur multifaisceaux.

Le "Prince Madog" appartient à l'armement P&O et est affrété par l'université galloise de Bangor (construit en 2001 ; longueur 35 m, largeur 9 m, tirant d'eau 3,20 mètres ; capacité d'accueil de 8 marins et 10 scientifiques). Il possède les mêmes équipements que le "Celtic Voyager", mais pas de sondeur multifaisceaux.

Chalutage

Lors de la campagne 2014, deux chalutiers étaient associés aux opérations vidéo : "L'Atlantique" du Guilvinec (LHT de 16,60 m) et le "Sanaga" de Concarneau (LHT de 14,90 m) tandis qu'en 2015 le second navire a été remplacé par "La Pastenague" de l'Ile d'Oléron (LHT de 13 m).

L'engin de pêche employé était constitué de chaluts jumeaux (deux chaluts reliés par leurs pointes d'ailerons au centre) tels que ceux employés par les professionnels à la différence près du maillage du cul ramené à 20 mm étiré afin de permettre la rétention de jeunes individus.

Chaque chalut était muni d'un équipement SCANMAR "corde de dos" et "pointes d'ailerons" pour la vérification de la géométrie du train de pêche pendant les traits (ouvertures verticales et horizontales), et la définition du moment de début du trait sur le fond. Les panneaux étaient équipés du dispositif GEONET permettant d'obtenir des données sur la géométrie de l'engin et sur la température au fond. Grâce à ces dispositifs, il est possible de calculer la surface effectivement balayée sur le fond par unité d'échantillonnage.

² En 2015, perte de deux jours due aux mauvaises conditions météorologiques.

2.1.3 Equipements d'acquisition d'images

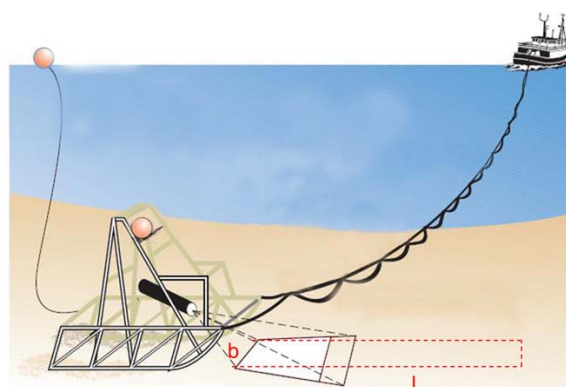
Pour les deux campagnes, l'équipement nécessaire à l'acquisition des données (traîneau, matériel informatique, écrans et enregistreurs) a été mis à disposition par le Marine Institute. Par ailleurs, un technicien irlandais a assuré la maintenance des appareils électroniques.

Le traîneau basé sur le modèle écossais mesure environ 2,5 m*2,7 m*2,5 m pour un poids de 80 kg ; sa vitesse de déplacement est d'environ 20 m par minute.

Le traîneau est constitué de : (1) deux caméras, une pour l'acquisition, une seconde orientée de manière à voir plus amont et éviter ainsi au maximum les obstacles ; (2) de lasers maintenant la largeur du champ de vision à 75 cm ; (3) de flotteurs pour éviter au traîneau de s'enfoncer dans la vase molle ; (4) de lumières à l'avant pour éclairer le champ d'acquisition ; (5) d'une CTD (acquisition de données de température , profondeur et salinité) ; (6) d'un transpondeur pour récupérer la position du traîneau permettant de déterminer la distance parcourue (acquisition selon un pas de 1-2 sec). Le traîneau est tracté par un câble équipé d'une fibre optique. Toutes les informations acquises sur le traîneau sont transmises directement aux différents appareils du bord.



Survey Name: Celtic Sea UTM Survey (24-06-2013 to 04-07-2013)



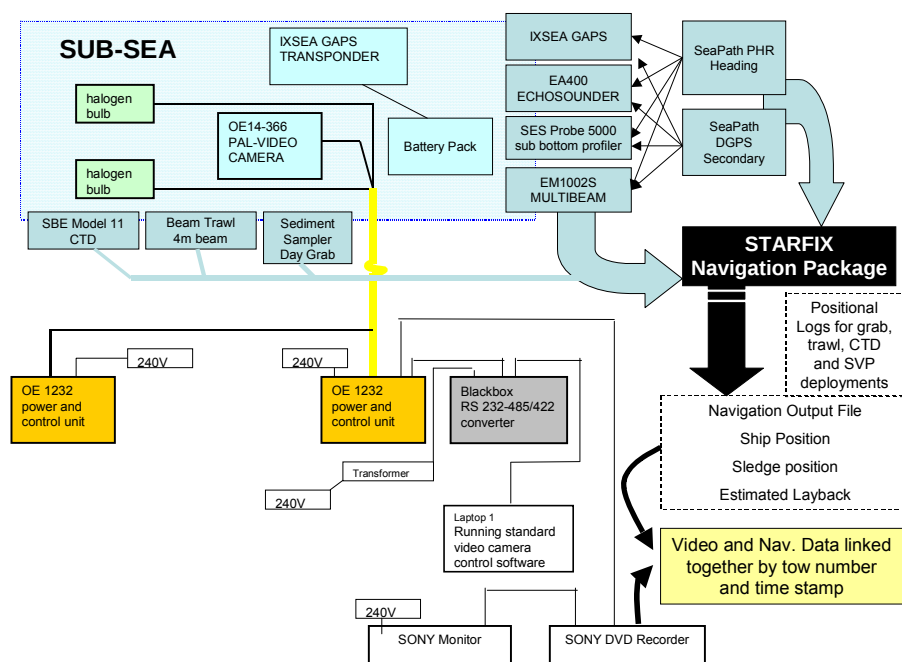


Figure 2. Représentation schématique du traîneau, de sa traction sur le fond et du mécanisme d'acquisition des données à bord. *Source : Marine Institute, Irlande.*

2.1.4 Protocole de comptage

Début de campagne : entraînement au comptage fiable des terriers.

Selon les recommandations du SGNEPS (anon, 2010), les nouveaux lecteurs doivent suivre une formation à la reconnaissance des terriers de langoustine afin de définir une typologie des terriers propres à la langoustine et d'éviter les confusions possibles avec d'autres terriers ou bien l'occupation des terriers par d'autres espèces. Cette formation s'appuie sur des photos de terrier de langoustine mettant en évidence les caractéristiques des terriers de langoustine appelés "signatures" : forme de l'entrée en croissant, entrées simples ou multiples convergeant vers un axe central surélevé, sédiment éjecté sur les bords, traces de griffures causées par les pinces ou périéopodes. (Marrs et al). La règle de base est "si on a un doute on ne compte pas".

Suite à cette formation un test de lecture sur 10 vidéos de 5 min chacune est réalisé. En l'absence de vidéos référentes pour le golfe de Gascogne les images acquises sur le stock de Smalls (mer Celtique) ont été utilisées (en raison de similarités en terme de densité). Les vidéos projetés pour les tests couvrent les différentes gammes de visibilité (faible, moyenne et bonne), de densité (faible, moyenne, forte), et de vitesse de déplacement du traîneau. Elles sont lues deux fois par lecteur. Une validation par le test de Lynn CCC (fig. 3 et 4) permet de confirmer ou non le lecteur : ce test calcule une notation basée sur la corrélation des lectures et ce qui est attendu selon les valeurs de référence. Un minimum de

notation de 0,5 est requis pour être reconnu apte à la lecture, ainsi en 2014 les vidéos lues par le numéro 8 ont été systématiquement reprises par deux autres lecteurs, le numéro 9 a uniquement fait le test de lecture mais n'a pas fait de comptage.

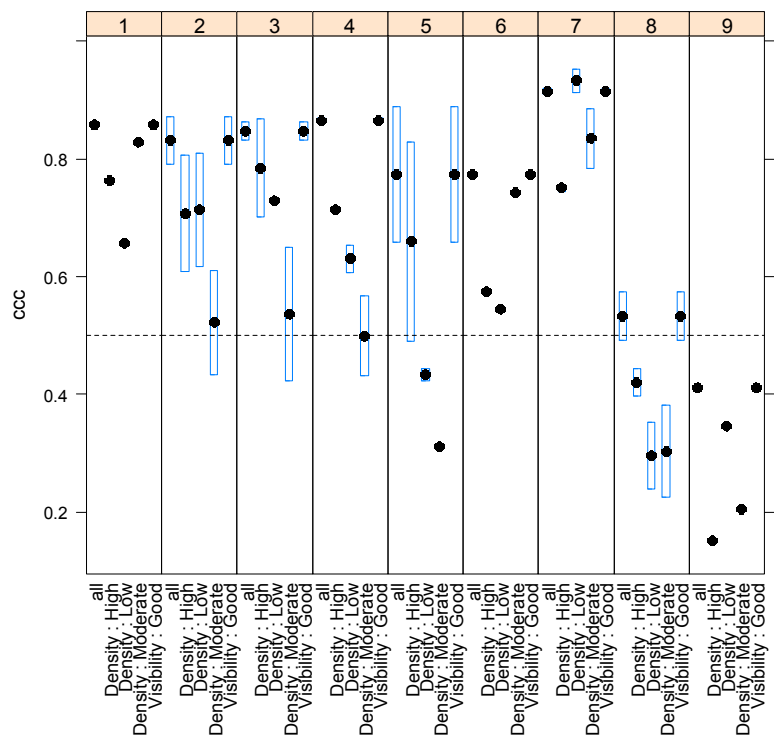


Figure 3. Test de conformité de lecture des images vidéo. Année 2014.

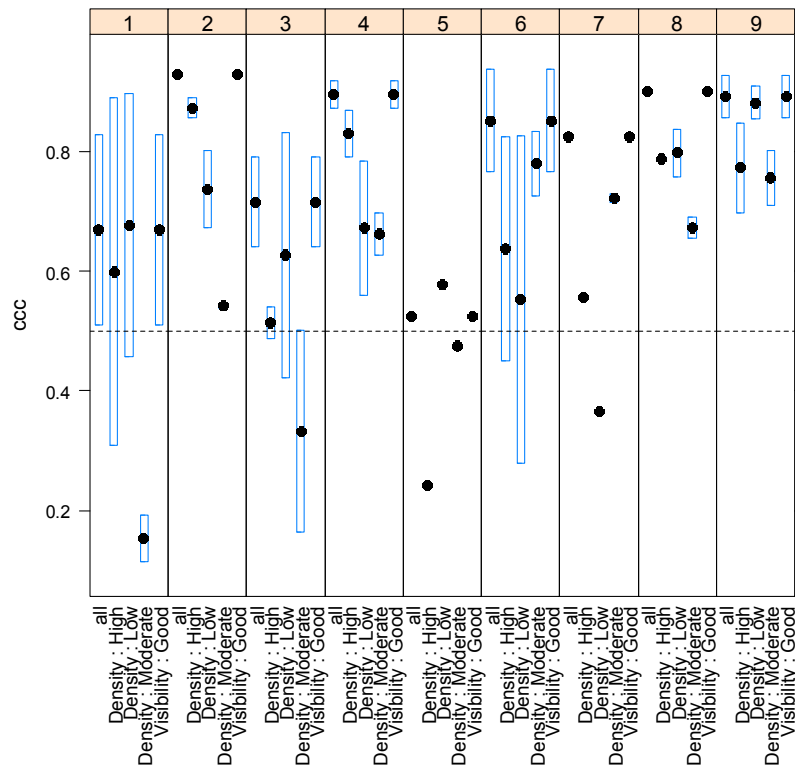


Figure 4. Test de conformité de lecture des images vidéo. Année 2015.

L'acquisition des images demande l'usage au préalable du sondeur multi-faisceaux afin de déterminer nature du fond et prendre ses dispositions en cas de substrat dur. Lorsque le traîneau arrive en vue du fond, l'opérateur ralentit la vitesse de descente pour poser puis stabiliser le traîneau sur le fond. L'enregistrement peut débuter lorsque la vitesse du traîneau est adéquate (environ 0,8 nœuds), le contact au sédiment est conforme, les lasers sont visibles et sous contrainte d'une bonne visibilité. L'enregistrement dure 10 min même en l'absence de terriers de langoustine. 7 min doivent obligatoirement être validées par transect pour que celui-ci soit pris en considération. Une minute validée se définit comme minute ou au minimum 30 secondes sont bien lisibles. Une longueur de câble filée non adaptée peut entraîner une mauvaise acquisition : nuage de vase ou bien le traîneau qui n'est pas toujours en contact avec le sol.

Sources de biais :

Dans le rapport du WKNEPHTV 2007 (anon, 2007), on peut trouver une liste analytique des biais possibles lors de l'utilisation de la Vidéo : (1) délimitation incertaine des limites du stock ; (2) taux de détection ("detection rate") associé aux conditions de visibilité lors d'un transect : une visibilité médiocre pourrait conduire à une sous-estimation du nombre de terriers ; (3) taux d'occupation ("occupancy") qui est généralement considéré comme égal

à 1 (ou 100%) puisque des observations sur des stocks où la méthode a été initiée (Ecosse) montrent qu'un terrier inhabité se colmate ; (4) confusion avec des terriers d'autres espèces ("species identification") : à titre d'exemple, en dehors de la langoustine, d'autres espèces des crustacés (Goneplax, Coelocaris) ou des poissons (gobiidés, cépoles) sont aptes à construire des terriers et on peut, en outre, évoquer des espèces aptes à habiter des terriers créés par les langoustines (galathées : Munida sp.) ; (5) l'effet de bord ("edge effect") qui corrige les estimations en fonction des terriers contenus entièrement ou partiellement dans le champ d'observation.

D'autres biais pourraient être liés à la précision dans l'acquisition de l'image (distance parcourue par le traîneau, champ de vision, conditions de navigation). L'utilisation des lasers, le savoir faire général des équipes investies et généralement la démarche qualité assurée lors des opérations en mer permettent de minimiser l'impact de tels facteurs.

Si pour la plupart des sources de biais évoquées plus haut on procède dans un premier temps par analogie à d'autres zones d'étude, l'effet de bord a été investigué analytiquement sur la "Grande Vasière".

Première analyse de l'effet de bord ("edge effect")

Le WKNEPHTV 2007 (anon, 2007) a listé les sources d'incertitude du comptage des complexes de terriers et a estimé que l'effet de bord ("edge effect" désignant les terriers partiellement contenus sur un transect) peut induire une surestimation du nombre effectif de langoustines. Les analyses comparatives de différents stocks suivis en routine par vidéo sous-marine ont estimé que le "edge effect" varie entre 1,05 et 1,57. D'après les analyses antérieures, la densité des terriers n'affecte pas ce coefficient correctif.

Le comptage des complexes (terriers de langoustine comprenant une à plusieurs entrées) lors d'une campagne vidéo inclut tous ceux qui sont compris entre les lasers ; autrement dit ceux qui sont intégralement dans le champ d'observation ainsi que ceux qui sont partiellement contenus seulement si au moins la moitié de l'entrée est dans le champ de la caméra.

Ces terriers coupés par les bords du transect seraient également comptés si la trajectoire d'observation évoluait parallèlement au transect réalisé.

Une formule théorique a été proposée pour ce paramètre :

$$Z = \zeta \frac{\pi \left(\frac{(L-S)}{\cos(C-0.5V)} \right) \tan(0.5H)}{\pi \left(\frac{(L-S)}{\cos(C-0.5V)} \right) \tan(0.5H) + D}$$

avec :

V= angle vertical (radians) ; H= angle horizontal du champ de vue de la caméra (radians) ; C= angle de montage de la caméra sur le traîneau (radians) ; L= hauteur de la caméra par rapport à la base du traîneau (m) ; S= enfoncement du traîneau dans le sédiment (m) ; D= dimension moyenne du complexe des terriers (m) (selon l'hypothèse que les terriers

sont orientés aléatoirement par rapport à la direction du transect vidéo) ; Z= estimation corrigée de la densité des terriers ; ζ = estimation originelle de la densité des terriers.

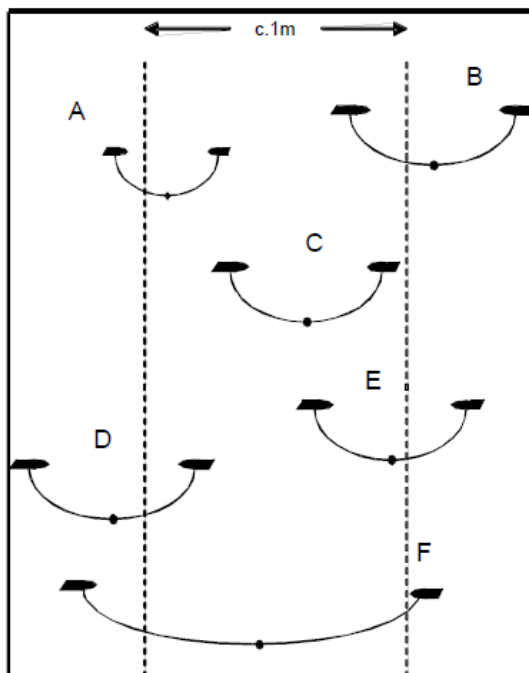


Figure 5. Illustration graphique de la méthode de "two pass counting" pour l'estimation du coefficient correctif de l'effet de bord ("edge effect").

Dans l'état actuel des connaissances ne permettant pas d'affiner le paramétrage de l'équation théorique précédente, pour déterminer ce biais nous avons utilisé la méthode "two pass counting" préconisée dans le rapport WGNP2010 (anon, 2010) et largement utilisée par le "Marine Institute" irlandais. La première lecture est celle réalisée en mer : la figure 5 illustre ce comptage (les complexes A, B, C, D et E sont comptés). La deuxième lecture, réalisée à terre sur un échantillon de transects couvrant les différentes classes de densités, haute, moyenne et faible, ainsi que les différents types de sédiment ne prendra en compte que les complexes strictement dans le champ de vision dans la figure 5 seul le complexe C est retenu.

Le facteur correctif de l'effet de bord ("edge effect") est calculé selon cette approche principalement développée lors des études menées par le "Marine Institute" irlandais en premier lieu sur le stock des îles d'Aran (FU17) (pour de plus amples détails : anon, 2009) :

$$R = \frac{S}{(S-E)/2+E}$$

où : R = facteur correctif ; S = compte des tous les complexes de terriers (1^{er} passage de lecture) ; E = compte des terriers visualisés à 100% sur l'écran et intégralement contenus dans le champ de vue (2^{ème} passage de lecture).

L'incertitude associée à cet estimateur ratio est calculable, soit par strate sédimentaire, soit sur la totalité de la "Grande Vasière". La variance notée V[R] est formulée comme suit ;

$$V[R] = 4.n. \frac{V[S].(1-R)^2 + R^2.V[E] - 2.R.(1-R).Cov[E,S]}{(\sum_{i=1}^n E_i + \sum_{i=1}^n S_i)^2}$$

avec : les variables E et S définies comme précédemment ; n = nombre d'observations (station*minute) de double lecture.

2.1.5 Plan d'échantillonnage

Conformément à l'usage en routine de l'outil vidéo pour l'évaluation des stocks de langoustines notamment britanniques ou irlandais (anon, 2009), le plan d'échantillonnage adopté depuis 2014 était systématique (i.e. grille des stations équidistantes) permettant de plus vastes domaines d'exploration spatialisée des données. Nous avons considéré un espacement entre deux stations équivalent à 4,7 milles nautiques en analogie avec la campagne réalisée par les irlandais sur le stock de "Smalls" en mer Celtique suivi en routine selon cette méthode depuis 2006. 165 stations étaient ainsi prévues par année : parmi celles-ci, 156 stations ont été validées en 2014 (quelques stations abandonnées en raison de substrat dur rendant délicat l'usage de la vidéo) alors que pour 2015, 96 stations seulement ont été effectuées en raison principalement des conditions météorologiques (fig. 6). De ce fait, pour l'année 2016, la durée de la campagne a été rallongée pour éviter le risque d'une couverture partielle de la zone : 14 jours de travail ont été prévus et, grâce à des conditions très favorables, 12 jours effectifs ont suffi pour l'échantillonnage complet de la "Grande Vasière" (204 stations réalisées dont 196 validées). Par ailleurs, ce contexte propice a permis pour la première fois de couvrir, outre les cinq strates sédimentaires classiques, la zone dite "blanche" contenue dans le contour de la "Grande Vasière" réputée correspondre à des fonds non chalutables afin de délimiter avec davantage de précision la surface réellement occupée par le stock. 36 stations sont positionnées dans la zone "blanche" contre 160 sur les cinq strates spatiales déjà étudiées par le passé.

Pour les années 2014 et 2015, le chalutage associé aux opérations vidéo a été réalisé à bord de navires professionnels avec des objectifs réduits comparés à ceux de LANGOLF "Gwen Drez" 2006-2013 (indice d'abondance des langoustines par sexe et structures en tailles, proportion langoustines/galathées dans les captures expérimentales). Le taux d'échantillonnage a ainsi été allégé (57 et 49 stations ont été respectivement validées pour 2014 et 2015). En 2014 le plan était aléatoire stratifié alors que pour 2015 une grille

pseudo-aléatoire a été appliquée de manière à pouvoir développer des outils de traitement géostatistique combinant les informations vidéo et chalutage (Fifas et al., 2016) : sur cette base, une station vidéo sur trois a été tirée au hasard indépendamment de l'allocation spatiale mise en œuvre au cours des campagnes antérieures.

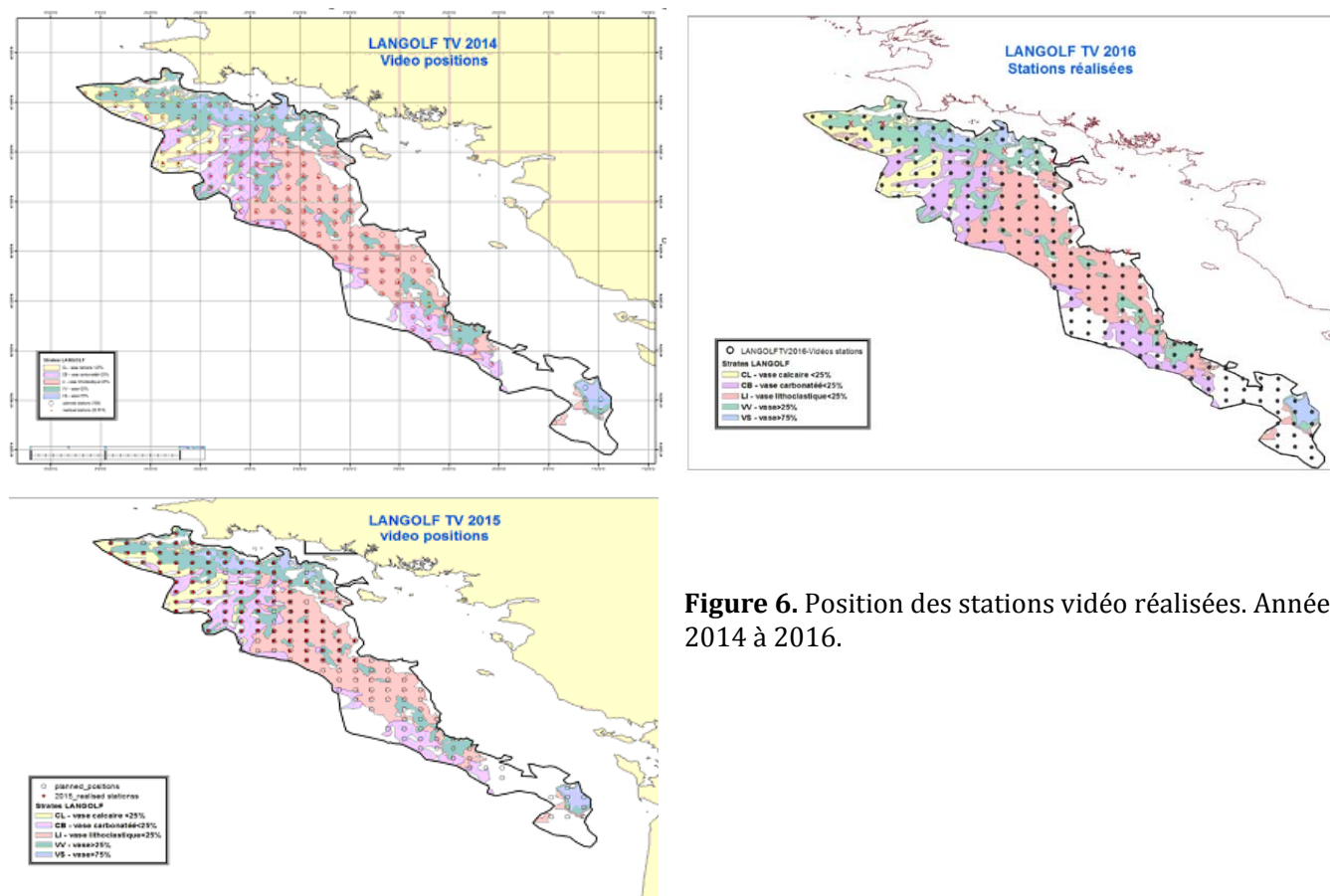


Figure 6. Position des stations vidéo réalisées. Années 2014 à 2016.

2.2 Données de la pêche : débarquements et rejets

La langoustine fait partie des ressources halieutiques majeures en France. Son exploitation dans le golfe de Gascogne la classe au 9^{ème} rang en tonnage et au 4^{ème} en valeur (cf tableau 1 : statistiques officielles de pêche des années 2003-2015). La langoustine contribue fortement aux résultats économiques de 175 navires titulaires d'une licence répartis sur trois régions (Bretagne où sont concentrés les 2/3 de la flotte, mais aussi Pays de la Loire et Poitou-Charentes). Certains ports (Le Guilvinec, Le Croisic, La Cotinière) sont très dépendants de l'exploitation de ces stocks. D'autre part, la langoustine est caractérisée par des affinités sédimentaires très spécifiques : elle se concentre principalement sur la "grande vasière" du golfe de Gascogne, un secteur à enjeu biologique et écosystémique essentiel (notamment nourricerie du stock Nord du merlu).

Tableau 2.

Nephrops FUs 23-24 golfe de Gascogne (VIIIa,b) - Débarquements, rejets, captures (t) période 2003-2015

Année	Débarquements				Non alloué	Total VIIIa,b selon WGBIE	Rejets		Captures	
	FU 23-24	FU 23	FU 24	FU 23-24			Total			
	VIIIa,b	VIIIa	VIIIb	VIIIa,b			VIIIa,b			
2003	1	3564	322	49	3886	1977	*	5863		
2004	na	3223	348	5	3571	1932	*	5503		
2005	na	3619	372	na	3991	2698	*	6689		
2006	na	3026	420	na	3447	4544	*	7990		
2007	na	2881	292	na	3176	2411	*	5587		
2008	na	2774	256	na	3030	2123	*	5154		
2009	na	2816	212	na	2987	1833	*	4820		
2010	na	3153	245	na	3398	1275	*	4673		
2011	na	3240	319	na	3559	1263	*	4822		
2012	na	2290	230	na	2520	1013	*	3533		
2013	na	2195	185	na	2380	1521	*	3900		
2014	na	2699	108	na	2807	1326	*	4133		
2015	na	3425	144	na	3569	1492	*	5061		

Le suivi uniquement sous les halles de criée de la fraction commercialisable n'est pas suffisant pour une analyse et un diagnostic fiables du stock de langoustines du golfe de Gascogne. La fraction capturée non retenue (rejets) atteint des niveaux élevés (tableau 3 : environ 50-70% des captures totales, soit le chiffre le plus élevé parmi les espèces de haute valeur marchande). Le taux de survie des rejets n'est pas nul comme dans le cas d'une grande majorité d'espèces des poissons ; il s'agit d'individus de taille inférieure à la taille commerciale (9 cm) ou endommagés lors des opérations de pêche. Compte tenu de ces quantités importantes rejetées, l'échantillonnage de la fraction non commerciale à bord de navires professionnels est primordial pour cette espèce. Le suivi en criée a été occasionnellement complété par le passé (années 1987, 1991, 1998), puis annuellement en routine depuis 2003 (programme OBSMER d'échantillonnage sous DCF européenne) par des observations à bord des navires professionnels afin d'évaluer la fraction rejetée de la population exploitée.

Tableau 3. Langoustine du golfe de Gascogne (VIIIa,b). Rejets et débarquements (10^3 animaux) obtenus par échantillonnage à bord des navires professionnels et dans les halles des ventes aux enchères.

<i>Année</i>	<i>Rejets</i>	<i>Débarquements</i>	<i>% rejet</i>
1987	268 244	288 974	48
1991	151 634	217 338	41
1998	150 995	161 549	48
2003	201 841	152 485	57
2004	222 089	139 753	61
2005	315 346	166 165	65
2006	487 288	127 942	79
2007	214 788	117 273	65
2008	198 031	115 274	63
2009	174 480	123 504	59
2010	113 530	138 120	45
2011	121 603	108 011	53
2012	117 935	101 424	54
2013	154 914	114 853	57
2014	117 930	121 594	49
2015	156 400 ³	138 921	53 ⁴

³ Estimation préliminaire adoptée par le WGBIE 2016 du CIEM, révisée (156 400 milliers d'individus rejetés au lieu de 128 712 présentés au WGBIE de mai 2016) lors de l'atelier benchmark sur le stock (juin 2016).

⁴ 53% de taux de rejet (au lieu de 48%) selon révision de l'atelier benchmark (juin 2016).

Pour l'exercice développé par la suite, nous retenons comme année de référence 2014 : la campagne de vidéo sous-marine 2014 a permis une couverture spatiale plus représentative de la "Grande Vasière" que celle de l'année 2015.

2.2.1 Calcul des poids moyens

Pour l'année 2014, le tableau 2 fournit les poids moyens des débarquements, ejets et removals⁵ selon deux taux de survie des rejets différents⁶ par sexe et pour les deux sexes confondus.

Tableau 2. Poids moyens (g) des langoustines (débarquements, rejets, removals) par sexe et deux sexes confondus (année 2014).

	Débarquements	Rejets	Removals (SR=0.30)	Removals (SR=0.55)
Mâles	25.38	11.37	20.63	21.90
Femelles	19.18	11.13	15.24	16.11
2 sexes	23.08	11.25	18.30	19.49

2.2.2 Calcul de la proportion mature et de la proportion exploitable

Pour 2014, les proportions mature et exploitable par sexe et deux sexes confondus dans les "removals" (constitués des débarquements et des rejets morts pour deux taux de survie différents des rejets, 30% et 55%) sont présentées dans le tableau 3.

La maturité des mâles est définie par la taille minimale de maturité fonctionnelle (26 mm de longueur céphalothoracique, notée CL) et est supposée intervenir en "lame de rasoir" (Jégou, 2007). La maturité des femelles est définie selon une sigmoïde (Jégou, 2007⁷) ; elle est suivie en routine depuis 2004.

Tableau 4. Partie supérieure : proportion mature des langoustines (débarquements, rejets, removals) par sexe et deux sexes confondus (année 2014). Partie inférieure : proportion exploitable⁸ des langoustines (débarquements, rejets, removals) par sexe et deux sexes confondus (année 2014).

⁵ Removals = Débarquements + Rejets morts.

⁶ Le taux de survie des rejets de 30% a été longtemps considéré dans la série historique du stock de langoustines du golfe de Gascogne (Charuau *et al.*, 1982) tandis que des études récentes (Mehault *et al.*, 2015) suggèrent un taux de survie des rejets supérieur (55%) lors des années récentes.

⁷ L'ogive de maturité des femelles, notée $\phi(CL)$, en fonction de la longueur céphalothoracique, CL, est paramétrée comme suit

$$\phi(CL) = \frac{1}{1 + \exp(-.678*(CL-22.432))}$$

⁸ Selon taille minimale réglementaire de 9 cm (longueur totale) en vigueur depuis le 1/12/2005 *i.e.* longueur céphalothoracique de 27 mm.

<i>Proportion mature (%)</i>				
	Débarquements	Rejets	Removals (SR=0.30)	Removals (SR=0.55)
Mâles	96.4	30.7	74.1	80.1
Femelles	95.6	64.4	80.3	83.7
2 sexes	96.1	48.4	76.8	81.6
<i>Proportion exploitable (%)</i>				
	Débarquements	Rejets	Removals (SR=0.30)	Removals (SR=0.55)
Mâles	92.2	21.2	68.1	74.6
Femelles	79.5	16.2	48.5	55.4
2 sexes	87.5	18.6	59.6	67.0

2.3 Méthode de calcul d'un indice d'abondance de terriers

2.3.1 Statistiques classiques : le plan stratifié assimilé aléatoire

2.3.1.1 Echantillonnage à un niveau : station

Le plan aléatoire stratifié sur la base des cinq strates sédimentaires fait appel à un estimateur ratio de deux variables, le nombre de terriers par transect et la surface de ce dernier. Plus précisément le nombre total de terriers de la "Grande Vasière", noté Y, est calculé comme suit :

$$Y = \sum_{h=1}^{ns} Y_h = \sum_{h=1}^{ns} S_h \cdot \frac{\sum_{i=1}^{nh} x_{ih}}{\sum_{i=1}^{nh} s_{ih}}$$

avec :

h = strate [h=1,...,ns] (dans notre cas : ns=5)

i = station dans la strate h [i=1, ..., n_h]

S_h = surface totale de la strate h

s_{jh} = surface de la station i, strate h

x_{ih} = nombre total de terriers pour la station i de la strate h (cumulé sur l'ensemble des minutes enregistrées et validées pour la station i et moyennées selon les observateurs, usuellement deux)

La variance de l'estimateur Y, notée V[Y], est obtenue par :

$$V[Y] = \sum_{h=1}^{ns} V[Y_h] = \sum_{h=1}^{ns} \left[\frac{S_h}{\sum_{i=1}^{nh} s_{ih}} \right]^2 \left[nh \cdot \left(\frac{Y_h}{S_h} \right)^2 V[s_{ih}] + nh \cdot V[x_{ih}] - 2 \cdot nh \cdot \left(\frac{Y_h}{S_h} \right) Cov[x_{ih}, s_{ih}] \right]$$

avec les notations présentées auparavant et V[x_{ih}], V[s_{ih}] et Cov[x_{ih}, s_{ih}] termes des variances et de covariance des variables x_{ih} et s_{ih}.

2.3.1.2 Echantillonnage à deux niveaux : station (unité primaire) et observateur*minute (unité secondaire)

Il ne s'agit pas ici d'un véritable cas de figure d'échantillonnage à deux niveaux dans la mesure où les unités au niveau secondaire (observateur*minute sans dissociation de ces deux facteurs) sont échantillonnées exhaustivement : par transect vidéo, deux observateurs sont un minimum engagés et on réalise autant de séquences (minutes) de lecture nécessaires pour qu'on puisse valider et retenir au moins sept minutes de lecture. Dans le cas le plus fréquent, nous disposons ainsi d'une taille par unité secondaire de 14 échantillons. Le nombre total de terriers, désigné par Y , somme des Y_h des différentes strates, est donné par :

$$Y = \sum_{h=1}^{ns} Y_h = \sum_{h=1}^{ns} S_h \cdot \frac{\sum_{i=1}^{nh} \frac{1}{nl_{ih}} \sum_{j=1}^{k_{ih}} x_{ijh}}{\sum_{i=1}^{nh} S_{ih}}$$

avec (cf. également §2.3.1.1) : h = strate [$h=1, \dots, ns$] ; i = station dans la strate h [$i=1, \dots, n_h$] ; S_h = surface totale de la strate h ; s_{ih} = surface de la station i dans la strate h

et : nl_{ih} = nombre d'observateurs par station i dans la strate h [cas usuel : $nl_{ih}=2$] ; k_{ih} = nombre de minutes*observateur pour la station i de la strate h [$j=1, \dots, k_{ih}$; cas usuel : $k_{ih}=14$]

Pour le calcul de la variance, étant donné que la population-cible est structurée à plus d'un niveau, on fera appel aux notions d'espérance et de variance conditionnelles. La formulation générale du problème donne (E désigne l'espérance mathématique et V la variance) :

$$V[\Theta] = V_1[E_2(\Theta)] + E_1[V_2(\Theta)]$$

Le premier terme V_1 correspond à la variance inter-transect et il est identique de celui présenté dans le §2.3.1.1 ; pour le calcul des termes des variances $V[x_{ih}]$ et des

covariances $Cov[x_{ih}, s_{ih}]$ au niveau primaire (en posant : $x_{ih} = \frac{\sum_{j=1}^{k_{ih}} x_{ijh}}{nl_{ih}}$) on ne considère que la variabilité inter-transect sans décomposer aux éléments intra-transect.

Le second terme V_2 équivaut à la variance intra-transect où on décompose au sein des unités secondaires la variabilité selon la minute*observateur j [$j=1, \dots, k_{ih}$]^{9 10} :

$$V_2[x_{ijh}] = \frac{\frac{1}{nl_{ih}^2} \sum_{i=1}^{nh} s_{ih} \sum_{j=1}^{k_{ih}} (x_{ijh} - \bar{x}_{ih})^2}{\sum_{i=1}^{nh} s_{ih} \cdot (k_{ih} - 1)} \text{ en pondérant selon la surface } s_{ih} \text{ couverte par station } i$$

2.3.2 Méthode géostatistique

2.3.2.1 Variographie

Le but de la variographie est de décrire et modéliser la manière dont une variable régionalisée, ici la densité de terriers de langoustine, est structurée spatialement. L'approche intrinsèque qui a pour but de décrire le comportement de la variable à l'intérieur d'un domaine spatial, est particulièrement adaptée au cas d'étude de la langoustine de la Grande vasière.

L'approche intrinsèque considère que le comportement de la variable régionalisée peut être décrit indépendamment de la géométrie du domaine, et que la variable régionalisée peut être interprétée comme la réalisation d'un processus stochastique (ou d'une fonction aléatoire), noté $z(x)$, x étant une position de l'espace géographique à 2 dimensions. Les caractéristiques du processus stochastique permettent de définir le modèle de fonction aléatoire. L'inférence du modèle est rendu possible par la formulation d'hypothèses.

L'hypothèse classique de l'approche intrinsèque utilisée dans notre cas d'étude est la stationnarité des incréments $Z(x+h) - Z(x)$ de la fonction aléatoire. L'hypothèse intrinsèque se traduit par une espérance des incréments nulle:

$$E[Z(x+h) - Z(x)] = 0$$

et une variance qui existe:

$$Var[Z(x+h) - Z(x)] = E[(Z(x+h) - Z(x))^2] = 2\gamma(h)$$

⁹ Dans cette étape, on considère que le nombre d'observateurs par transect, nl_{ih} , est fixé *a priori* avant la réalisation d'une station i alors que le nombre de minutes n'est pas fixé *a priori* même si l'objectif minimum consiste à valider sept minutes par transect.

¹⁰ Cette décomposition intra- est valable uniquement pour les termes de variance ceux de covariance étant nuls car la surface couverte lors du transect est considérée invariable entre les différentes entités (minutes*observateur) j : l'hypothèse repose sur la constance de la vitesse du traîneau par transect i .

Un modèle de fonction aléatoire intrinsèque se caractérise ainsi par son variogramme, la fonction $\gamma(h)$. Une des conséquences importantes est qu'à partir d'un variogramme, la variance de n'importe quelle combinaison linéaire peut être calculée $var \sum_i \lambda_i Z(x_i) = - \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j)$, à condition que $\sum_i \lambda_i = 0$. Pour que cette variance soit positive, le variogramme ne pourra pas être n'importe quelle fonction mathématique.

L'outil structural de l'approche intrinsèque est donc le variogramme. De façon pratique, le variogramme expérimental mesure la variabilité moyenne entre les paires de points (x_i, x_j) distant d'un vecteur h :

$$\gamma^*(h) = 0.5 \frac{1}{N(h)} \sum_{x_i - x_j \approx h} [z(x_i) - z(x_j)]^2$$

Une fois que le variogramme expérimental est calculé sur les données, il est ajusté avec un modèle de variogramme approprié. L'ajustement se fait de manière automatique en utilisant une fonction autorisée. Ceci est obtenu habituellement avec une structure simple (un effet pépite, un modèle sphérique, exponentiel ou linéaire...), ou la somme de telles composantes structurales (structures emboîtées). Le modèle de fonction aléatoire intrinsèque et son variogramme modélisé seront ensuite utilisés pour calculer des variances et faire du krigeage.

2.3.2.2 Estimation globale

Dans l'approche intrinsèque, l'estimation globale consiste à estimer la densité moyenne $Z(V) = \frac{1}{V} \int_V Z(x) dx$ sur un domaine V . De manière générale, lorsqu'on estime $Z(V)$ à partir d'un estimateur non-biaisé $Z(V)^*$, la variance d'estimation, ou variance de l'erreur d'estimation, s'exprime de la manière suivante:

$$\sigma_e^2 = Var[Z(V) - Z(V)^*] = E[(Z(V) - Z(V)^*)^2]$$

Lorsque l'estimateur $Z(V)^*$ est la moyenne arithmétique $\frac{1}{N} \sum_i Z(x_i)$, la variance d'estimation s'écrit ainsi:

$$\sigma_e^2 = \frac{2}{N} \sum_i \bar{\gamma}(x_i, V) - \frac{1}{N^2} \sum_i \sum_j \gamma(x_i, x_j) - \bar{\gamma}(V, V)$$

Lorsque l'estimateur $Z(V)^*$ est la moyenne pondérée $\sum_i \lambda_i Z(x_i)$ avec $\sum_i \lambda_i = 0$ (cf. krigeage ordinaire ci-dessous), la variance d'estimation se développe ainsi:

$$\sigma_e^2 = 2 \sum_i \lambda_i \bar{\gamma}(x_i, V) - \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j) - \bar{\gamma}(V, V)$$

Dans le cas de l'estimation globale de la densité moyenne de terriers de langoustine, on calculera les deux estimateurs mentionnés ci-dessus (la moyenne arithmétique et la moyenne obtenue par krigeage ordinaire sur l'ensemble du domaine) et leur variance d'estimation associée.

Finalement, les variances d'estimation ne dépendent que du variogramme, du nombre de points échantillons et de leur géométrie. Ainsi la connaissance du variogramme permet de prédire les variances d'estimation pour différents plans d'échantillonnage. C'est ce qu'on se propose de faire pour la campagne vidéo 2014 en faisant varier la maille de la grille régulière d'échantillonnage et en prédisant les variances d'estimation associées (ou coefficients de variation).

2.3.2.3 Krigeage

Le krigeage est le meilleur estimateur linéaire, et peut être utilisé pour estimer la valeur d'une variable régionalisée sur un domaine (cf. ci-dessus), un bloc ou sur un point cible. En tant qu'estimateur ponctuel (e.g. estimation locale sur les nœuds d'une grille), le krigeage est un interpolateur optimale obtenu par combinaison linéaire des valeurs des données $z(x_i)$:

$$Z(x_0)^* = \sum_i \lambda_i Z(x_i) + \lambda_0$$

où λ_0 peut être nulle ou pas. Dans l'approche intrinsèque, les poids de krigeage sont calculés de sorte que l'erreur ait une moyenne nulle (non biais) et une variance minimale (optimal).

Le krigeage ordinaire correspond au cas où la moyenne est inconnue ou au modèle intrinsèque, i.e. $\sum_i \lambda_i = 0$ et $\lambda_0 = 0$. Ceci permet d'avoir une erreur avec une moyenne nulle quelque soit la moyenne inconnue (sur le champs), ou que l'erreur soit définie dans le modèle de fonction aléatoire intrinsèque caractérisé par le variogramme. Minimiser la variance sous contrainte que $\sum_i \lambda_i = 0$ donne le système linéaire suivant pour déterminer les poids de krigeage λ_i :

$$\begin{aligned} \sum_j \lambda_j \gamma(x_i - x_j) - \mu &= \gamma(x_i, x_0) \\ \sum_i \lambda_i &= 0 \end{aligned}$$

La variance de krigeage vaut alors: $\sigma_{k0}^2(x_0) = \sum_i \lambda_i \gamma(x_i - x_0) - \mu$

Une cartographie de la densité de terriers de langoustine est produite par krigeage ordinaire pour les années 2014 et 2015. Une carte de variance (ou écart-type) de krigeage est également produite par année pour qualifier la précision des cartes précédemment obtenues.

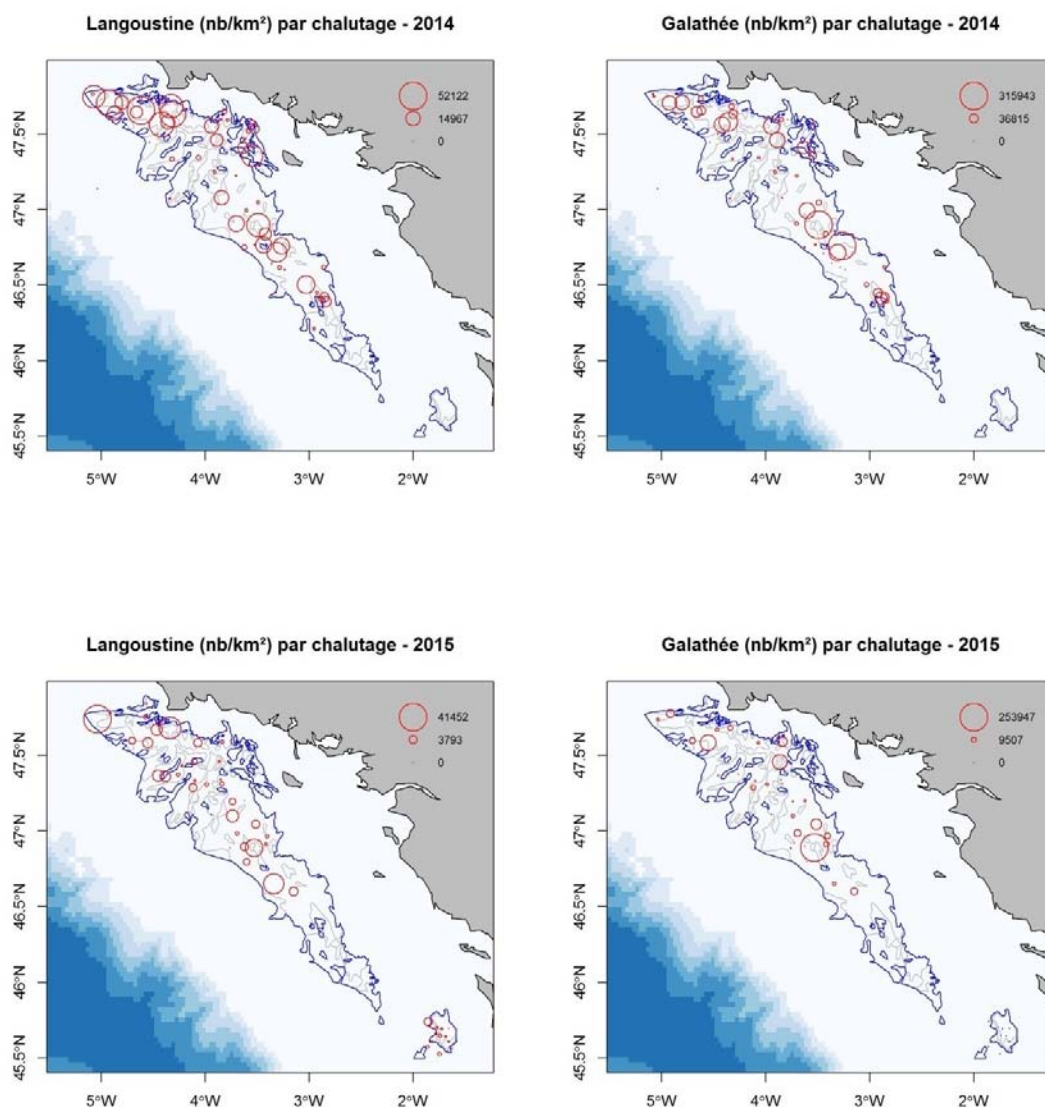


Figure 7. Représentation proportionnelle des densités de langoustine en nb/km² (colonne de gauche) et de galathée en nb/km² (colonne de droite) obtenues par chalutage en 2014 (ligne du haut) et 2015 (ligne du bas).

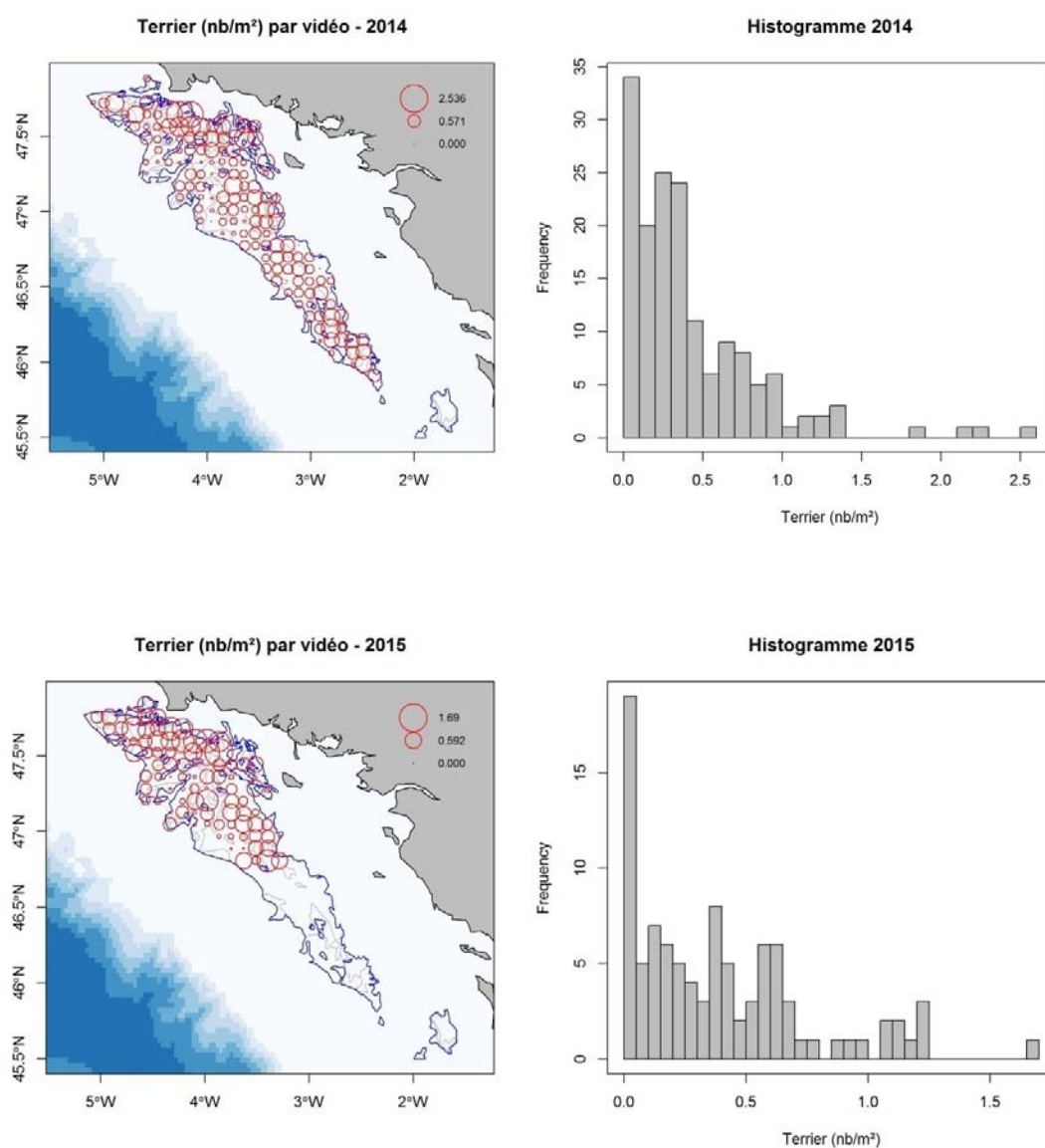


Figure 8. Représentation proportionnelle (colonne de droite) et histogramme (colonne de gauche) des densités de terrier "dit de langoustine" (nb/m²) collectées le long de transects vidéo en 2014 (ligne du haut) et 2015 (ligne du bas).

2.4 Méthode d'estimation d'un indice d'abondance du stock

Le nombre de terriers assorti de son intervalle de confiance définit la densité moyenne de la population couplée par la suite avec une estimation précise et fiable de la surface réellement occupée par le stock selon des informations liées à la nature sédimentaire des fonds et à l'exploitation (**e.g.** VMS). Les éléments liés au diagramme d'exploitation du stock (Fmsy et "harvest rate" correspondant) permettent de statuer sur le niveau d'exploitation en vigueur en utilisant comme données d'entrée les poids moyens de langoustines débarquées et rejetées mortes respectivement (à partir des données d'échantillonnage des captures commerciales et de la structure en taille des débarquements et rejets par sexe) ainsi que le taux de rejet et le taux de survie des rejets.

Deux options se présentent par la suite :

- (1) On dispose des paramètres concernant les Fmsy (Y/R permettant d'obtenir Fmax, F0.1 ou F35%SPR) et le "harvest rate" de référence du stock ; en comparant les Fmsy et "harvest rate" actuels du stock on définit le niveau d'exploitation nécessaire (et les TAC/quotas correspondant) pour atteindre le niveau optimum d'exploitation. Le stock dispose d'un outil d'évaluation analytique.
- (2) On ne dispose pas des paramètres relatifs aux Fmsy. On fait appel à une approche "data limited" déjà développée sur certains stocks de langoustines proposant une matrice d'entrée avec disposition des niveaux de débarquement (et des "removals"=débarquements+rejets morts) en ligne et des densités des terriers en colonne. On juge de l'état du stock en pointant le "harvest rate" correspondant au niveau de prélèvement par la pêche et à la densité estimée des terriers.

3 Résultats

L'ensemble des résultats de lecture sur les transects selon les binômes des opérateurs a été analysé afin de tester la conformité (fig. 9). En partie supérieure : la droite figurant le calcul d'une régression linéaire par rapport aux nuages des points des deux compteurs indique la vraisemblance des lectures ; En partie inférieure gauche : la représentation des écarts par rapport à la régression linéaire permet de visualiser les différences entre les deux lecteurs.

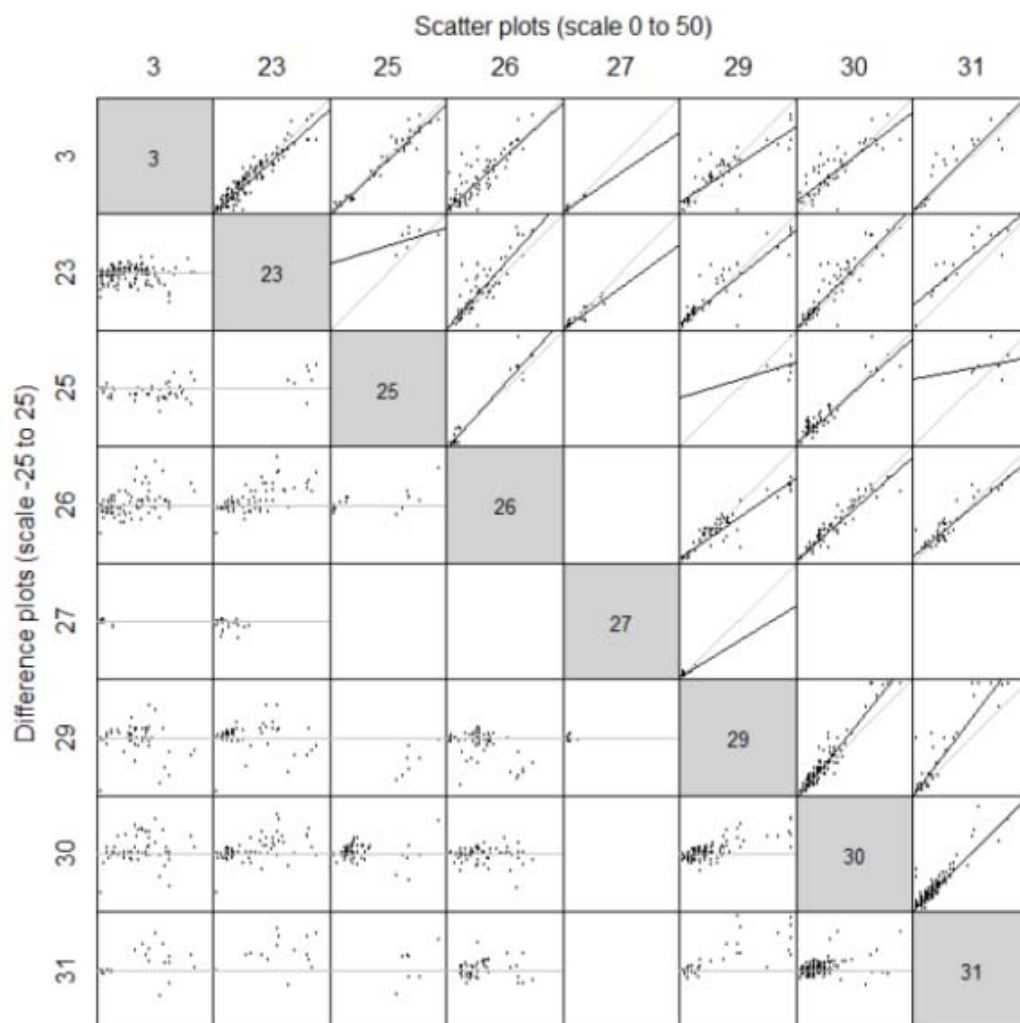


Figure 9. Tests des concordances entre binômes des lecteurs. Exemple de l'année 2015.

Un script développé par le "Marine Institute" permet de contrôler la qualité des données de navigation et de comptage (déplacement du traîneau par rapport au navire, vitesse du navire, vitesse de déplacement du traîneau, distance parcourue par le navire et le traîneau, minutes valides). Ces données sont vérifiées et validées avec un pas de 1 min.

Sur la figure 10 à gauche :

Le premier bloc classe la vitesse du traîneau, la visibilité d'acquisition et le type de sédiment. Le deuxième bloc fournit des informations sur le comptage par opérateur : une

ligne en noir équivaut à une minute entièrement comptée, une ligne en vert indique que le comptage a été arrêté pendant moins de 30 sec, une ligne rouge signifie que le comptage a été stoppé plus de 30 sec : la minute sera donc invalidée. Le troisième et quatrième blocs donnent la vitesse estimée pour le navire et pour le traîneau. Le cinquième bloc représente la distance parcourue par le traîneau ; cette distance doit être en moyenne de 20 m par min.

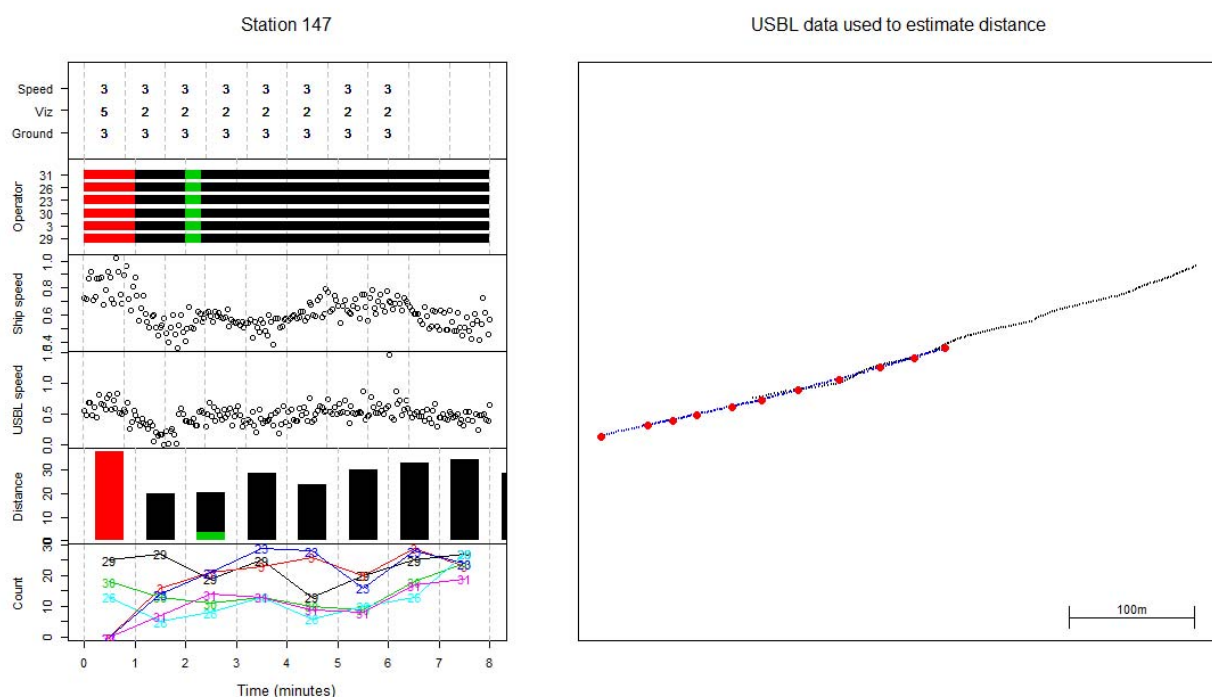


Figure 10. Résultats des scripts mis en œuvre par le "Marine Institute" pour la qualification du travail de suivi vidéo.

3.1 Statistiques classiques : plan stratifié assimilé aléatoire

3.1.1 Un niveau (station)

Elevations classiques.

Comme signalé auparavant (§2.1.5), la quasi-totalité de la charge de travail prévue a été réalisée fin septembre 2014 alors que 2/3 seulement des stations vidéo programmées ont pu être observées en fin juillet 2015 compte tenu de conditions de mer défavorables

(répartition des stations échantillonnées et densité en terriers/m² sans traitement statistique : fig. 6). En 2016, toute la zone a été couverte.

Il en résulte globalement la présence de plus fortes densités dans l'extrémité septentrionale de la "Grande Vasière" et, comme abordé par la suite (§3.2 ; analyses géostatistiques), ceci pourrait théoriquement constituer un inconvénient pour la définition fiable du contour réel du stock.

Le tableau 5 présente les résultats des élévations 2014-2016 sans traitement géostatistique des densités de terriers (par m²) assorties de leurs CV par strate spatiale en considérant les cinq strates sédimentaires classiques de la "Grande Vasière".

Tableau 5. Nombres totaux de terriers (10⁶) et densités/m² par strate spatiale et sur la totalité de la "Grande Vasière" avec coefficients de variation (CV) associés. Années 2014 à 2016.

	2014 (156 stations)				2015 (96 stations)				2016 (160 stations)			
	nb/m ²	total burrows	CV (%)	% burrows	nb/m ²	total burrows	CV (%)	% burrows	nb/m ²	total burrows	CV (%)	% burrows % surf
	0.442	5164.53	5.82		0.386	4501.89	8.25		0.386	4505.52	7.86	
CB	0.317	802.68	15.68	15.54%	0.151	383.85	25.66	8.53%	0.258	654.41	19.84	14.52%
CL	0.171	196.72	28.30	3.81%	0.306	352.28	18.57	7.83%	0.237	272.72	20.87	6.05%
LI	0.354	1651.31	8.69	31.97%	0.320	1492.89	16.38	33.16%	0.283	1319.12	13.86	29.28%
VS	1.656	1048.72	11.05	20.31%	0.875	553.75	30.48	12.30%	0.839	531.18	17.92	11.79%
VV	0.544	1465.10	13.19	28.37%	0.639	1719.13	10.99	38.19%	0.642	1728.09	14.52	38.35%
												23.05%

La densité moyenne des terriers est marquée par un recul (-13%) entre 2014 et 2015 et une stabilisation sur 2016. Compte tenu de la couverture partielle en 2015 même si toutes les strates spatiales ont été échantillonnées, il ne serait pas prudent d'interpréter ce résultat comme une diminution réelle de la ressource notamment du fait que les fluctuations se situent dans les marges de l'incertitude statistique. Par ailleurs, les statistiques officielles de pêche validées pour l'évaluation du stock au sein du CIEM (anon, 2016) font état d'une nette augmentation des indicateurs entre 2014 et 2015 (2807 t débarquées en 2014 contre 3569 t en 2015 ; LPUE de la flottille "standard" du Guilvinec : 12.3 kg/h en 2014 contre 19.5 kg/h en 2015) et contredisent en partie ce constat.

Les comptages illustrent l'hétérogénéité spatiale de la "Grande Vasière" : sur 28% de la superficie se concentrent environ 50% de terriers recensés pour toutes les trois années. Ce résultat n'est pas sans rappeler les investigations en terme de répartition de l'effort de pêche de la flottille langoustinière puisque ces mêmes 28% de la superficie concentraient 66% de l'effort de pêche (Fifas et al., 2016).

Les strates à vase plus compacte (VS, VV) présentent des densités de terriers proches des niveaux maximum à l'échelle européenne, telles que celle du stock de la mer d'Irlande Ouest (FU15¹¹ : 0,83 terriers/m² en 2014 ; pour la localisation cf. fig. 11) ou de celle du Firth of Clyde (FU13 : 0,64 terriers/m² en 2014). A l'échelle globale, avec 0,40-0,45 terriers/m², le golfe de Gascogne se situe dans la moyenne générale des stocks européens suivis par vidéo sous-marine, à un niveau supérieur aux valeurs obtenues sur d'autres stocks exploités par des chalutiers français tels Labadie/Jones en Mer Celtique (FU20-21 : 0,19 terriers/m² en 2014) ou Porcupine (FU16 : 0,14 terriers/m² en 2014).

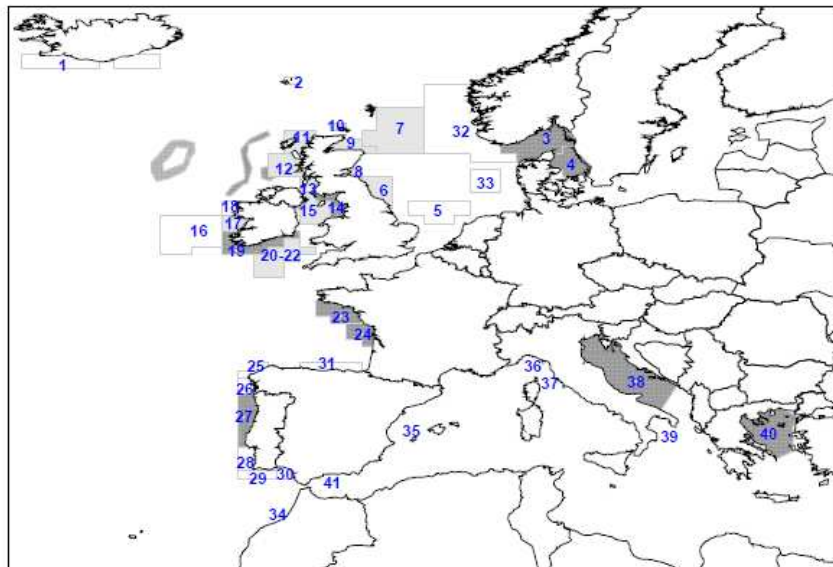


Figure 11. Localisation des stocks répertoriés de langoustines en Europe (les chiffres indiqués correspondent aux "Functional Units" (stocks-unités).

¹¹ FU = Functional Unit.

Elevations sur l'aire restreinte échantillonnée en 2015

Etant donné la couverture partielle de la zone en 2015, nous avons procédé à une comparaison entre les trois années d'étude en excluant les transects au-delà de la limite Sud de 2015. La condition fondamentale de l'échantillonnage stratifié est respectée : toutes les cinq strates sédimentaires ont été étudiées avec, néanmoins, une modification de la surface totale retenue (7935 km² au lieu de 11676 km² de la "Grande Vasière") (tableau 6).

Tableau 6. Nombres totaux de terriers (10⁶) et densités/m² par strate spatiale et sur la totalité avec coefficients de variation (CV) associés. Années 2014 à 2016 après délimitation au secteur restreint échantillonné en 2015 (7935 km² au lieu de 11676 km²).

	2014 (109 stations)				2015 (95 stations)				2016 (102 stations)			
	nb/m ²	total burrows	CV (%)	% burrows	nb/m ²	total burrows	CV (%)	% burrows	nb/m ²	total burrows	CV (%)	% burrows
	0.417	3305.64	7.91		0.396	3138.42	7.85		0.412	3266.09	9.98	
CB	0.265	432.86	19.23	13.09%	0.151	247.63	25.66	7.89%	0.251	410.92	27.44	12.58%
CL	0.171	196.49	28.30	5.94%	0.306	351.86	18.57	11.21%	0.237	272.40	20.87	8.34%
LI	0.340	899.35	12.88	27.21%	0.320	847.72	16.38	27.01%	0.260	688.59	21.35	21.08%
VS	1.656	665.91	11.05	20.14%	0.875	351.61	30.48	11.20%	1.058	425.20	16.20	13.02%
VV	0.530	1111.04	17.90	33.61%	0.639	1339.59	10.99	42.68%	0.700	1468.99	17.20	44.98%

Ce schéma d'élévation contribue à une augmentation des CV des estimateurs pour les années 2014 et 2016 du fait de la diminution des nombres de transects retenus tandis que le CV pour 2015 se trouve légèrement réduit (cf. comparaison avec le tableau 5) en raison de la prise en compte d'une surface réduite plus conforme à la couverture réelle de l'échantillonnage 2015.

On constate qu'on obtient davantage de stabilité du nombre de terriers entre années avec une tendance à la diminution de l'estimateur 2014 par rapport à l'élévation standard (la partie Sud non retenue pour cette analyse était plus riche que la moyenne générale sur la totalité du secteur) et à l'augmentation de celui pour 2016 (la partie Sud exclue de l'analyse était plus pauvre que la moyenne générale). La prédominance des strates à vase plus compacte (VS, VV) se trouve renforcée (54-57% de terriers).

Elevations 2016 en incluant la zone dite "blanche".

Comme signalé auparavant (§2.1.5), les conditions propices de travail en mai 2016 ont permis la couverture de la zone réputée non chalutable (zone "blanche") afin de délimiter de manière plus précise l'aire effectivement occupée par le stock. Les résultats sont présentés dans le tableau 7.

Tableau 7. Nombres totaux de terriers (10^6) et densités/m² par strate spatiale et sur la totalité avec coefficients de variation (CV) associés. Année 2016 avec couverture des fonds durs réputés non chalutables contenus dans le contour de la "Grande Vasière" (16164 km² au lieu de 11676 km² de la "Grande Vasière" *sensu stricto*).

2016 (160 stations)					
	nb/m ²	total burrows	CV (%)	% burrows	% surf
	0.386	4505.52	7.86		
CB	0.258	654.41	19.84	14.52%	21.72%
CL	0.237	272.72	20.87	6.05%	9.87%
LI	0.283	1319.12	13.86	29.28%	39.94%
VS	0.839	531.18	17.92	11.79%	5.42%
VV	0.642	1728.09	14.52	38.35%	23.05%
2016 (196 stations)					
	nb/m ²	total burrows	CV (%)	% burrows	% surf
	0.320	5167.67	7.84		
CB	0.258	654.41	19.84	12.66%	15.69%
CL	0.237	272.72	20.87	5.28%	7.13%
LI	0.283	1319.12	13.86	25.53%	28.85%
VS	0.839	531.18	17.92	10.28%	3.92%
VV	0.642	1728.09	14.52	33.44%	16.65%
RO	0.148	662.15	29.61	12.81%	27.76%

La zone "blanche" (désignée par RO¹²) est représentée par des densités nettement plus faibles que les cinq strates sédimentaires classiques (0.148 terriers/m² contre 0.237 à 0.839 terriers/m² selon la strate) avec davantage d'hétérogénéité (CV plus élevé). La densité moyenne sur l'ensemble de l'aire d'étude se trouve significativement diminuée (0.320 terriers/m² au lieu de 0.386/m²). Toutefois, sur ce secteur additionnel caractérisé par des fonds durs parcourus par des chenaux de vase une certaine activité de pêche chalutière ciblant la langoustine subsiste : témoin à cela quelques données VMS telles celles illustrées par la figure 1 même s'il ne faut pas perdre de vue que la VMS fournit un schéma de navigation au niveau de la marée de pêche non toujours valide au niveau de l'opération de pêche surtout quand on est en présence des marées multi-spécifiques. En outre, lors de l'association vidéo et chalutage 2015 un des deux navires professionnels engagés a concentré son effort d'échantillonnage uniquement sur ce type de fond.

3.1.2 Deux niveaux (station, observateur*minute)

Les résultats tenant compte de la structuration de la variable "nombre de terriers" à deux niveaux apparaissent dans le tableau 8.

¹² RO=rough sea bottom

Tableau 8. Echantillonnage à deux niveaux (unités primaires : transects ; unités secondaires : observateurs*minutes). Investigation des incertitudes. Années 2014 à 2016. Notations déjà présentées (§2.3.1.1 ; §2.3.1.2) pour S_h , n_h , k_{ih} , S_{ih} , x_{ijh} , Y_h , V_1 , V_2 , sinon : $V'[Y_h]$ = variance de l'estimateur du nombre de terriers en incluant la variabilité au 2nd niveau ; CV = coefficient de variation correspondant. Pour l'année 2016, $\Sigma 1$ et $\Sigma 2$ équivalent aux superficies de l'aire d'étude selon que l'on exclut ou non la zone "blanche" (sigle "RO").

2014															
Str	S_h	n_h	Σ k_{ih}	Σ S_{ih}	Σ x_{ijh}	V_1 $[x_{ijh}]$	V $[S_{ih}]$	Cov $[S_{ih}, x_{ijh}]$	Y_h	$V[Y_h]$	CV (%)	V_2 $[x_{ijh}]$	V_1+V_2	$V'[Y_h]$	CV' (%)
CB	2536	37	525	5727	1813	2044	855	-88	803	15849	15.7	35	2078	16100	15.8
CL	1153	17	244	2634	450	852	1759	-141	197	3099	28.3	59	912	3292	29.2
LI	4664	61	852	8475	3001	1054	428	-11	1651	20597	8.7	27	1081	21105	8.8
VS	633	6	119	726	1202	2101	113	-161	1049	13429	11.1	40	2190	13838	11.2
VV	2692	35	541	4993	2710	3109	1060	-206	1461	37067	13.2	46	3155	37531	13.3
Σ	11677	156	2281	22556	9176	1630			5160	90041	5.8		1664	91866	5.9
													+2.1%	+2.0%	
2015															
Str	S_h	n_h	Σ k_{ih}	Σ S_{ih}	Σ x_{ijh}	V_1 $[x_{ijh}]$	V $[S_{ih}]$	Cov $[S_{ih}, x_{ijh}]$	Y_h	$V[Y_h]$	CV (%)	V_2 $[x_{ijh}]$	V_1+V_2	$V'[Y_h]$	CV' (%)
CB	2536	20	287	2320	351	450	291	166	384	9704	25.7	13	462	10006	26.1
CL	1153	19	280	2623	802	1593	1510	930	352	4278	18.6	28	1620	4379	18.8
LI	4664	26	385	3479	1094	1155	423	-6	1467	56086	16.2	34	1189	57688	16.4
VS	633	4	56	480	420	3887	274	0	554	28486	30.5	30	3917	28695	30.6
VV	2692	27	420	3495	2232	2015	299	-73	1719	35709	11.0	44	2059	36414	11.1
Σ	11677	96	1428	12397	4899	1246			4476	134262	8.2		1278	137182	8.3
													+2.6%	+2.2%	
2016															
Str	S_h	n_h	Σ k_{ih}	Σ S_{ih}	Σ x_{ijh}	V_1 $[x_{ijh}]$	V $[S_{ih}]$	Cov $[S_{ih}, x_{ijh}]$	Y_h	$V[Y_h]$	CV (%)	V_2 $[x_{ijh}]$	V_1+V_2	$V'[Y_h]$	CV' (%)
CB	2536	35	498	5442	1405	2404	1554	560	654	16856	19.8	39	2443	17154	20.0
CL	1153	22	314	3599	852	1595	1378	501	273	3240	20.9	52	1647	3357	21.2
LI	4664	62	903	10076	2850	2668	882	395	1319	33408	13.9	53	2721	34109	14.0
VS	633	9	130	1510	1267	6157	2100	1137	531	9062	17.9	154	6312	9306	18.2
VV	2692	32	468	4706	3030	7127	1293	1241	1733	63485	14.5	93	7219	64454	14.7
RO	4487	36	516	5865	866	1823	1392	99	662	38435	29.6	26	1849	38991	29.8
$\Sigma 1$	11677	160	2313	25333	9403	3491			4510	126050	7.9		3550	128379	7.9
													+1.7%	+1.9%	
$\Sigma 2$	16164	196	2829	31199	10269	2905			5173	164484	7.8		2952	167371	7.9
													+1.6%	+1.8%	

L'examen de ce tableau indique l'incidence mineure du 2nd niveau (observateur*minute) d'inférence de la population dans la variabilité du nombre de terriers. Les CV des x_{ijh} (nombre de terriers comptés par transect i , observateur*minute j dans la strate h) ne sont modifiés qu'au niveau de la valeur décimale aussi bien par strate que sur l'aire totale : sur l'ensemble de la "Grande Vasière", cette source d'incertitude ne majore la variance de l'estimateur final que de 1.8% à 2.2% selon les années (apport de la variance inter- sur les x_{ijh} de l'ordre de 97-98%). Il en va de même pour l'estimateur Y_h du nombre total de terriers dont la variance n'est guère modifiée.

Etant donné la faible contribution de la variabilité au 2nd niveau, la distinction de la source d'incertitude entre observateur, d'une part, et minute d'observation, d'autre part, n'apporterait que peu dans une analyse plus approfondie. On notera que les ajustements des tests de concordance entre binômes de lecteurs (fig. 9) notamment pour les cas de figure avec plusieurs minutes communes de lecture sont en grande majorité conformes sur le plan statistique (différence non significative par rapport à la bissectrice des axes) : ce résultat suggère qu'une partie de variabilité attribuée aux unités secondaires est inhérente à la population (hétérogénéité spatiale à petite échelle compte tenu de la surface moyenne d'un transect de l'ordre de 150 m²).

3.2 Géostatistiques

3.2.1 Analyse variographique et modélisation

Lors de l'analyse variographique, les variogrammes expérimentaux calculés sur les données de densités de terrier ont montré une anisotropie correspondant aux directions 45° et 135°, i.e. orthogonal et parallèle à la forme de la grande vasière.

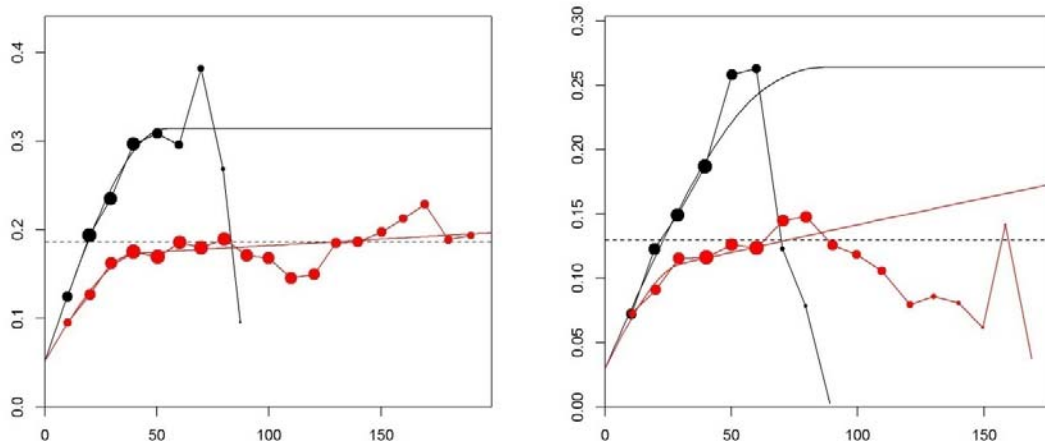


Figure 12. Variogramme expérimental (cercles proportionnels au nombre de paires de points utilisés) et modélisé (lignes continues) le long des directions principales d'anisotropie (rouge: nord-ouest - sud-est, noir: sud-ouest - nord-est).

3.2.2 Estimation globale

Année	2014		2015	
Nombre de données	204	204	114	114
Méthode d'estimation de la moyenne	A	KO	A	KO
Estimation	0.415930	0.425463	0.410321	0.414796
CV geo	0.052829	0.046598	0.180002	0.183475
CV iid	0.072647	-	0.082643	-
Surface (km ²)	11 676	11 676	11 676	11 676
Abondance (Estimation x Surface)	4 856	4 968	4 791	4 843

Tableau 9. Estimation de l'abondance de terriers de langoustine (10⁶) à l'aide de la vidéo pour les années 2014 et 2015.

3.2.3 Krigeage ordinaire

En 2014, la carte produite par krigeage ordinaire montre que les fortes valeurs de densité de terrier (> 0.94 nb/m²) se trouvent du sud du Guilvinec jusqu'à l'ouest de Belle Ile (Fig. 13). Des valeurs intermédiaires de densité (> 0.47 nb/m² et < 0.94 nb/m²) se trouvent au milieu de la grande vasière face à l'estuaire de la Loire, et au sud de la Grande vasière. L'écart-type de l'erreur de krigeage indique que la carte produite est pertinente sur l'ensemble de la Grande vasière mis à part les quelques patches en face de l'île d'Oléron (écart-type > 0.38).

En 2015, L'écart-type de l'erreur de krigeage illustre la faible couverture de la campagne.

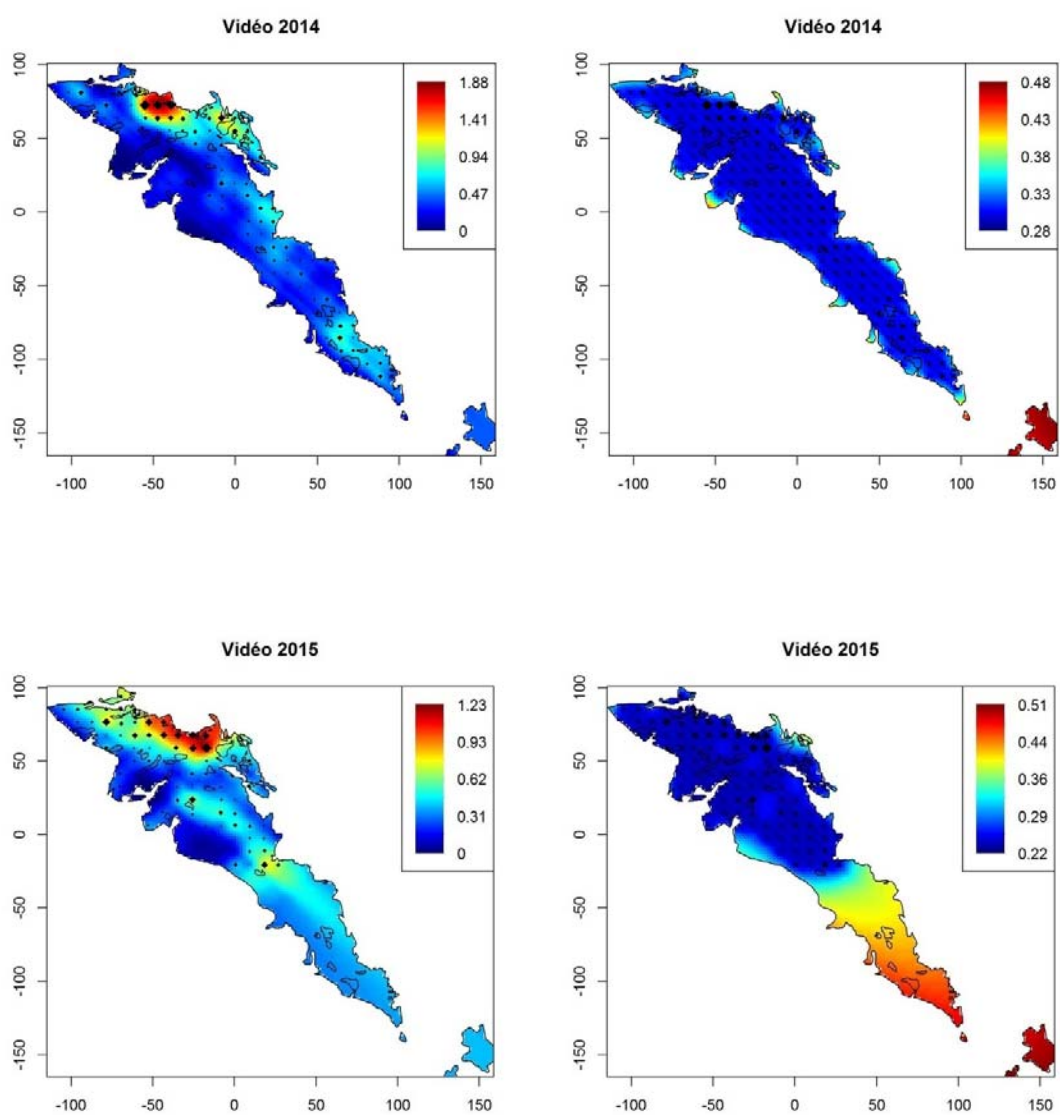


Figure 13. Estimation de la densité de terrier "dit de langoustine" en nb/m² par krigeage ordinaire (colonne de droite) et écart-type de l'erreur de krigeage ordinaire de la densité de terrier "dit de langoustine" en nb/m² (colonne de gauche) pour les années 2014 (ligne du haut)et 2015 (ligne du bas).

3.3 Optimisation de l'échantillonnage

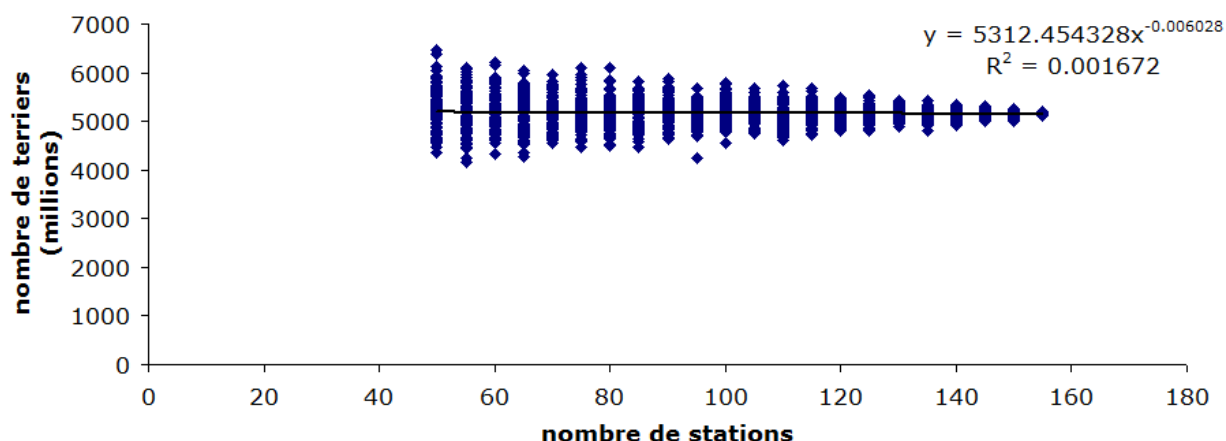
L'échantillonnage sur transects vidéo a été conçu par analogie à d'autres stocks ayant déjà de l'expérience pour ce type d'évaluation. On a ainsi fait appel à plusieurs "standards" irlandais dans la mesure où le travail est monté sur la base d'une collaboration et d'un recours à des moyens humains et techniques du "Marine Institute". Dans un premier temps, l'échantillonnage selon une grille systématique a été mis en place avec des stations équidistantes de 4.7 milles nautiques comme cela est pratiqué par le "Marine Institute" sur le stock de Smalls (FU22, Mer Celtique ; cf. fig. 11). Cette distance entre stations équivaut à la réalisation d'environ 160 stations sur la "Grande Vasière"¹³.

On examinera par la suite les conditions d'optimisation de l'échantillonnage soit selon une démarche statistique classique stratifiée, soit selon une approche géostatistique. L'exemple développé par la suite traite de l'année 2014 car en 2015 l'aire d'étude n'a été que partiellement couverte et le traitement des données sur 2016 n'est que partiellement effectué pour le moment.

3.3.1 Approche classique

Selon l'approche classique on ne simule pas directement l'incidence de la distance entre stations sur la précision des estimateurs car l'échantillonnage systématique dans sa formulation est traité comme de l'aléatoire. La simulation porte sur le nombre de stations indifféremment de leur positionnement sur la "Grande Vasière".

A partir des 156 stations validées pour 2014, on effectue des ré-échantillonnages par bootstrap en respectant l'allocation proportionnelle en fonction de la superficie des strates. On évalue de cette manière l'évolution du nombre de terriers selon le nombre de stations simulées ainsi que les CV associés (fig. 14).



¹³ 160 stations si on tient compte uniquement des cinq strates sédimentaires classiques de la "Grande Vasière" sinon près de 200 stations si on inclut également la zone dite "blanche" (fonds durs *a priori* réputés non chalutables).

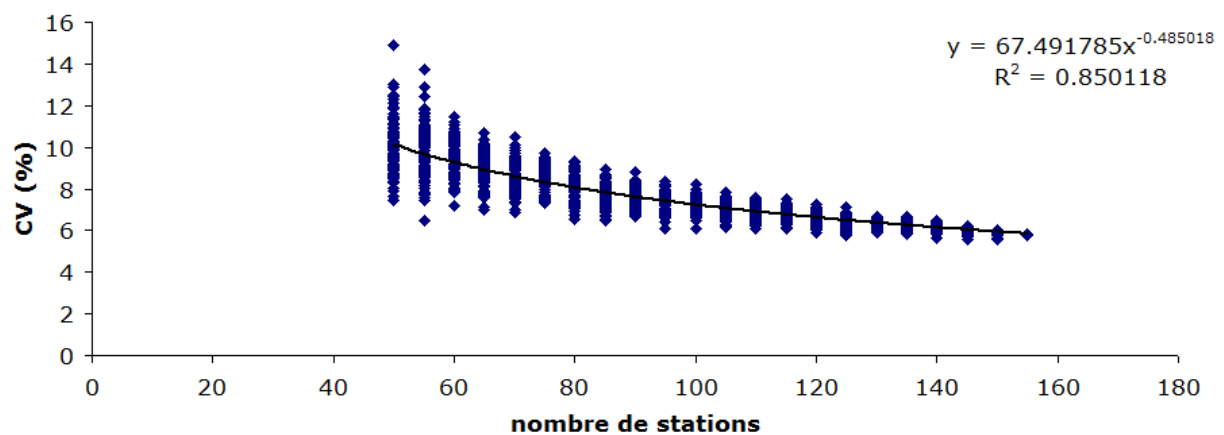


Figure 14. Evolution de l'estimateur total du nombre de terriers (en haut) et de son coefficient de variation (en bas) en fonction du nombre de transects vidéo. Approche statistique classique stratifiée et simulation par bootstrap.

3.3.2 Approche géostatistique

De façon équivalente à la voie classique, on effectue la simulation selon l'outil géostatistique dans traitement par strate cette fois-ci. On dispose, en revanche, des résultats de la simulation aussi bien en terme du nombre de stations requis que de la distance entre elles selon une grille systématique (fig. 15).

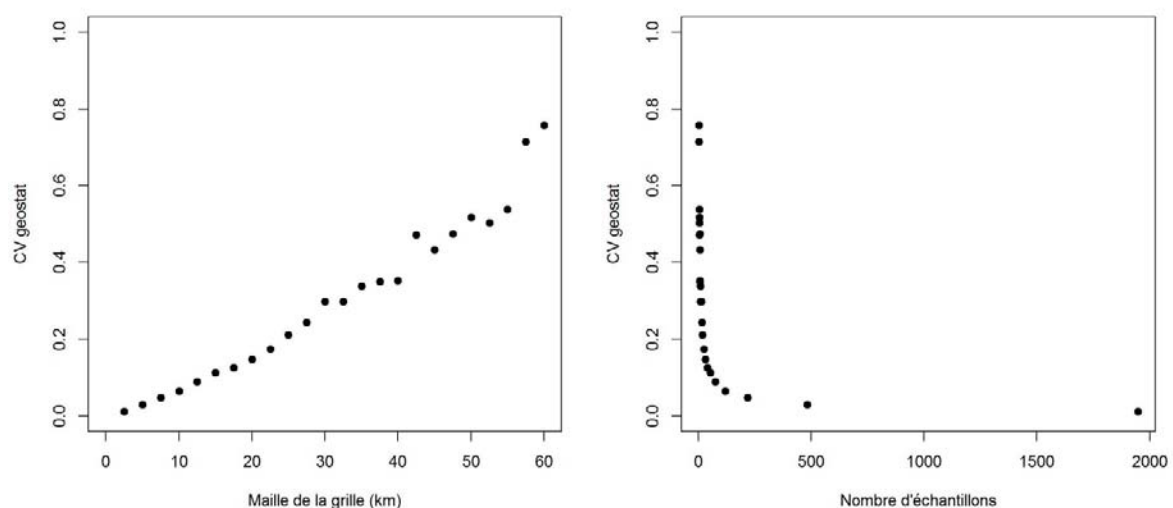


Figure 15. Evolution du coefficient de variation d'estimation par approche géostatistique en fonction de la maille de la grille (à gauche) et du nombre de points d'échantillon (à droite).

3.3.3 Synthèse.

Les deux cas de figure convergent : aussi bien selon l'approche statistique classique stratifiée que selon la géostatistique sans distinction de strates, on s'aperçoit que la réalisation d'un nombre de transects supérieur à 140 conduit à un CV inférieur à 10%. Par ailleurs, la géostatistique nous démontre que la maille systématique de 4.7 milles nautiques fournit des CV compris dans l'intervalle 5-10%. Toutefois, cet exercice est réalisé uniquement sur les données issues de la campagne 2014 ; il serait plus judicieux de reproduire ce type de simulation sur les données 2016. Celles-ci sont globalement caractérisées par des CV des estimateurs, par strate et global, plus élevés même en se limitant aux seules cinq strates sédimentaires communes entre les trois années de suivi ; en outre, la présence dans les échantillons de la zone dite "blanche" qui présente une plus forte hétérogénéité affecterait forcément les résultats.

3.4 Sources de biais

3.4.1 Effet de bord

Sur la base de la méthode "two pass counting" (§2.1.4), dans les mêmes conditions pour le 1^{er} et le 2^{ème} passage (deux lecteurs indépendants), une estimation du coefficient de correction de l'effet de bord a été obtenue par strate sédimentaire ainsi que sur la totalité de l'aire d'étude. Les transects*minutes ont été sélectionnés selon le type de sédiment et les gammes de densité. Nous avons opté pour un estimateur ratio (ou quotient) plutôt que pour une moyenne des ratios car cet estimateur présente l'avantage d'être convergent en probabilité.

Tableau 10. La méthode de "two pass counting" pour l'estimation de l'effet de bord ("edge effect") par strate et sur l'aire totale.

str	n	Σ 1st pass	Σ 2nd pass	R	σ[R]	CV[R]
CB	31	180.00	137.50	1.134	0.139	12.2%
CL	21	102.00	80.00	1.121	0.247	22.0%
LI	24	164.00	81.00	1.339	0.221	16.5%
VS	11	259.07	201.07	1.126	0.086	7.6%
VV	43	514.30	411.80	1.111	0.080	7.2%
total	130	1219.37	911.37	1.145	0.065	5.7%

L'estimateur global est égal à $1,145 \pm 11\%$. Un premier examen des variations selon les strates montre une similitude forte entre quatre strates sur cinq (ratios contenus entre 1,11 et 1,13). La singularité de la strate lithoclastique avec un coefficient de correction plus fort serait probablement explicable par la taille (diamètre) des structures sans que cette hypothèse puisse être confirmée ou infirmée dans l'état actuel des connaissances. On remarque, en revanche, que les ratios unitaires (par transect*minute) demeurent indépendants des densités (fig. 16).

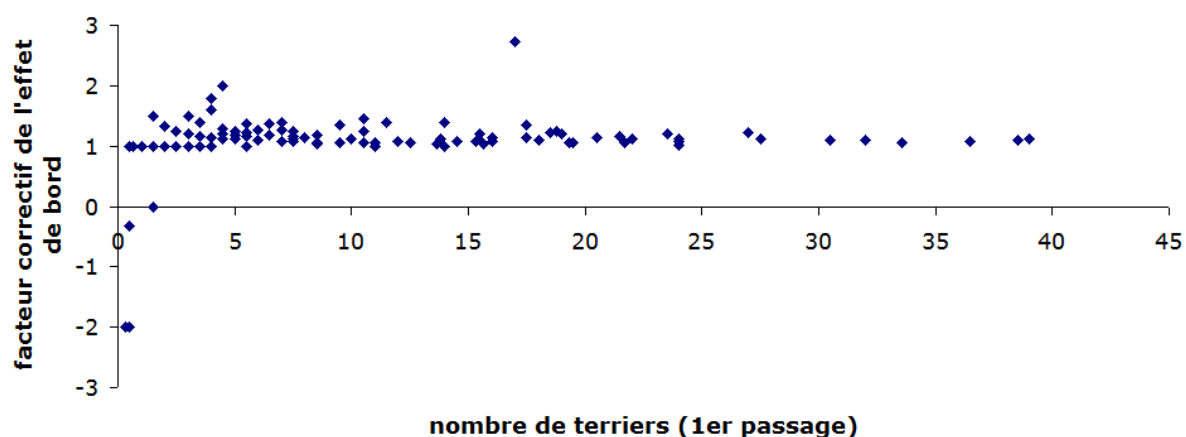
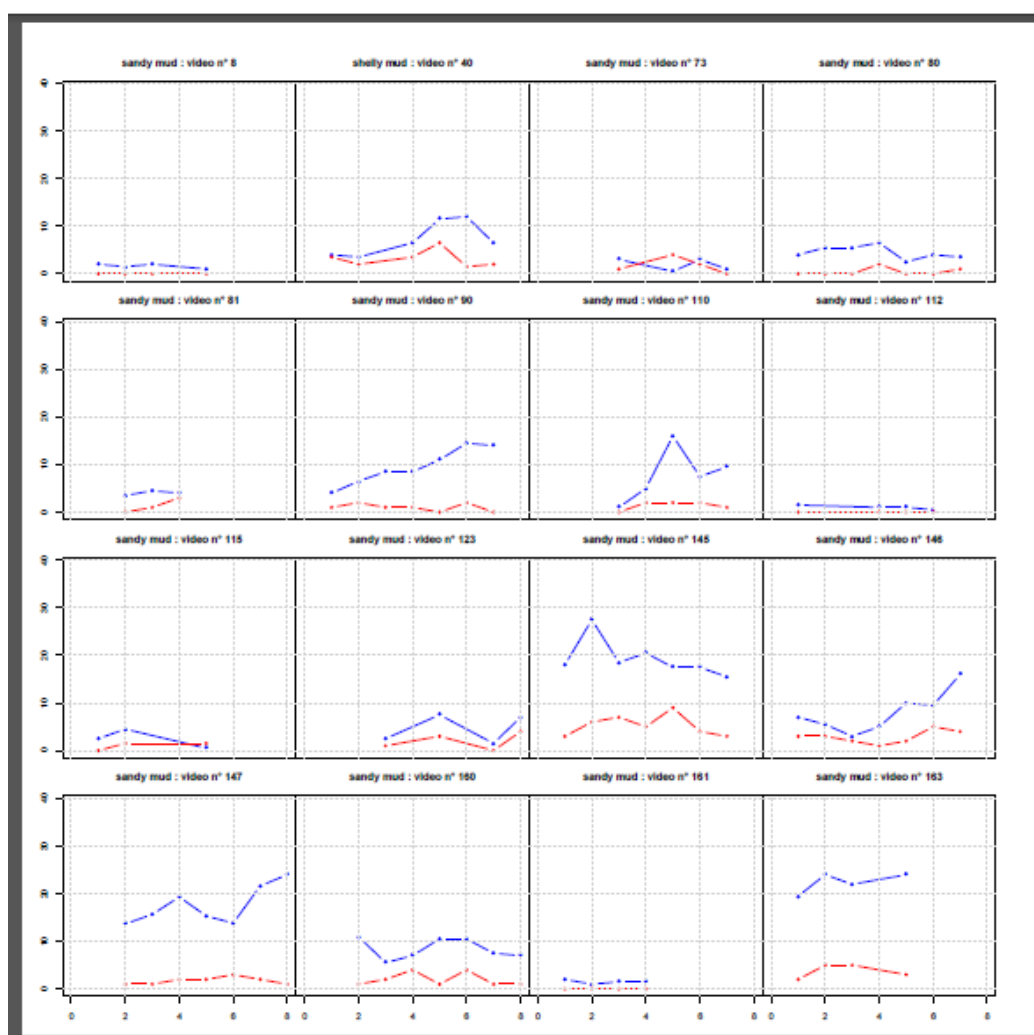


Figure 16. Partie supérieure : comparaison des comptages selon les deux passages de lecture (1^{er} passage à bord : courbe bleue ; 2nd passage à terre : courbe rouge) pour différents transects en fonction de la nature du sédiment. Partie inférieure : relation entre le nombre de terriers selon le 1^{er} passage (lecture à bord) et le facteur correctif par transect*minute d'après la méthode des deux lectures ("two pass counting").

Sur les 130 transects*minutes lus on observe la présence de trois coefficients correctifs R négatifs. Ceci est expliqué par une mauvaise lecture en mer (sous-comptage du nombre de terriers) lors du 1^{er} passage.

3.4.2 Taux de détection (effets de la visibilité *in situ*)

Les conditions d'acquisition des vidéos étaient très bonnes tant au niveau vitesse du traîneau que visibilité et clarté : sur l'ensemble des deux campagnes deux transects ont été annulés : en 2014, un courant de particules important sur le transect a gêné la lecture de la vidéo ; en 2015, des navires langoustiniers de Lorient chalutaient sur la zone entraînant une mise en suspension du sédiment. Cette vidéo de 2015 a été de fait lue par quatre lecteurs pour valider le nombre de terriers observés.

Les irlandais recommandent en cas d'activité de chalutage d'abandonner la station et d'y revenir quand les navires ont quitté la zone.

Vitesse du traîneau

Rapide	Bonne	Lente	variable	avec sauts du traîneau	Total	
	22	986	7	23	57	1095

Le taux de détection est défini en fonction de la visibilité lors de la prise d'images de vidéo sous-marine sur les transects.

Bonne	OK	OK à passable	Passable	Mauvaise	Nulle	Total	
946	30	72	38	7	2	1095	

Le taux de détection des terriers ("detection rate") intégrant les conditions de visibilité par minute*transect (1095 observations au total de la campagne 2014) est calculé en pondérant par un facteur compris entre 0 et 1 (de "nulle" à "bonne"). On obtient ainsi un coefficient de 0,94 pour le golfe de Gascogne.

3.4.3 Nombre d'entrées par terriers

Le nombre d'entrées par terrier n'est pas utilisée comme information de base pour le comptage qui repose uniquement sur le nombre de structures dans leur ensemble (complexes). En ce qui concerne les multiples entrées, l'analyse des bandes vidéo tient compte de l'orientation des entrées selon leur convergence ou divergence pour qu'elles soient comptabilisées ou non dans un même complexe (Fig. 17). Trenkel et al. (2007) proposent un nombre moyen d'entrées par terrier de 3.4 en excluant cependant les cas de figure avec une seule ou deux entrées. On peut émettre l'hypothèse qu'un terrier dispose de plus d'une entrée pour des raisons d'adaptation au milieu (éviter la prédation, ventilation des œufs ...). Dans des simulations réalisées par le "Marine Institute" irlandais intégrées dans des calculs de l'effet de bord ("edge effect"), le nombre d'entrées est assimilé à une distribution selon une loi de Poisson avec une valeur comprise entre 1 et 4 tandis que le diamètre d'un complexe est assimilé selon une loi log-normale. Il serait judicieux d'examiner par des ré-lectures le bien fondé de ces paramétrages.



Figure 17. Illustration de complexes des terriers à langoustines. Exemples avec deux ou trois entrées. Les petits orifices ronds (en opposition à la forme "en croissant" de la langoustine) principalement à la partie droite inférieure de la figure correspondent à de terriers de *Coelocaris*.

3.4.4 Biais lié à la coexistence langoustines/galathées

Les biais liés à l'effet de bord et au taux de détection sont relativement bien cernés pour une première approche au golfe de Gascogne. On abordera par la suite le biais lié à la coexistence langoustines et galathées qui affecterait le coefficient correctif appelé "species identification".

3.4.4.1 Vue par la lecture des bandes vidéo (2014 à 2016)

Le suivi des transects vidéo en continu (24h/24) nous permet de disposer d'outils précieux pour mieux appréhender le comportement nycthéméral des deux espèces.

Les informations disponibles sur le nombre d'individus de langoustine et de galathée par transect et par minute nous donnent la possibilité d'étudier par tranche de ½ heure¹⁴ l'activité de ces deux espèces.

Les données ont été traitées de la manière suivante :

- (1) Le temps t en abscisses est exprimé selon l'écart entre l'heure de réalisation du transect d'observation vidéo et le lever ou le coucher du soleil en appariant chaque station à l'événement (lever/coucher) chronologiquement le plus proche : **e.g.** si la station vidéo est échantillonnée à 10h45 et le lever du soleil survient à 7h tandis que le coucher survient à 19h, la station est appariée au lever et $t=3,75$.
- (2) De manière à standardiser l'expression de temps t en fonction des conditions supposées standard de luminosité (**i.e.** pour une journée donnée, 2 h après le lever du soleil équivalent à 2 h avant le coucher) nous avons attribué des signes différents entre heure de réalisation du transect et lever, d'une part, et heure du transect et coucher, d'autre part : **e.g.** pour une même journée, avec lever et coucher du soleil à 7h et 19 h respectivement, une station échantillonnée à 10h45 donc plus proche du lever du soleil et une autre échantillonnée à 15h15 plus proche du coucher reçoivent la même valeur t ($t=3,75$).
- (3) Les valeurs positives du temps t en abscisses correspondent à l'intervalle entre lever et coucher du soleil tandis que les valeurs négatives correspondent à la nuit.

¹⁴ La tranche de ½ heure a été sélectionnée pour caler ces informations par rapport aux indices de chalutage obtenus en 2014 et 2015 (operations stoppées en 2016) étant donné que les traits de chalut ont une durée de 30 min.

- (4) Les indices d'abondance par unité de surface sont standardisés de façon à obtenir pour chacune des espèces un indice relatif d'abondance sur toute la journée égal à 1 selon une approche multiplicative (cf. le produit des indices illustrés sur les figures ci-dessous est égal à 1). Les indices selon les observations vidéo portent sur les animaux observés en activité lors du transect. En ce qui concerne la langoustine, deux valeurs sont reportées à l'origine dans la base de données : les langoustines en activité à l'extérieur des terriers et celles qu'on aperçoit aux entrées des terriers. Par convention, on considère pour l'analyse des indices d'abondance les deux effectifs cumulés dans la mesure où une langoustine perceptible dans son terrier, soit elle s'apprête à sortir, soit elle vient de rentrer récemment sinon elle ne serait plus perceptible étant donné la complexité des structures souterraines que représentent les terriers.

Suite à ces précisions sur la transformation des données disponibles, on présente les résultats pour les deux espèces sur les données 2014 (fig. 18 et 19 ; tableaux 11 et 12).

Langoustine

L'ajustement pour la langoustine est fait selon la formulation suivante faisant appel à une loi gaussienne :

$$y = C1 + \frac{C2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp[-1/2*((t-\mu)/\sigma)^2]$$

avec : y = indice relatif d'abondance à l'unité de surface (sur 100 m² de transect) selon le nombre d'individus observés par station vidéo ; t = heure de l'observation standardisée selon le lever ou le coucher du soleil (écart par rapport à l'événement le plus proche entre l'heure de réalisation du transect et soit le lever du soleil soit le coucher selon la proximité d'un de ces deux événements) ; C1, C2, σ, μ = paramètres du modèle.

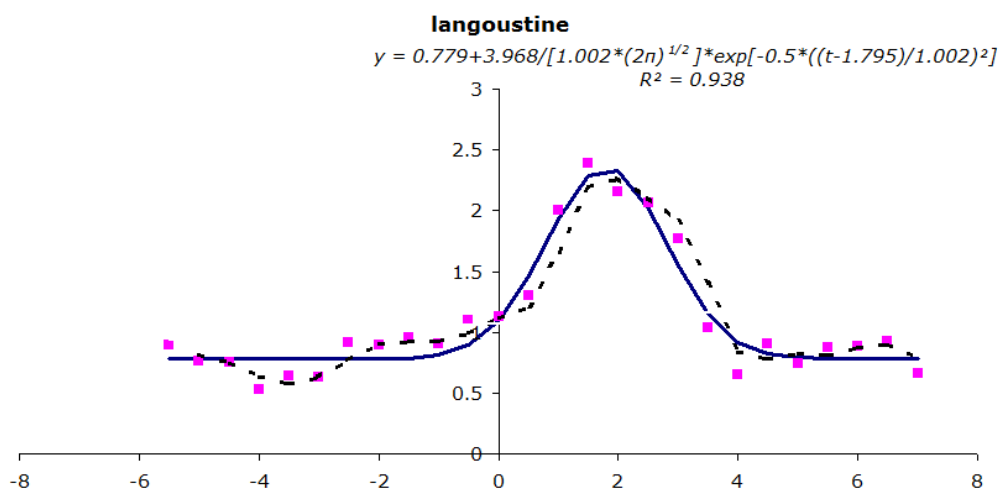


Figure 18. Relation entre heure standardisée selon lever/coucher du soleil d'activité de la langoustine et indice d'abondance par unité de surface selon les comptages sur les transects vidéo. Données 2014 (courbe discontinue : données lissées par moyennes mobiles)

Tableau 11. Ajustement de la relation entre heure d'activité de la langoustine (standardisée selon lever ou coucher du soleil ; cf. précisions plus haut) et indice d'abondance par surface constante (sur 100 m²) de transect vidéo. Données 2014.

Paramètre	Valeur	Ecart type	CV	matrice des corrélations		
				C2	μ	σ
C1	0.7788	0.0379	0.0487	-0.6401	0.0000	-0.4334
C2	3.9683	0.3157	0.0796		0.0000	0.6780
μ	1.7952	0.0706	0.0393			0.0000
σ	1.0016	0.0785	0.0784			

nombre d'observations (jour par tranche de 30 min) : n=26
(156 stations vidéo)
SCE = 0.5072
coefficient de détermination : R² = 0.9381

Galathée

L'ajustement pour la galathée est fait selon une équation de 2nd degré :

$$y = C + a1*t + a2*t^2$$

avec : y et t définis comme précédemment et C, a1, a2 = paramètres du modèle

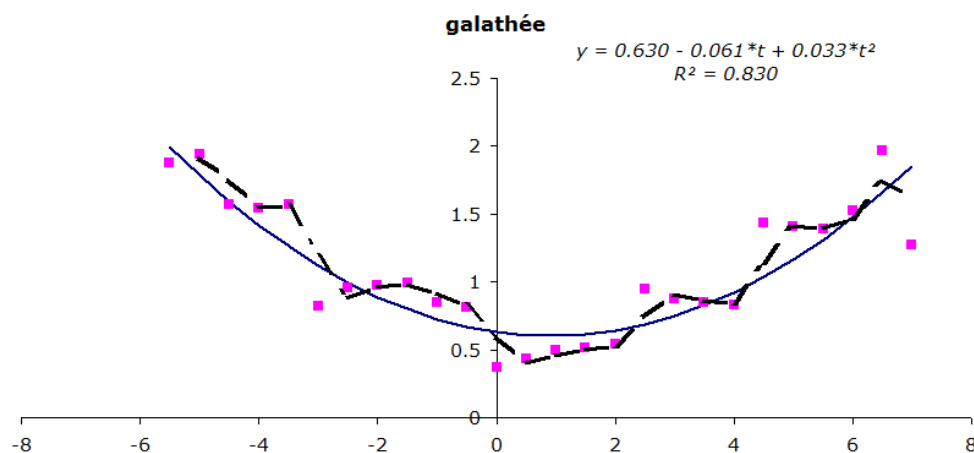


Figure 19. Relation entre heure standardisée selon lever/coucher du soleil d'activité de la galathée et indice d'abondance par unité de surface selon les comptages sur les transects vidéo. Données 2014 (*courbe discontinue : données lissées par moyennes mobiles*).

Tableau 12. Ajustement de la relation entre heure d'activité de la galathée (standardisée selon lever ou coucher du soleil ; cf. précisions plus haut) et indice d'abondance par surface constante (sur 100 m²) de transect vidéo.

Paramètre	Valeur	Ecart type	CV	matrice des corrélations	
				α_1	α_2
C	0.6301	0.0552	0.0877	0.1737	-0.7257
α_1	-0.0618	0.0109	0.1763		-0.4090
α_2	0.0338	0.0030	0.0879		

nombre d'observations (jour par tranche de 30 min) : n=26
(156 stations vidéo)
SCE = 1.1974
coefficient de détermination : $R^2 = 0.8303$

Selon les ajustements à partir de ces observations **in situ** on s'aperçoit que sur les données 2014 la langoustine et la galathée semblent avoir des comportements nycthéméraux opposés. Les langoustines conformément à la perception des marins pêcheurs professionnels ont un rythme journalier croissant aux abords du lever et du coucher de soleil. Plus précisément, selon les résultats obtenus dans cette étude, le maximum d'activité pour cette espèce survient aux alentours de 2 h après le lever du soleil (et symétriquement 2 h avant le coucher ; l'ajustement selon un modèle dérivant d'une loi normale classique est conforme) ($\mu=1.795$ dans le modèle). La galathée a une activité plus étalée sur toute une journée avec une minimisation de son activité aux alentours du lever et du coucher du soleil. Au lever ou au coucher du soleil l'indice d'abondance relatif pour la langoustine s'élève à 1.096 (+9.6% d'activité par rapport à son indice moyenné sur la journée) tandis que celui pour la galathée est égal à 0.630 (-37% par rapport à son indice moyenné sur la journée). Par ailleurs, la langoustine atteint son niveau d'activité maximale à $t=1.795$: ce niveau équivaut à 2.359 (soit +136% par rapport à son indice moyenné sur la journée).

Il serait judicieux d'examiner en partenariat avec les chercheurs écossais et irlandais investis aux évaluations des stocks de langoustines par vidéo depuis plusieurs années si des rythmicités analogues apparaissent dans le cas de la langoustine (on ne peut pas évoquer le cas de la galathée à répartition plus méridionale et, en conséquence, quasi-absente des aires CIEM VI et VII investiguées par vidéo sous-marine).

En outre, ces éléments permettront d'analyser les indices relatifs d'abondance des deux espèces à partir des données acquises lors des opérations de chalutage associé à la vidéo en 2014. En revanche, ils ne permettent pas dans l'état actuel des connaissances d'attribuer des taux d'occupation des terriers par chacune des deux espèces dans la mesure où d'autres données d'entrée (**e.g.** densité des terriers de *Goneplax* ainsi qu'indices par chalutage de cette dernière espèce) ne sont pas encore obtenues.

L'ajustement a été effectué sur la langoustine également à partir des données vidéo 2015 et 2016 en faisant appel au même modèle dérivant d'une gaussienne. Les résultats sont présentés dans la figure 20 et le tableau 13.

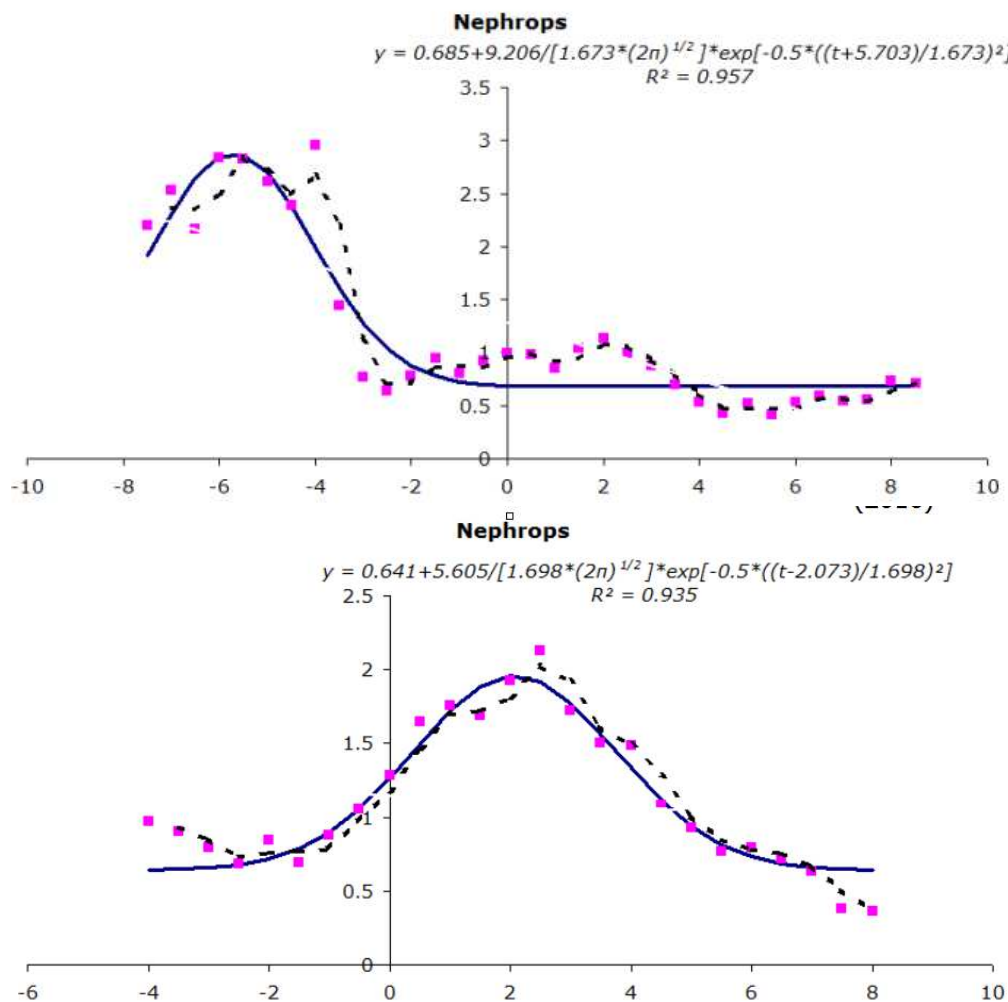


Figure 20. Relation entre heure standardisée selon lever/coucher du soleil d'activité de la langoustine et indice d'abondance par unité de surface selon les comptages sur les transects vidéo. Données 2015 (en haut) et 2016 (en bas) (courbes discontinues : données lissées par moyennes mobiles).

Tableau 13. Ajustement de la relation entre heure d'activité de la langoustine (standardisée selon lever ou coucher du soleil ; cf. précisions plus haut) et indice d'abondance par surface constante (sur 100 m²) de transect vidéo. Données 2015 et 2016.

2015						
matrice des corrélations						
Paramètre	Valeur	Ecart type	CV	C2	μ	σ
C1	0.6847	0.0676	0.0988	-0.5075	-0.0166	-0.3335
C2	9.2056	1.6052	0.1744		-0.3167	0.9179
μ	-5.7035	0.1622	0.0284			-0.3435
σ	1.6733	0.3225	0.1927			
nombre d'observations (jour par tranche de 30 min) : n=33						
(96 stations vidéo)						
SCE = 2.7680						
coefficient de détermination : R ² = 0.9569						
2016						
matrice des corrélations						
Paramètre	Valeur	Ecart type	CV	C2	μ	σ
C1	0.6413	0.0578	0.0901	-0.8245	0.0003	-0.6768
C2	5.6048	0.9241	0.1649		-0.0002	0.9168
μ	2.0727	0.1139	0.0549			-0.0002
Σ	1.6982	0.2627	0.1547			
nombre d'observations (jour par tranche de 30 min) : n=25						
(196 stations vidéo)						
SCE = 0.5162						
coefficient de détermination : R ² = 0.9347						

Les ajustements sur ces deux années supplémentaires soulignent la robustesse du modèle utilisé au regard des précisions des paramètres estimés. L'année 2016 (début mai) est très proche de 2014 (fin septembre) puisque le maximum d'activité semble survenir aux alentours de 2 h après le lever du soleil ou avant le coucher. En revanche, l'année 2015 (fin juillet) est complètement déphasée dans la mesure où l'activité maximale est observée 5-6 h avant le lever du soleil ou après le coucher (ce qui équivaut en fin juillet au globe de Gascogne à une tranche horaire aux alentours de 23h-1h).

La saison de réalisation des campagnes vidéo diffère selon l'année en fonction de contraintes liées à l'utilisation des moyens matériels (navire) mis à disposition. Compte tenu du fait que le chalutage a été considéré non nécessaire et abandonné à partir de 2016 le changement de saison ne constitue pas un inconvénient majeur si seul le comptage des terriers est pris en considération. Néanmoins, ceci ne facilite pas l'interprétation biologique à partir des observations. A noter qu'entre les trois années de campagne des effectifs très variables (385, 687 et 1369 langoustines respectivement) ont été enregistrés sur les transects. Ces fortes différences suggéreraient un impact du cycle biologique **a fortiori** par sexe au rythme saisonnier et nycthémeral en fonction des processus de reproduction et d'alimentation. A ce propos, les distributions de fréquence des longueurs obtenues par chalutage en 2014 et 2015 pour les femelles (Fifas et al., 2016) montrent de fortes dissemblances avec une troncature des distributions vers les grandes tailles en fin septembre 2014 : les femelles matures sont censées regagner leurs terriers en fin d'été. Les effectifs plus élevés en juillet 2015 et en mai 2016 pourraient être attribués à davantage d'activité des femelles contrairement à septembre 2014.

3.4.4.2 Vue par les données du chalutage associé (2014 et 2015)

Les chalutages 2014 et 2015 ont permis d'obtenir des indices relatifs d'abondance pour la langoustine et la galathée (tableau 14 ; les calculs des estimateurs et leurs variances par espèce sont détaillés dans les annexes I et II).

Tableau 14. Indices relatifs d'abondance (10^3 individus) de la langoustine et de la galathée obtenus par chalutage expérimental en 2014 et 2015. Estimations par strate sédimentaire et sur l'aire totale.

2014							
Nephrops					Squat lobster		
stratum	stations	number	SD	CV(%)	number	SD	CV(%)
CB	6	1914	785	41.00	549	255	46.40
CL	5	22227	13175	59.27	7115	2544	35.76
LI	18	26779	13252	49.49	33842	17075	50.46
VS	5	7881	5336	67.71	1735	1117	64.38
VV	23	39290	11142	28.36	64307	23670	36.81
total	57	98091	22415	22.85	107549	29319	27.26
2015							
Nephrops					Squat lobster		
stratum	stations	number	SD	CV(%)	number	SD	CV(%)
CB	4	2377	1259	52.96	263	171	64.87
CL	7	10650	4965	46.62	6374	3611	56.64
LI	22	12293	4199	34.16	6668	1790	26.84
VS	6	2917	2388	81.88	692	457	66.16
VV	10	8500	3724	43.81	22380	11637	51.99
total	49	36736	7965	21.68	36377	12324	33.88

Les estimateurs sont du même ordre de grandeur entre les deux espèces avec, en général, de plus fortes incertitudes pour la galathée en raison d'un plus grand nombre d'occurrences à effectif nul (distribution davantage sur-dispersée). La forte différence entre effectifs pour une même espèce sur les deux années ne paraît pas vraisemblable : concernant la langoustine, tous les indicateurs (LPUE, volume des débarquements : cf. §3.1.1) sont en forte hausse entre 2014 et 2015. Ce constat souligne indirectement le caractère non nécessaire du chalutage. Néanmoins, on ne peut pas passer outre le fait que les effectifs de langoustines et de galathées capturés par année sont du même ordre de grandeur même si cela se traduit différemment en fonction de la strate sédimentaire.

La forte proportion des galathées nous a incités à examiner si elle pouvait induire un biais dans les comptages des terriers. Ceci pourrait être dû, soit à des confusions des formes des terriers lors de la lecture vidéo (uniquement dans des conditions de visibilité médiocre, sinon cela est peu probable), soit à une colonisation des terriers des langoustines par des galathées (nommées en anglais "squat lobster"¹⁵).

Comme démontré dans le § précédent tout au moins sur les données 2014, les galathées sont **a priori** plus actives que les langoustines à différentes tranches horaires de la journée. Lors de la lecture des images sur les transects, on a observé, fin septembre 2014, 385 langoustines au voisinage (180 et 205 respectivement à l'intérieur et à l'extérieur des terriers) contre 2653 galathées (soit un facteur sept) alors qu'en fin juillet 2015, 687 langoustines ont été recensées **in visu** (277 et 410 respectivement à l'intérieur et à l'extérieur des terriers) contre 1387 galathées (soit un facteur deux). Il se pourrait ainsi que la capturabilité des galathées soit plus forte que celle des langoustines, néanmoins des effectifs totaux estimés au même ordre de grandeur méritent l'attention. Les relations entre les deux espèces à l'échelle spatiale (selon le type de sédiment) et temporelle (selon la saison, la tranche horaire : cf. investigations dans le §3.4.4.1) paraissent complexes.

Il faut, en outre, ajouter ici que cette question d'interaction entre les deux espèces ne se pose pas (ou n'a pas été abordée) sur d'autres stocks de langoustines évalués en routine par vidéo sous-marine, soit en raison de la profondeur (stocks ibériques ou Porcupine), ce qui constitue davantage un facteur limitant pour la galathée que pour la langoustine, soit en raison de la latitude car la galathée présente une répartition plus méridionale.

Dans cette étude, nous avons abordé les corrélations spatialisées entre, d'une part, les nombres de terriers et les effectifs capturés de langoustines et, d'autre part, les nombres de terriers et les effectifs capturés cumulés des deux espèces. Les variables explicative et expliquée ont été transformées par pondération à l'inverse des distances entre les coordonnées géographiques des transects vidéo et les coordonnées équivalentes des traits de chalut. Chaque couple de valeurs comportait l'effectif issu d'un trait de chalut et le nombre de terriers recensés à la station vidéo la plus proche (en pondérant **vs.** la distance comme évoqué plus haut). De cette manière, 55 et 49 couples de valeurs (selon le nombre de traits de chalut à effectif des langoustines non nul validés en 2014 et 2015) ont été constitués.

Comme détaillé au §2.1.5, en 2014 le plan d'échantillonnage pour les chalutages était aléatoire stratifié conformément à la série LANGOLF-"Gwen Drez" 2006-2013, alors que pour 2015 une grille pseudo-aléatoire a été mise en place de manière à pouvoir développer des outils de traitement géostatistique combinant les informations vidéo et chalutage : sur cette base, une station vidéo sur trois a été tirée au hasard indépendamment de l'allocation spatiale mise en œuvre au cours des campagnes antérieures. Cette différence de protocole

¹⁵ squat (live) = to live in an building or area of land without the permission of the owner

de collecte des données se répercute en terme de qualité d'ajustement entre nombre de terriers et indice d'abondance des langoustines capturées au chalut (fig. 21). De ce fait, les explorations autour des indices de chalutage pour les langoustines et les galathées seront principalement focalisées sur l'année 2015.

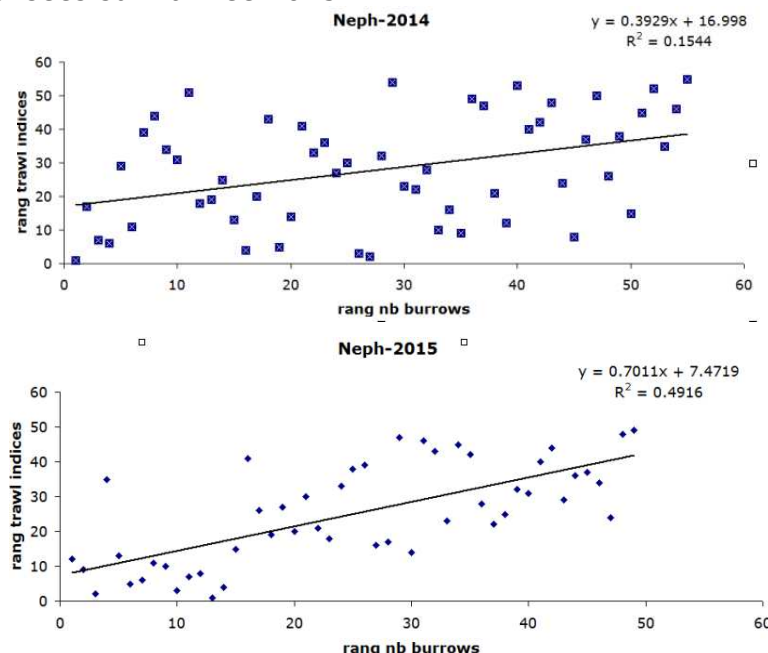


Figure 21. Corrélations de rang entre nombre de terriers et indice des langoustines obtenus par chalutage. Années 2014 (plan d'échantillonnage aléatoire pour le chalutage) et 2015 (plan pseudo-aléatoire calqué sur le plan systématique vidéo).

En 2015, après bootstrap, la corrélation entre les deux variables terriers et langoustines est forte (supérieure à 0,95), toutefois cette valeur est surtout le résultat de deux couples de valeur : il ne serait donc pas prudent de considérer comme valide cette corrélation qui est plutôt le fruit d'une règle géométrique que d'une robustesse statistique. Nous avons, en conséquence, transformé les deux variables en tenant compte de leur rang et en procédant ainsi à des tests sur des corrélations de rang. Cette transformation a été réalisée aussi bien sur la relation entre terriers et langoustines que sur celle entre terriers et langoustines+galathées (fig. 22).

La prise en compte des galathées dans les relations contribue à améliorer la qualité de l'ajustement ($R^2=0,536$ au lieu de $R^2=0,492$, soit $R=0,732$ au lieu de $R=0,701$) ; le test t de Student entre les coefficients de corrélations s'avère non significatif ($t=1,464$), mais demeure proche de la valeur critique pour un seuil d'erreur α de 5%. La recherche visant le calcul d'un coefficient de correction tenant compte des indices de galathée garde tout son intérêt.

Malgré la valeur faible des corrélations en 2014 (fig. 21), la relation entre les variables "terrier" et "effectif de fouisseur" a été également testée sur les données de l'année en question. En procédant à des transformations identiques à celles de 2015, on a également une augmentation de la valeur du coefficient de corrélation en incluant les galathées dans l'indice total des fouisseurs ($R=0,393$ avec seules les langoustines contre $R=0,460$ avec langoustines+galathées).

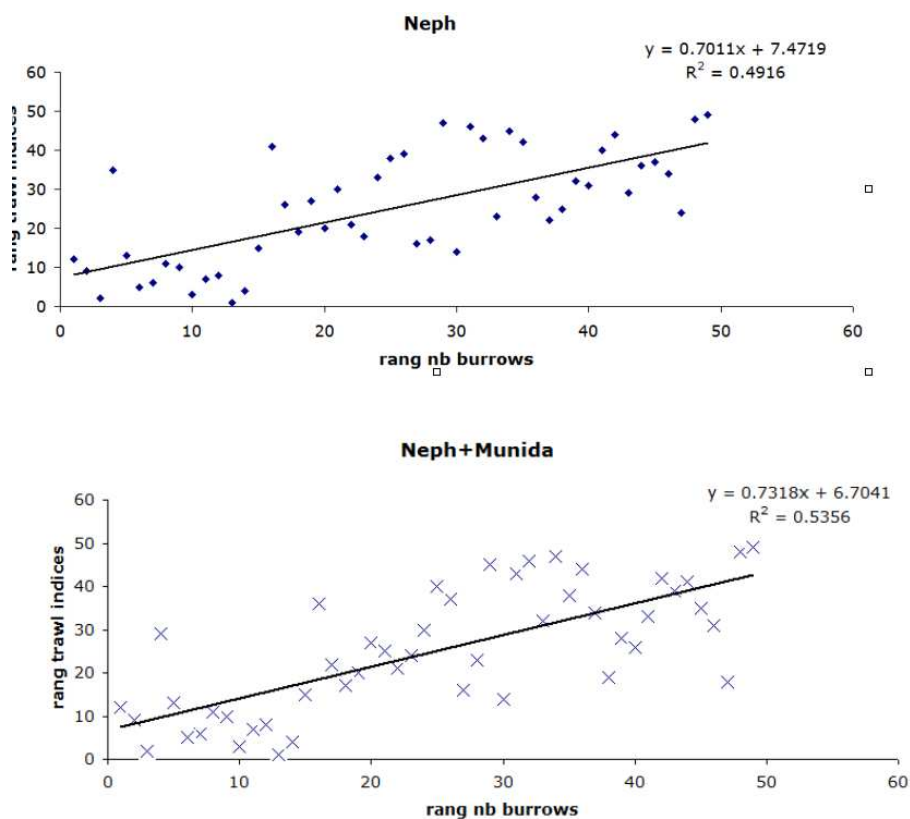


Figure 22. LANGOLF-TV 2015. Relations entre rangs de valeurs spatialisées des effectifs de langoustines (en haut) et langoustines+galathées (en bas) capturées au chalut et nombres de terriers (station vidéo la plus proche ; transformation et pondération inversement à la distance).

3.4.4.3 Correction des indices de chalutage en fonction de l'indice d'activité nyctémérale (2014 et 2015)

Nous avons combiné les informations obtenues par observation sur transect vidéo avec les indices de chalutage par espèce en fonction de l'heure de réalisation des traits de chalut en procédant aux transformations adéquates selon l'heure du lever ou du coucher du soleil (§3.4.4.1). Nous avons re-visité de cette façon les indices de chalutage corrigés pour la langoustine et la galathée sur l'année 2014 (fig. 23 ; tableau 15).

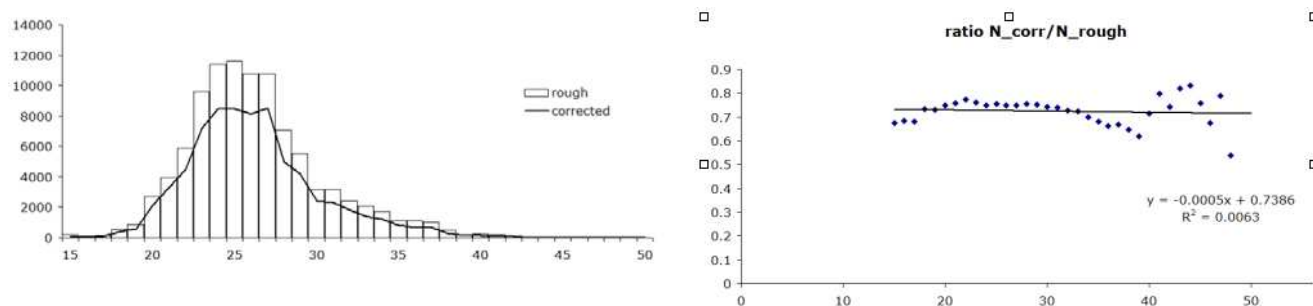


Figure 23. A gauche : distribution de fréquence des tailles (longueur céphalothoracique, CL en mm) obtenue par chalutage sur les langoustines en 2014 (histogramme : structure en taille après élévation classique sans correction ; courbe : structure en taille corrigée selon le modèle ajusté pour l'activité des langoustines en fonction de la tranche horaire : §3.4.4.1). A droite : relation entre taille des langoustines (CL) et ratio de correction en fonction de la tranche horaire de pêche.

Tableau 15. Indices d'abondance 2014 estimés par chalutage pour les langoustines et les galathées. Partie gauche : indices non corrigés (voir Tableau 14). Partie droite : indices corrigés selon la tranche horaire de capture.

str	Munida	Nephrops	ratio	Munida	Nephrops	ratio
CB	549	1914	3.486	410	1150	2.802
CL	7115	22227	3.124	8919	21692	2.432
LI	33842	26779	0.791	21263	13683	0.643
VS	1735	7881	4.541	1291	4586	3.553
VV	64307	39290	0.611	55172	32142	0.583
total	107549	98091	0.912	87055	73252	0.841

La correction en fonction de l'heure de réalisation des traits de chalut contribue à réviser à la baisse l'indice relatif pour la langoustine sans toutefois d'incidence particulière sur la distribution de fréquence des tailles (corrélation quasiment nulle entre taille et facteur correctif lié à l'heure : partie droite de la figure 23).

Sur les deux espèces, la correction des indices relatifs d'abondance selon l'heure de réalisation des traits de chalut provoque une diminution (-19% pour la galathée, -25% pour la langoustine). Le ratio global langoustine/galathée n'est que peu modifiée (0.841 après correction contre 0.912).

Sur les données 2014, l'utilisation d'un tel facteur correctif renforce les corrélations de rang entre nombre de terriers et nombre de fousseurs, langoustines seules d'une part, ou langoustines et galathées d'autre part. La conclusion faisant état d'une augmentation de la corrélation quand les effectifs des deux espèces sont comptabilisées ensemble plutôt que la langoustine seule reste d'actualité (tableau 16).

Tableau 16. Année 2014. Corrélations des rangs entre nombre de terriers et indices relatifs d'abondance de fousseurs obtenus par chalutage (langoustines seules [Neph] ou langoustines+galathées [Neph+Munida])

		N_rough	N_corr		N_rough	N_corr
Neph	ρ^2	0.154	0.192	ρ	0.393	0.439
				$\sigma(\rho)$	0.017	0.017
Neph+Munida	ρ^2	0.211	0.250	ρ	0.460	0.500
				$\sigma(\rho)$	0.017	0.016
				$t(\rho)$	2.771	2.602

Par contre, l'introduction d'un facteur correctif des indices 2015 en fonction de l'heure de pêche uniquement effectué sur les langoustines conduit à une révision à la hausse de l'indice relatif (fig. 24). Pour l'année en question l'activité des langoustines semble maximisée la nuit (tableau 13 ; fig. 20) et le chalutage n'a lieu qu'en journée.

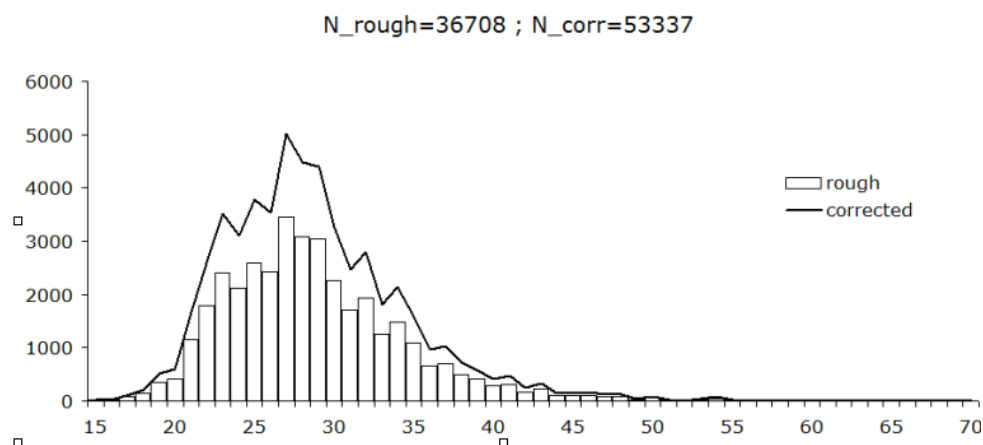


Figure 24. Distribution de fréquence des tailles (longueur céphalothoracique, CL en mm) obtenue par chalutage sur les langoustines en 2015 (histogramme : structure en taille après élévation classique sans correction ; courbe : structure en taille corrigée selon le modèle ajusté pour l'activité des langoustines en fonction de la tranche horaire : §3.4.4.1).

3.4.4.4 Synthèse sur le facteur correctif langoustine/galathée

Nous avons tenté d'établir un coefficient correctif ("species identification") tenant compte de la complexité dans les relations entre langoustine et galathée. Nous avons abordé la question sous l'angle des observations vidéo qui offrent l'avantage d'être enregistrées en continu sur 24 h. Nous avons, en outre, étudié les informations fournies par le chalutage associé à la vidéo (uniquement pour 2014 et 2015).

La vidéo nous a permis de cerner les différences fondamentales de rythme nyctéméral entre langoustine et galathée, la première étant active sur un intervalle de temps plus restreint de la journée, la seconde présentant une activité plus étalée sur 24 h. Le cas de figure d'école correspondant à la vision des marins pêcheurs professionnels (langoustines notamment actives peu après le lever et peu avant le coucher du soleil) a été décelé en septembre 2014 et mai 2016, mais non en juillet 2015 où l'activité se manifeste davantage

en période nocturne. Le changement de saison ne permet pas d'approfondir sur cette question toutefois la robustesse statistique des ajustements doit être soulignée.

Le chalutage n'apporte que peu d'information en soi si ce n'est que les indices relatifs d'abondance des deux espèces sont du même ordre de grandeur aussi bien en 2014 qu'en 2015. Même après la correction en intégrant l'heure de capture au chalut en fonction du modèle ajusté sur les données vidéo 2014, le ratio entre les deux espèces demeure quasi-inchangé. Tout cela ne nous renseigne pas sur le taux effectif d'occupation des terriers à langoustine par des galathées. Pourtant, un signal existe : l'augmentation des coefficients de corrélation entre nombre de terriers et nombre de fousseurs quand on inclut les galathées au lieu de considérer seules les langoustines.

Pour une première application du coefficient correctif "species identification", on peut se contenter de l'effet produit par l'introduction des galathées dans les fousseurs sur les pentes des relations ajustées entre rangs des nombres de terriers et de fousseurs¹⁶. Sur les données 2014 et 2015 présentées plus haut (fig. 21 et 22 ; tableau 16), la majoration de la pente est comprise dans l'intervalle 4-14%. Nous attribuons, à titre exploratoire, à ce coefficient correctif la valeur de 1.05, 1.10 ou 1.15.

3.5 Calcul de la "SSB" et du "harvest rate" 2014

Les informations analysées dans les sections précédentes nous permettent de proposer différents facteurs de correction de biais pour le stock du golfe de Gascogne dans le but d'affiner les premières évaluations d'indice absolus d'abondance en retenant le cas de figure de l'année 2014. Les calculs seront présentés de manière déterministe i.e. sans tenir compte des incertitudes du nombre de terriers ni de celles associées aux estimations des débarquements, rejets et poids moyens. Dans le tableau 17 sont également citées à titre de comparaison les valeurs retenues pour le stock de Smalls enn Mer Celtique qui a servi d'étalon pour les premières études au golfe de Gascogne.

Tableau 17. Exemple des facteurs de correction du nombre de terriers selon la procédure d'évaluation des stocks de langoustines par vidéo sous-marine. Exemples comparatifs entre les conclusions préliminaires de ce travail pour le golfe de Gascogne et le stock de "Smalls" (mer Celtique, FU22).

FU	Stock	Edge effect	Detection rate	Species identification	Occupancy	Cumulative bias
23-24	Gascogne	1.145	0.94	1.05	1	1.13
				1.10		1.18
				1.15		1.24
22	Smalls	1.35	0.9	1.05	1	1.28

Le tableau 18 résume les informations relatives à l'état du stock en 2014 les deux sexes confondus qui seront utilisées par la suite.

¹⁶ Comme il s'agit des corrélations de rang, la pente équivaut au coefficient de corrélation.

Tableau 18. Paramètres d'entrée pour le calcul du "harvest rate", SSB et biomasse exploitable.

Effectif débarquements (10^3)	121 594	
Poids moyen débarquements (g)	23.08	
Taux de survie des rejets (SR)	0.30	0.55
Effectif rejets morts (10^3)	82 551	53 069
Poids moyen rejets (g)	11.25	
Effectif removals (10^3)	204 145	174 663
Poids moyen removals (g)	18.30	19.49
% mature (sur effectif removals)	76.8%	81.6%
% exploitable (sur effectif removals)	59.6%	67.0%
Nombre de terriers (statistique classique stratifiée, 10^6)	5165	
Nombre de terriers (géostatistique, moyenne arithmétique, 10^6)	4856	
Nombre de terriers (géostatistique, krigeage, 10^6)	4968	

En considérant les trois versions différentes du nombre de terriers selon le mode de calcul et en injectant une valeur de biais cumulatif, soit égale à 1.13, soit égale à 1.18 on obtient une fourchette du nombre corrigé de terriers et donc de l'abondance absolue de langoustines allant de **4115 à 4571 millions**. Les removals sont fixés, soit à 174.7, soit à 204.1 millions d'individus selon le taux de survie des rejets appliqué.

La combinaison de ces valeurs nous permet de calculer un "harvest rate" pour le stock fluctuant entre **3.82%** (hypothèse basse avec abondance=4571 et removals=174.7) et **4.96%** (hypothèse haute avec abondance=4115 et removals=204.1). Il est prématuré de juger si ce niveau de "harvest rate" paraît réaliste au regard des paramètres d'exploitation du stock dans la mesure où le "harvest rate" de référence n'est actuellement pas défini : il constituera l'objet d'analyse lors du 2^{ème} workshop benchmark de l'année 2016 (fin octobre).

En utilisant le poids moyen des removals deux sexes confondus, soit de 18.30 g, soit de 19.49 g selon le taux de survie des rejets et les estimations d'abondance absolue précitées (4115 ou 4571 millions), nous obtenons une biomasse totale comprise dans l'intervalle **75300 à 89090 tonnes**¹⁷.

La SSB tenant compte du pourcentage d'individus matures (76.8% ou 81.6% selon le scénario du taux de survie des rejets) varie entre **57830 et 72700 tonnes**¹⁸ alors que la biomasse exploitable (fraction exploitable 59.6% ou 67.0% selon la valeur du taux de survie des rejets) fluctue dans l'intervalle **44880 à 59690 tonnes**.

Tous ces calculs exploratoires se basent sur l'hypothèse que le pattern du stock en terme des poids moyens, fractions matures et exploitables est décrit de manière fiable par les removals (cf. effets de sélectivité sur les paramètres d'entre non significatif).

¹⁷ A titre de comparaison, sur les années jusqu'à 2013, dernière année d'utilisation du modèle XSA par les WG du CIEM (WGHMM, WGBIE) avaient évalué une biomasse totale moyenne sur la période 1987-2013 de 15580 tonnes.

¹⁸ Selon les mêmes sources que celles de la note précédente : SSB moyenne (1987-2013)=8290 tonnes.

3.5.1 Effet d'utilisation de différentes sources de données pour estimer le poids moyen

De manière usuelle, les poids moyens sont moyennés sur l'ensemble de l'année à partir des échantillonnages des débarquements et de la fraction non retenue (rejets) en criée et à bord des navires de pêche. Ces sources peuvent être comparées avec celles fournies par les captures expérimentales réalisées à bord des deux chalutiers professionnels associés aux opérations vidéo en fin septembre 2014. Ce point n'a pas de sens depuis 2016 dans la mesure où le chalutage a été considérée non nécessaire.

Le poids moyen deux sexes combinés lors de ces opérations a été estimé à 14.84 g, valeur nettement inférieure (-19% à -24%) à celles considérées dans les calculs du § précédent (18.30 g ou 19.49 g selon taux de survie des rejets de 30% ou de 55% respectivement). La non disponibilité en partie des femelles matures en début d'automne (Fifas et *al.*, 2016) expliquerait cette différence. En outre, l'usage lors de ces chalutages expérimentaux d'un gréement de chalut à maillage de cul de 20 mm de façon équivalente aux anciennes campagnes LANGOLF "Gwen Drez" explique également ce poids moyen plus faible.

3.5.2 Effet d'utilisation de différentes sources de données pour estimer la proportion exploitable

De manière équivalente, en faisant appel aux structures en taille des langoustines estimées lors des opérations de chalutage en fin septembre 2014, on obtient une fraction exploitable sur les deux sexes de 41% largement en dessous aux valeurs injectées dans les calculs du § précédent (59.6% ou 67.0% selon le taux de survie des rejets).

4 Discussion

4.1 Statistique classique ou géostatistique

Sur les stocks de langoustines suivis en routine par vidéo sous-marine, on fait majoritairement appel au traitement géostatistique des données car celui-ci présente l'avantage d'une visualisation standardisée des structures spatiales grâce à un interfaçage cartographique. Plusieurs de ces stocks (*e.g.* Mer d'Irlande Ouest, secteur de Smalls en Mer Celtique) sont très homogènes sur le plan spatial et la variographie donne des résultats non bruités pour le krigeage et la cartographie.

Cependant, sur des aires géographiques hétérogènes nécessitant une stratification spatiale sédimentaire telle la Grande Vasière la situation idéale consisterait à croiser le traitement géostatistique avec la structure sédimentaire en tant que co-variable. Pour une stabilité et précision des variogrammes ajustés par strate, cette option croisée demanderait un nombre élevé de transects vidéo sur des surfaces réduites (telle la strate VS) représentées par des densités élevées des terriers : il est à rappeler que sur les années 2014 et 2015 (ainsi qu'en 2016 partiellement traitée dans cette étude), 50% environ des terriers étaient concentrés sur 28% de la superficie totale (strates VS, VV à vase plus compacte). Une autre possibilité à terme serait de bâtir des variogrammes ajustés sur une base pluri-annuelle, toutefois cela semble prématuré en phase exploratoire du projet avec peu d'années disponibles. En phase de transition, les investigations selon les deux approches sont souhaitables d'autant plus que les facteurs de correction selon la proportion langoustines/galathées semblent très variables en fonction du sédiment.

4.2 Optimisation du plan d'échantillonnage

Conformément à l'analyse présentée auparavant (§3.3.1 et 3.3.2), quelle qu'elle soit l'approche (classique stratifiée ou géostatistique), la réalisation d'un minimum de 140 transects sur l'aire totale garantirait, selon la simulation sur l'année 2014, des CV du nombre de terriers compris dans la gamme 5-10% ; en géostatistique, une grille systématique avec une distance entre stations de 4.7 milles nautiques telle qu'elle a été adoptée suivant l'exemple d'autres stocks (Smalls en Mer Celtique) produirait des CV inférieurs à 10%. Toutefois, cette analyse tient compte des cinq strates sédimentaires définies par des études antérieures (Bourillet et al., 2006) et exclut les zones dites "blanches" **a priori** non chalutables contenues dans le contour de la Grande Vasière (cf. fig. 6). Ces zones ont été incorporées dans la grille systématique de l'année 2016 pendant laquelle les conditions météorologiques très favorables ont permis d'effectuer 204 transects (dont 196 validés). Par ailleurs, ces zones, à l'apparence très hétérogènes d'après le témoignage des lecteurs embarqués, sont en partie régulièrement visitées par des chalutiers langoustiniers notamment dans la partie Sud de la pêcherie¹⁹ (cf. fig. 1). Il conviendrait de faire une simulation sur les données 2016 en incluant également ces zones.

Le traitement géostatistique nécessite de définir la bordure d'une aire d'étude par des effectifs nuls de l'estimateur cartographié. Au vu des cartes aussi bien sur les données des campagnes vidéo que sur la VMS cette condition n'est pas remplie actuellement puisque les extrémités Nord/Nord-Est sont représentées par les nombre de terriers les plus élevés. Il faut néanmoins considérer que la connaissance fine de la zone peut expliquer cette dérive par rapport au cas d'école théorique : en raison d'une configuration hydrodynamique particulière, l'extrémité Nord est caractérisée par une transition brutale entre vases compactes et sables grossiers ; en outre, entre la Grande Vasière Nord-Est et la côte on est en présence de fonds rocheux non fréquents aux arts traînants.

¹⁹ Les données VMS considérées pour délimiter une zone décrivent des schémas de navigation de navires pendant une marée et non par opération de pêche. Cette approche n'induit vraisemblablement pas de biais sur la partie Nord de la pêcherie davantage concernée par des pêches mono-spécifiques et des marées d'une journée. En revanche dans la partie Sud (marées multi-spécifiques sur plusieurs jours, ciblage alterné langoustines dans la journée, poissons dans la nuit) elle doit être prise avec précaution.

Il est d'usage sur d'autres stocks ("Marine Institute" irlandais) d'écarter de la grille systématique les stations représentées par des effectifs nuls. Ce choix paraît justifié si l'observation porte sur plusieurs années et demande un focus sur le sédiment **in situ** (carottage, observations fines vidéo). Plusieurs années de campagne seront nécessaires pour emprunter cette voie.

4.3 L'effet des binômes des lecteurs sur la précision : stratification à un ou deux niveaux

La prise en compte de deux niveaux dans le calcul des incertitudes du nombre de terriers ne modifie guère le résultat : les unités secondaires (minute * observateur) apportent 2 à 2.5% supplémentaires aux variances calculées sur seules les unités primaires (transect). Dans cette analyse, l'effet "minute" n'est pas dissocié de l'effet "observateur". Cependant, la qualité globale des ajustements testant la concordance entre lecteurs (fig. 9) suggérerait que la partie majeure de l'apport d'incertitude au niveau secondaire proviendrait de l'hétérogénéité entre minutes de lecture tout le long des transects.

4.4 Validité et amélioration des facteurs de correction des biais

Edge effect : l'effet de bord représenté par un facteur égal à 1.15 selon une estimation stratifiée est assorti d'une faible incertitude (CV=11%) avec une grande homogénéité entre strates exception faite de la strate lithoclastique (LI) pour laquelle la valeur plus forte (1.34) serait éventuellement imputable à la dimension (diamètre) des structures dans cette strate. Des re-lectures des enregistrements vidéo pourraient confirmer ou infirmer cette interprétation. Par ailleurs, en comparant les stocks de langoustines suivis par vidéo au sein du CIEM, on observe de fortes disparités de ce coefficient (anon, 2014b) : ceci mériterait une analyse approfondie comparative avec croisement des lecteurs entre pays.

Détection : une très bonne visibilité a marqué les opérations sur les deux années analysées (946 minutes de lecture sur 1095 au total, soit 86%, sont de très bonne qualité). Néanmoins, le calcul du "detection rate" sur la base d'une variable ordinale (par attribution d'un rang de valeur à la visibilité) ne paraît pas très affiné : l'usage d'un outil adapté (**e.g.** disque Cecchi) aurait permis de quantifier avec davantage de précision l'impact de la turbidité sur ce facteur correctif. Plus généralement, on peut être gêné en terme de visibilité sur une zone très fréquentée par les engins traînants : il est à rappeler que sur 28% de la superficie de la Grande Vasière (strates à vase compacte, VS et VV) où on observe la densité des terriers la plus élevée on trouve 66% de l'effort de pêche ce qui pourrait constituer un handicap en matière de détection.

Structure des terriers : compte tenu de la profondeur, on est obligé de continuer par analogie avec les stocks écossais.

Langoustine/galathée : les interactions paraissent complexes en raison des répartitions spatiales différentes entre les deux espèces, d'un rythme nycthéméral décalé (§3.4.4.1) et de l'adaptabilité des galathées en ce qui concerne leur habitat²⁰. La solution optimale pour proposer un facteur correctif pour cette interaction serait de bien visualiser et de compter tout type de terrier de crustacé (en se limitant à trois espèces : langoustine, galathée, **Goneplax**²¹) et de disposer d'indices relatifs d'abondance calés sur une heure standard de la journée (**e.g.** midi) sous l'hypothèse que la saison de réalisation de la campagne vidéo demeure fixe. De cette manière, on pourrait attribuer des effectifs standardisés de ces trois crustacés à des terriers et de bâtir un coefficient correctif langoustine/galathée.

4.5 Variabilité spatiale de la proportion des langoustines sur le total (langoustines + galathées)

On ne dispose pour commenter cette section, que des données collectées par chalutage à bord des navires professionnels associé à la vidéo. Le comptage **in visu** des individus actifs de chacune des deux espèces grâce à la lecture des images vidéo nous a permis de cerner les différences en terme de rythme nycthéméral, mais ne nous permet pas de quantifier la variabilité spatiale de la proportion entre les deux espèces faute des tailles d'échantillons plus élevées sur les strates à superficie restreinte.

Les variogrammes ajustés à partir des données des chalutages sont plus bruités sur la galathée que sur la langoustine, par ailleurs, en statistiques classiques stratifiées, les CV des premières sont plus élevés du fait d'un nombre d'occurrences à effectif nul plus élevé sur l'ensemble de l'aire d'étude (distributions plus sur-dispersées). D'une manière générale, les galathées sont davantage présentes sur la zone médiane de la Grande Vasière (**e.g.** strate LI à fonds plus hétérogènes).

Les professionnels dans le cadre du partenariat avec l'Ifremer pour la conduite sur une base récurrente sur une base récurrente des campagnes LANGOLF-TV souhaitent organiser des enquêtes pour apporter des connaissances empiriques sur les zones de répartition des deux espèces vues par le contenu de leurs chaluts, toutefois les informations risquent de ne pas être quantitativement exploitables.

4.6 Automatisation de la procédure de comptage

Le matériel employé par les irlandais pour les campagnes vidéo est en phase d'évolution du fait de la mise en service de caméras de haute définition avec un traitement d'images plus performant (intégration des structures en mosaïque des fonds visualisés). L'automatisation future possible de la procédure de comptage permettra à terme d'utiliser un autre navire que celui du "Marine Institute" actuellement sollicité. En supposant que le matériel pour ce type de campagne soit disponible à l'Ifremer cela revient à faire appel à un navire à dimensions et capacités plus modestes (**e.g.** "Thalia" ou "Côte de la Manche" de la flotte

²⁰ Comme évoqué auparavant, les galathées peuvent utiliser des terriers des langoustines déjà existants et, selon toute vraisemblance, des terriers d'autres crustacés (*e.g.* *Goneplax*). Les galathées ont également la capacité de créer leurs propres terriers, néanmoins ceux-ci ne sont pas aisément détectés lors des lectures des bandes vidéo du fait de leur structure peu profonde (léger creusement dans le sédiment).

²¹ Les terriers de *Coelocaris* (cf. fig. 17) de forme rectiligne peuvent être négligés du fait de leur dimension modeste.

INSU). Néanmoins, dans la mesure où le travail n'est pas effectué en continu 24h/24 cela risque de rallonger considérablement les campagnes pour un même effort d'échantillonnage.

5 Benchmark et avis 2016 sur le stock

5.1 Benchmark

Lors du 1^{er} atelier benchmark de juin 2016, des présentations détaillées ont été réalisées pour les données et les investigations relatives à la série de la campagne LANGOLF-TV sur les années 2014-2016. Ces campagnes ont eu lieu à des périodes variables de l'année (fin septembre 2014, fin juillet 2015, mai 2016) notamment du fait des contraintes liées à la disponibilité du navire océanographique irlandais engagé pour les travaux. Etant donné que seules les opérations vidéo ont été jugées suffisantes pour l'évaluation du stock (sans accompagnement par du chalutage à partir de 2016), le choix de la saison pour ces campagnes ne change guère la nature des résultats obtenus si l'objectif des travaux se limite au comptage des terriers.

Une densité moyenne préliminaire des 0,39-0,44 terriers/m² (sans correction des biais), relativement stable entre les années 2014-2016, est obtenue situant le stock du golfe de Gascogne dans la moyenne européenne en mettant l'accent sur l'hétérogénéité spatiale du secteur : il est subdivisé en cinq sous-zones (strates) selon la nature sédimentaire des fonds et, parmi ces cinq strates, celles caractérisées par des fonds de vase plus compacte sont représentées par des densités figurant parmi les plus fortes à l'échelle européenne (0,55-1,65 terriers/m², notamment à l'extrémité Nord de l'aire d'étude). Globalement, l'atelier s'est focalisé au fait que 50% des terriers sont concentrées sur ~28% de la surface. De ce fait, le développement en parallèle des méthodes statistiques basées soit sur la stratification spatiale soit sur la géostatistique (qui permet des interfaces cartographiques standardisées) n'a pas été jugée contradictoire et continuera d'être déployé dans le proche avenir. Par ailleurs, en mai 2016, profitant des journées supplémentaires de réservation du navire irlandais et des conditions météorologiques très favorables, les fonds contenus dans le contour de la "Grande Vasière", mais non inclus à aucune des cinq strates sédimentaires classiques (fonds durs parcourus par des chéneaux de vase sableuse concentrant un effort modéré de chalutage ciblant la langoustine) ont été également échantillonnés. Ce complément d'information montre qu'on est en présence d'une zone davantage hétérogène, mais qui mérite d'être intégrée dans les opérations (sous ces conditions, la surface totale de la "Grande Vasière" est portée de 11 676 km² à 16 164 km² et justifierait une campagne sur 14 au lieu de 10 jours).

A l'issue du 1^{er} atelier, il a été considéré souhaitable que certains aspects complémentaires soient développés en vue de l'échéance de l'automne focalisée davantage à la méthodologie et la définition des points de référence pour le stock. Ces aspects portaient sur : (1) la définition exacte de la superficie réellement occupée par le stock : notamment autour de l'extrémité Nord [Glénan] dans la mesure où selon les VMS on tombe des densités maximales à proches de zéro ainsi que dans une partie Sud du secteur [Ile d'Oléron] où quelques écarts entre VMS et densités des terriers ont été observés ; (2) la coexistence langoustines/galathées sachant que ces dernières peuvent dans certains cas occuper des terriers créés par la langoustine (aspect pouvant apporter des précisions au coefficient correctif appelé "species identification") et (3) des investigations sur la structure

(hétérogénéité, biais) de la flottille commerciale standard (provenant du Guilvinec pour le 2^{ème} trimestre d'une année, par abréviation GV-Q2).

Sur les trois compléments d'information requis par le 1^{er} atelier de juin 2016, des réponses ont été apportées lors du 2^{ème} atelier en octobre 2016 :

- La limite Nord de la zone correspond bien aux densités maximales, aucune activité de pêche langoustinière significative n'étant développé au-delà de cette "barrière" (explication selon la configuration hydrologique du secteur autour de la Pointe de Penmarc'h).
- Les quelques écarts entre VMS et densités des terriers dans la partie Sud correspondent à des marées sur plusieurs jours (2-3) ainsi qu'à une activité multi-spécifique des navires concernés : les analyses spatialisées de la composition spécifique des captures retenues selon des mailles de 3 min * 3 min a démontré que les prises en langoustine sont strictement cantonnées dans le contour de la "Grande Vasière" certaines autres espèces ciblées au cours des mêmes marées étant davantage localisées vers la côte (encornets, seiche) ou vers le large (baudroies).
- Les investigations autour de la flottille GV-Q2 (au moins sur la période des 15 dernières années depuis l'adoption quasi-exclusive des chaluts jumeaux) ont montré que ce groupe des navires peut être décomposé en deux sous-catégories strictement complémentaires (de longueur moyenne de 11,5-12 m sinon de 15,5-16 m) sans croisement de leurs LPUE au cours de la période examinée. Sur ce point, compte tenu de la bonne tenue des données vidéo 2014-2016, l'atelier n'a pas souhaité approfondir davantage.
- La coexistence langoustines/galathées a été investiguée à partir de l'activité des individus de chaque espèce telle qu'elle a été observée sur les transects vidéo d'où résulte une activité des langoustines maximisée aux alentours de 2 h après le lever du soleil (et symétriquement 2 h avant le coucher) alors que les galathées présentent une activité plus étalée sur les 24 h (par ailleurs, davantage d'activité pendant la nuit). A partir de ces éléments les indices relatifs corrigés de chalutage (associé aux travaux vidéo en 2014 et 2015, mais non reconduit en 2016) ont permis de proposer, dans un premier temps, des facteurs correctifs du nombre de terriers (facteur "species identification") de 1.05, 1.10 ou 1.15. Cette coexistence ne bouleverse pas les résultats des comptages de terriers jugés fiables aussi bien par l'atelier de juin que par celui d'octobre 2016.

L'atelier d'octobre a adopté la vidéo sous-marine désormais comme méthode standard de l'évaluation du stock. Les chairs et les experts externes ont mis l'accent sur plusieurs points positifs concernant le stock tels que : (1) connaissance approfondie du secteur (hétérogénéité spatiale, contour et superficie précis) ; (2) qualité et quantité des données relatifs à la pêche (structure en taille des débarquements et rejets) ; (3) coopération avec le "Marine Institute" irlandais qui dispose d'une forte expérience en la matière pour la réalisation des campagnes ; (4) analyses pertinentes pour le calcul des coefficients correctifs (edge effect, detection rate, species identification) nécessaires pour l'estimation du biais cumulé pris en compte dans les estimations du nombre de terriers.

5.2 Avis CIEM

La première conséquence de l'adoption de la vidéo est le changement de catégorie pour le stock de langoustines du golfe (passage en catégorie 1) et la formulation d'avis désormais annuel au lieu du biennal. L'avis CIEM avait été différé pour novembre 2016 afin de disposer des conclusions de l'atelier benchmark 2016. Pour ce faire, le modèle SCA d'analyse des cohortes en longueur sous contrainte des comptages des terriers a été utilisé. Pour le nombre de terriers, la donnée d'entrée retenue par le CIEM était issue de l'année 2016 (couverture plus complète de la "Grande Vasière", par conséquent plus représentative), soit 5167,67 millions (tableau 7) assortis d'un facteur de correction du biais cumulé de 1,24 : ceci équivaut à 4168 millions d'animaux. Concernant les distributions de fréquence des tailles des débarquements et des rejets (et des "removals" sous une hypothèse de taux de survie des rejets de 30%) sont obtenues sur les années 2013-2015 moyennées. Les tableaux 19 et 20 résument les principales informations relatives à l'avis 2016.

Tableau 19. Base de l'avis 2016 pour le stock de langoustines du golfe de Gascogne.

Variable	Value	Source	Notes
Stock abundance	4168 million individuals	ICES (2016a)	UWTV survey 2016
Mean weight in landings	23.32 g	ICES (2016a)	Average 2013–2015
Mean weight in discards	10.88 g	ICES (2016a)	Average 2013–2015
Discard rate	53.3%	ICES (2016a)	Average 2013–2015 (by number). Calculated as discards divided by landings + discards.
Discard survival rate	30%	ICES (2016a)	Only applies in scenarios where discarding is allowed.
Dead discard rate	44.4%	ICES (2016a)	Average 2013–2015 (by number). Calculated as dead discards divided by dead removals (landings + dead discards). Only applies in scenarios where discarding is allowed.

Table 20. Options de capture 2016 selon le taux de rejet moyenné sur les données 2013–2015 (poids en t).

Rationale	Basis	Total catches	Dead removals	Landings	Dead discards	Surviving discards	Harvest rate*
		L+DD+SD	L+DD	L	DD	SD	for L+DD
MSY approach	MSY approach (F_{MSY} harvest rate)	6376	5711	4160	1551	665	7.7%
Other options	$F_{status\ quo}$ (average of harvest rates in 2013-2015)	4471	4005	2918	1088	466	5.4%

* Applied to dead removals.

A partir de ces développements, le **statu quo** "harvest rate" est égal à 5,4%. Avec un point de référence du "harvest rate" fixé à 7,7% (compatible avec des analyses sur d'autres stocks de langoustines suivis par vidéo avec des densités équivalentes à celles du golfe de Gascogne) un TAC de 4160 t a été proposé, soit +7% comparativement au TAC en vigueur au cours de la période récente (3899 t).

Bibliographie

Anon, 2007. Report of the Workshop on the use of UWTV surveys for determining abundance in Nephrops stocks throughout European waters (WKNEPHTV). **ICES CM: 2007/ACFM: 14 Ref: LRC, PGCCDBS.**

- Anon 2008. Report of the Workshop and training course on Nephrops burrow identification (WKNEPHBID). **ICES-CM:2008/LRC:3Ref:LRC,ACOM**.
<http://www.ices.dk/reports/LRC/2008/WKNEPHBID/WKNEPHBID2008.pdf>.
- Anon 2009. Report of the Study Group on Nephrops Surveys (SGNEPS). **ICES CM 2009/LRC: 15. Ref: TGISUR**. <http://www.ices.dk/reports/SSGESST/2009/SGNEPS/SGNEPS09.pdf>
- Anon 2010. Report of the Study Group on Nephrops Surveys (SGNEPS). **ICES CM 2010/SSGESST: 22. Ref: SCICOM, ACOM**, <http://www.ices.dk/reports/SSGESST/2010/sgneps10.pdf>
- Anon, 2014. Report of the WGCSE (Working Group on the Celtic Sea Ecoregion), **ICES, Copenhagen, 12-22/05/14**.
- Anon, 2014. Report on the Working Group of the Nephrops Surveys (WGNEPS), **ICES, Lisbon, 4-6/11/15**.
- Anon, 2015. Report on the Working Group of the Nephrops Surveys (WGNEPS), **ICES, Cadiz, 10-12/11/15**.
- Anon, 2016. Report on the WGBIE (Working Group on the Bay of Biscay and Iberian Waters Ecoregion), **ICES, Copenhagen, 13-19/05/16**.
- Bourillet J.F., Jouanneau J.M., Macher C., Le Hir P., 2006. La Grande Vasière" mid-shelf mud belt : Holocene sedimentary structure, natural and anthropogenic impacts. **X International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay, April 19-21 2006. Vigo, Galicia. Spain**.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/6243/>
- Charuau A., Morizur Y., Rivoalen J.J., 1982. Survival of discarded *Nephrops norvegicus* in the Bay of Biscay and in the Celtic Sea. **ICES-CM-1982/B:13**.
- Dubrulle, E. Goubert, J-M. Jounneau, E. Cortijo, O. Weber, P. Lesueur, V. Vicaire, 2005. La Grande Vasière : architecture, mise en place et estimation des facteurs de son évolution. **Communication au Colloque Golfe de Gascogne. Brest 22-24 mars 2005**.
- Fifas S., Woillez M., Salaün M., Toulhoat L., 2016. Bilan des campagnes expérimentales 2014-2015 d'évaluation du stock de langoustines du Golfe de Gascogne par vidéo sous-marine. Programme expérimental LANGOLF-TV, **Rapp. Contrat FFP, CNPM, Ifremer** : 54 p.
- Jégou C., 2007. Analyse de la variabilité de la maturité sexuelle de la langoustine, *Nephrops norvegicus*, dans le Golfe de Gascogne. **Rapp. 3^e cycle, Univ. Brest**. 22 p.
- Le Loc'h, 2004. Structure, fonctionnement, évolution des communautés benthiques des fonds meubles exploités du plateau continental Nord Gascogne. **Thèse Univ., IUEM/UBO, Brest**.
- Méhault S., Morandeau F., Kopp D., 2015. Discarded *Nephrops* survival after trawling in the Bay of Biscay.
- Trenkel V., Le Loc'h F., Rochet M.-J., 2007. Small-scale spatial and temporal interactions among benthic crustaceans and one fish species in the Bay of Biscay. **Mar. Biol. (2007)**, 2207-2215.

ANNEXE I. Indices d'abondance des langoustines. Investigation des incertitudes.

Notations :

i = sexe [i=m,f]

h = strate [h=1,...,ns] (dans notre cas : ns=5)

j = station dans la strate h [j=1, ..., n_h]

S_h = surface totale de la strate h

S_{jh} = surface balayée de la station j, strate h

C_{ijh} = ratio captures/mesures pour le sexe i, station j, strate h (calculé selon le ratio de poids capturé/sous-échantillonné pour les mensurations)

X_{iljh} = effectif mesuré à la taille l [l=l_{min}, ..., l_{max}] pour le sexe i, station j, strate h

Y_i = indice d'abondance par sexe i toutes strates et classes de taille confondues

Y_{ih} = indice d'abondance par sexe i et strate h toutes tailles confondues

Y_{ilh} = indice d'abondance par sexe i, strate h, classe de taille

Indice d'abondance :

Pour le sexe i, l'indice d'abondance par sexe, désigné par Y_i, est donné par :

$$Y_i = \sum_{h=1}^{ns} Y_{ih} = \sum_{h=1}^{ns} \sum_{l=l_{\min}}^{l_{\max}} Y_{ilh} = \sum_{h=1}^{ns} S_h \cdot \frac{\sum_{l=l_{\min}}^{l_{\max}} \sum_{j=1}^{n_h} X_{iljh} \cdot C_{ijh}}{\sum_{j=1}^{n_h} S_{jh}}$$

Variances/covariances :

La variance de l'indice global par sexe, V[Y_i], est calculée selon :

$$V[Y_i] = \sum_{h=1}^{ns} V[Y_{ih}] = \sum_{h=1}^{ns} \left(\sum_{l=l_{\min}}^{l_{\max}} V[Y_{ilh}] + 2 \cdot \sum_{l=l_{\min}}^{l_{\max}-1} \sum_{m=l+1}^{l_{\max}} \text{Cov}[Y_{ilh}, Y_{imh}] \right)$$

avec :

$$\begin{aligned} \text{Cov}[Y_{ilh}, Y_{imh}] &= \left(\frac{S_h}{\sum_{j=1}^{n_h} S_{jh}} \right)^2 \cdot \left(\sum_{j=1}^{n_h} V[C_{ijh}] \cdot X_{iljh} \cdot X_{imjh} + \frac{Y_{ilh} \cdot Y_{imh}}{S_h^2} \sum_{j=1}^{n_h} V[S_{jh}] \right) + \\ &\sum_{j=1}^{n_h} X_{imjh} \cdot C_{ijh} \cdot \text{Cov}[X_{iljh}, C_{ijh}] + \sum_{j=1}^{n_h} X_{iljh} \cdot C_{ijh} \cdot \text{Cov}[X_{imjh}, C_{ijh}] + \sum_{j=1}^{n_h} C_{ijh}^2 \cdot \text{Cov}[X_{iljh}, X_{imjh}] - \\ &\frac{Y_{imh}}{S_h} \sum_{j=1}^{n_h} C_{ijh} \cdot \text{Cov}[X_{iljh}, S_{jh}] - \frac{Y_{ilh}}{S_h} \sum_{j=1}^{n_h} C_{ijh} \cdot \text{Cov}[X_{imjh}, S_{jh}] - \\ &\frac{Y_{imh}}{S_h} \sum_{j=1}^{n_h} X_{iljh} \cdot \text{Cov}[C_{ijh}, S_{jh}] - \frac{Y_{ilh}}{S_h} \sum_{j=1}^{n_h} X_{imjh} \cdot \text{Cov}[C_{ijh}, S_{jh}] \end{aligned}$$

Annexe II. Indice d'abondance des galathées. Investigation des incertitudes.

Le nombre total de galathées, noté Y, est calculé selon l'équation :

$$Y = \sum_{h=1}^{ns} Y_h = \sum_{h=1}^{ns} \left[\frac{S_h}{\sum_{i=1}^{nh} S_{ih}} \right] \cdot \sum_{i=1}^{nh} X_{ih} \cdot CG_{ih} \cdot CT_{ih}$$

avec :

h = strate (h = 1, ..., ns) (dans notre étude : ns = 5) ; i = station dans la strate h (i = 1, ..., n_h) ; S_h = surface totale de la strate h ; s_{ih} = surface de l'unité d'échantillonnage correspondant à la station i dans la strate h ; X_{ih} = nombre total de galathées comptées pour la station i de la strate h ; CG_{ih} = ratio poids total de galathées capturées/poids échantillonné (1^{er} niveau d'élévation) pour la station i de la strate h ; CT_{ih} = ratio poids total /poids pesé du contenu du chalut (2^{ème} niveau d'élévation) pour la station i de la strate h

La variance de l'effectif total de galathées, V[Y], est obtenue par :

$$V[Y] = \sum_{h=1}^{ns} V[Y_h] = \sum_{h=1}^{ns} \left[\frac{S_h}{\sum_{i=1}^{nh} S_{ih}} \right]^2 n_h \cdot \left(V[X_{ih} \cdot CG_{ih} \cdot CT_{ih}] + \left[\frac{Y_h}{S_h} \right]^2 V[S_{ih}] - 2 \cdot \left[\frac{Y_h}{S_h} \right] Cov[X_{ih} \cdot CG_{ih} \cdot CT_{ih}, S_{ih}] \right)$$

où les termes des variances et covariances comportant de multiplications sont développées selon les équations fondamentales :

$$V[X \cdot Y \cdot Z] \approx Z^2 \cdot (Y^2 \cdot V[X] + X^2 \cdot V[Y] + 2 \cdot X \cdot Y \cdot Cov[X, Y]) + X^2 \cdot Y^2 \cdot V[Z] + 2 \cdot X \cdot Y \cdot Z \cdot (Y \cdot Cov[X, Z] + X \cdot Cov[Y, Z])$$

$$Cov[X \cdot Y \cdot Z, S] \approx X \cdot Y \cdot Cov[Z, S] + X \cdot Z \cdot Cov[Y, S] + Y \cdot Z \cdot Cov[X, S]$$

étant donné que :

$$Cov[X_1 \cdot Y_1, X_2 \cdot Y_2] \approx Y_1 \cdot Y_2 \cdot Cov[X_1, X_2] + Y_1 \cdot X_2 \cdot Cov[X_1, Y_2] + X_1 \cdot Y_2 \cdot Cov[Y_1, X_2] + X_1 \cdot X_2 \cdot Cov[Y_1, Y_2]$$