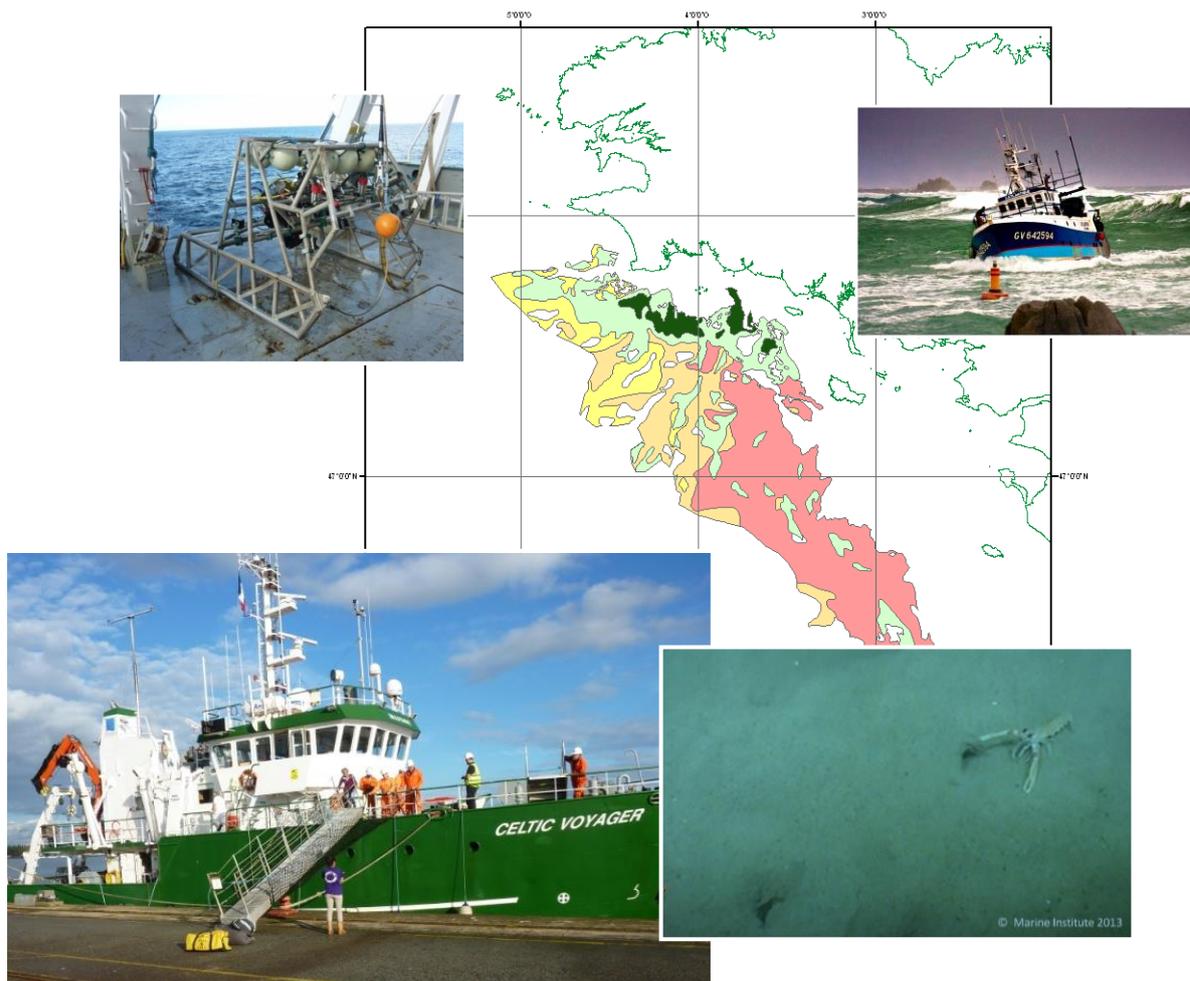


Bilan des campagnes expérimentales 2014-2015 d'évaluation du stock de langoustines du Golfe de Gascogne par vidéo sous-marine

Programme expérimental LANGOLF-TV

- Version 2 -



Spyros FIFAS¹, Mathieu WOILLEZ¹, Michèle SALAUN², Lucile TOULHOAT³.

¹ Ifremer, Centre de Bretagne, Brest ² Ifremer, Station de Lorient, ³ CNPMM, Paris.

Avec le soutien financier de :



Crédits photos : CDPMM 29, Marine Institute, Ifremer, P. STEPHAN.

Nota bene – Version 2 :

Par rapport à la première version, cette seconde version apporte quelques précisions à la partie 3.6 intitulée « Explorations géostatistiques ».

A noter que ces modifications ne remettent nullement en cause les conclusions générales du rapport qui figuraient dans la première version du rapport final LANGOLF-TV 2014-2015.

SOMMAIRE

1. Introduction : contexte et objectifs de l'étude.....	2
2. Matériels et méthodes.....	6
2.1. Zone d'étude.....	6
2.2 Plan d'échantillonnage.....	7
2.2.1. Chalutage.....	7
2.2.2. Vidéo.....	8
2.3. Matériel à disposition.....	8
2.3.1. Chalutage.....	8
2.3.2. Vidéo.....	10
3. Résultats.....	16
3.1. Dates des campagnes.....	16
3.2. Résultats historiques (LANGOLF "Gwen Drez" 2006-2013).....	17
3.2.1. Langoustine.....	17
3.2.2. Autres espèces majeures.....	19
3.3. Chalutage (2014-2015).....	23
3.3.1. Langoustine.....	23
3.3.2. Galathée.....	25
3.4. Vidéo 2014-2015 : conditions d'acquisition des données et sources de biais.....	26
3.5. Elévations classiques vidéo (2014-2015).....	31
3.6. Explorations géostatistiques.....	33
3.6.1. Variographie des données de densité de langoustine.....	33
3.6.2. Variographie simple et croisée des densités de langoustine et des densités de terrier de langoustine.....	36
3.6.3. Variographie simple des densités de terrier de langoustine.....	37
3.7. La relation langoustine-galathée.....	40
4. Discussion et perspectives.....	42
4.1. Volet scientifique.....	42
4.2. Volet technique et financier.....	44
5. Bilan opérationnel.....	47
5.1. Environnement.....	47
5.2. Formation lecteurs.....	47
6. Préconisation à court terme.....	47
6.1. Allongement de la campagne.....	47
6.2. Lecture automatisée des vidéos.....	47
6.3. Création d'une vidéothèque de référence.....	48
6.4. Amélioration des connaissances.....	49
7. Utilisation des données.....	49
Bibliographie :.....	50
ANNEXE I. Indices d'abondance LANGOLF. Investigation des incertitudes.....	51
ANNEXE II : Signatures de langoustine.....	52

1. Introduction : contexte et objectifs de l'étude.

La langoustine - *Nephrops norvegicus* - 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 2003-2014). 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 flottille, mais aussi Pays de la Loire et Poitou-Charentes ; fig. 1). 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 de merlu).

Année	Débarquements					Rejets		Captures	
	FU 23-24	FU 23	FU 24	Non alloué	Total VIIIa,b	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	

L'exploitation du stock de la "grande vasière" fait l'objet d'un suivi scientifique permanent. Un diagnostic annuel suivi de recommandations pour une gestion durable est réalisé sous l'égide du CIEM au sein du groupe de travail dédié aux stocks de cette écorégion¹. L'exploitation est encadrée notamment par un TAC communautaire instauré en 1987 ; le quota français représente la quasi-totalité de la quantité totale allouée (96 % environ). L'expertise scientifique a été pendant longtemps établie sur la base du suivi des captures commerciales de l'espèce sous criée (structures en tailles par sexe avec extrapolations basées sur le système national des statistiques des pêches). Néanmoins, 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 2 : 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 (taille minimale de référence de conservation : longueur totale 85 mm – longueur

¹ Groupe de travail WGNEPH jusqu'à 2004, puis WGHMM sur la période 2005-2013 et WGBIE depuis 2014.

céphalothorax 25 mm) 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.

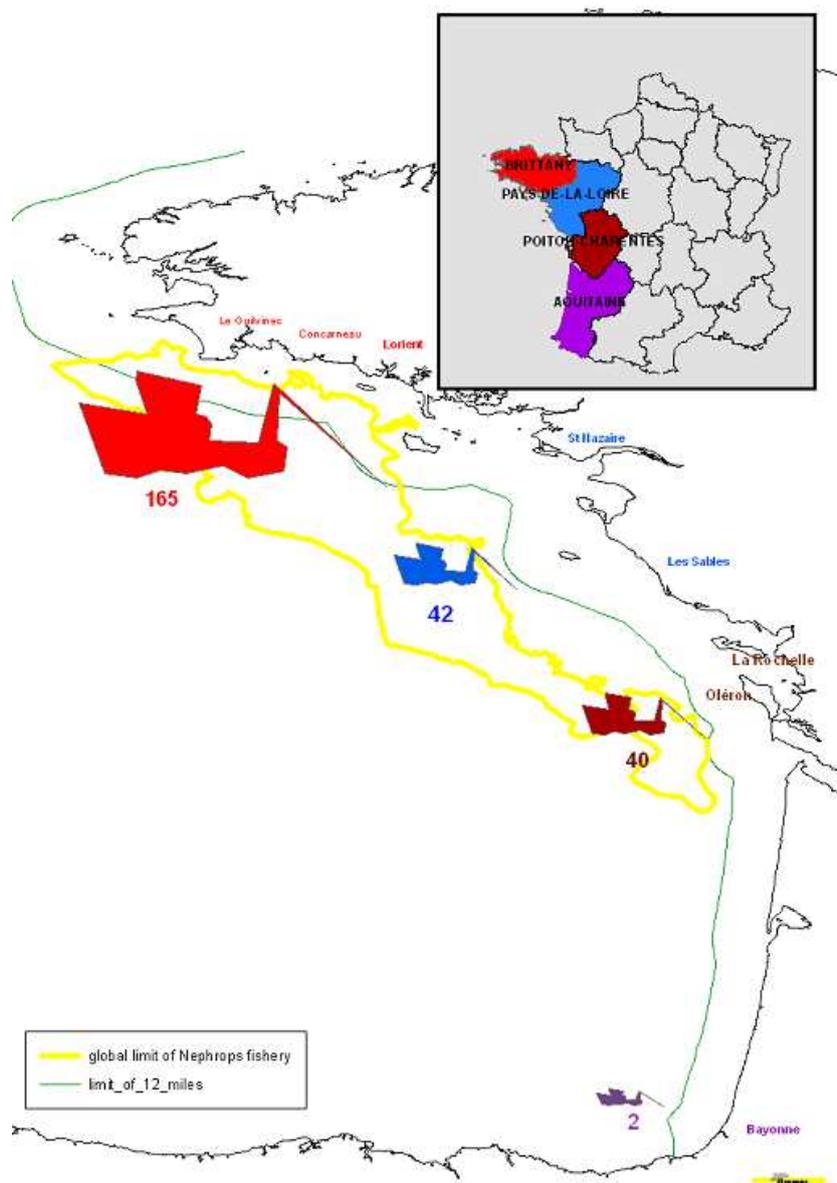


Figure 1. La pêche de langoustines du golfe de Gascogne. Répartition de la flotte par région (effectifs de navires sur l'année 2004 ; actuellement la flotte est composée de 175 navires titulaires de la licence ; la proportion entre effectifs régionaux n'a guère changé).

Tableau 2. Langoustine du golfe de Gascogne (VIIIa,b). Rejets et débarquements (10^3 animaux) obtenus par échantillonnage à bord des navires professionnels.

<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

Le suivi annuel depuis plus de dix ans combinant échantillonnage en criée et à bord des navires professionnels a amélioré la précision à court terme des diagnostics sur la pêcherie par une estimation plus fiable des rejets de pêche. Des analyses ont été menées sur les paramètres explicatifs du tri manuel à bord afin de valider les extrapolations interannuelles et d'obtenir des indices de recrutement non biaisés (Fifas et *al.*, 2006 ; anon, 2007a). Néanmoins, l'absence d'une série temporelle d'indices d'abondance indépendante de la pêche commerciale constituait un handicap pour l'évaluation analytique du stock.

Pour y remédier, une campagne nommée LANGOLF a été mise en place à partir de 2006² (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) singulier.

Cette campagne a 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".

Jusqu'à présent, l'évaluation du stock de langoustine du golfe de Gascogne s'est basée 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'ont jusqu'alors pas permis d'aboutir à des

² En réalité, la campagne dédiée à l'évaluation des langoustines se nommait ORHAGO-printemps (cf. ORHAGO-automne portant sur l'évaluation du stock de soles) en 2006, puis LANGOLF au cours des années 2007-2013.

projections de captures validées par le CIEM, seules les tendances fournies par le modèle en âges étant retenues. Jusqu'à présent, l'évaluation analytique du stock a été biennale (années paires).

Dans un contexte de restriction budgétaire, l'Ifremer a mis un terme à la campagne LANGOLF en 2014, entraînant la perte d'une source d'information indépendante sur l'état du stock de langoustine du golfe de Gascogne.

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 est en effet couramment utilisée par plusieurs Etats membres (Irlande, Royaume-Uni... pour de plus amples détails : anon, 2007b, 2008, 2009, 2010 2012) pour leurs stocks de langoustine respectifs et permet d'aboutir à des évaluations quantitatives validées. Elle consiste à estimer l'abondance des langoustines par dénombrement de leurs terriers sur le fond. Sur le stock de langoustines du golfe de Gascogne, la méthode a déjà été employée à titre exploratoire par le passé (Trenkel et al, 2007).

Ainsi, le programme "LANFOLF-TV" a été monté sous l'égide du CNPMEM en partenariat avec l'Ifremer, avec un co-financement de l'association France Filière Pêche (FFP)³ et de la Direction des pêches maritimes et de l'aquaculture (DPMA) du Ministère de l'écologie.

Ce programme a consisté à étudier sur une période de deux années (2014-2015) 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 années exploratoires, les opérations vidéo étaient 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 les galathées, essentiellement l'espèce *Munida sp.*) pouvant éventuellement biaiser les résultats acquis par comptage des terriers.

Le CNPMEM 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.

³ 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.

2. Matériels et méthodes.

2.1. Zone d'étude.

La zone d'étude appelée "Grande Vasière" d'une superficie avoisinant les 11 680 km² est décrite par les travaux de Bourillet et *al.* (2005), Dubrulle et *al.* (2005) ; 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). 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. 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 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 (Figure 2).

- | | |
|-----------------------------|------------------|
| (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) |

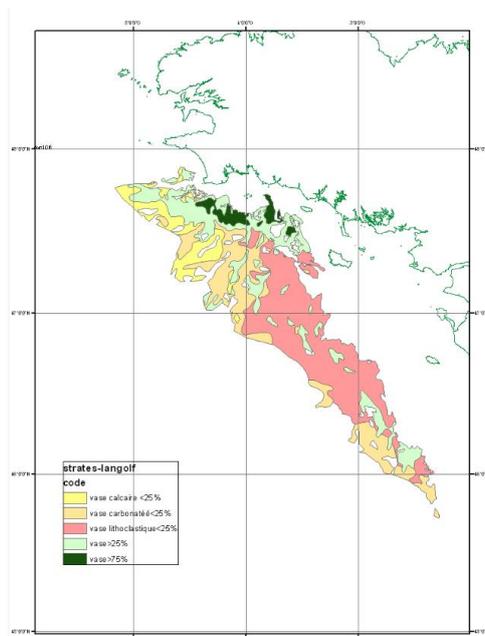


Figure 2. Les cinq strates sédimentaires de la "Grande Vasière".

2.2 Plan d'échantillonnage.

2.2.1. Chalutage.

Au cours des années 2006-2013 (LANGOLF "Gwen Drez"), le plan d'échantillonnage appliqué comportait 68 à 82 stations de chalutage d'une durée de 30 minutes (nombre de stations variable en fonction des conditions météorologiques). Le plan était aléatoire stratifié avec une allocation proportionnelle à un ratio prenant en compte : (1) la surface de chaque strate et (2) un indice relatif à la concentration des navires de pêche: cet indice était obtenu grâce aux observations à bord des navires professionnels en considérant que celles-ci (151 marées échantillonnées sur trois ans, soit 373 traits de chalut sur les années 2003-2005 ; 488 marées et 1402 traits de chalut sur la période 2003-2014 ; anon, 2015) permettaient d'obtenir un estimateur sans biais de la répartition réelle de l'effort de pêche total.

Tableau 3. Répartition (en %) de l'effort de pêche de la flottille langoustinière par strate sédimentaire et par quartier maritime d'origine (GV=Le Guilvinec ; CC+LO=Concarneau & Lorient ; Sud=Le Croisic, Les Sables d'Olonne, La Cotinière).

Strate	Libellé	GV	CC+LO	Sud	total
1	vase > 75%	4,43	4,89	2,80	12,12
2	vase > 25%	18,90	26,09	9,09	54,08
3	vase calcaire < 25%	9,10	0,00	0,00	9,10
4	vase lithoclastique < 25%	0,00	11,42	8,39	19,80
5	vase carbonaté < 25%	3,50	0,00	1,40	4,90
		35,93	42,40	21,67	100,00

Tableau 4. Surfaces (en km²) des strates sédimentaires de la "grande vasière". Type d'allocation en fonction de la surface (poids_surf) et de la répartition de l'effort de pêche (poids_eff) de la flottille commerciale. Nombre de stations de chalutage (N) par strate.

Strate	Libellé	Surface	poids_surf	poids_eff	poids_comb (sur 50)	N
1	Vase > 75%	633,1003	0,0542	0,1212	0,0877	4
2	Vase > 25%	2691,5138	0,2305	0,5408	0,3856	19
3	Vase calcaire < 25%	1152,8603	0,0987	0,0910	0,0949	5
4	Vase lithoclastique < 25%	4663,6355	0,3994	0,1980	0,2987	15
5	Vase carbonatée < 25%	2535,6100	0,2172	0,0490	0,1331	7
Nombre effectif de stations :						
2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
71	68	82	70	76	69	74
						2013
						68

L'examen du tableau 4 montre que 28% de la superficie de la "Grande Vasière" (strates VV, VS) concentrent 66% de la pression de pêche et est indicatif de la forte hétérogénéité de la zone.

Les objectifs spécifiques de cette campagne étaient :

- (i) L'estimation d'un indice d'abondance du stock de langoustines, structuré en tailles (longueur céphalothoracique) par sexe ;
- (ii) L'observation macroscopique des stades de maturité sexuelle des femelles ;
- (iii) La distribution spatiale par unité sédimentaire de la population ;
- (iv) L'estimation des indices d'abondances des espèces associées aux captures expérimentales (notamment merlu, galathée), le prélèvement de pièces calcifiées pour la détermination de l'âge (espèces à intérêt commercial dont la dynamique est suivie) ;
- (v) Les prélèvements sédimentaires par strate.

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 ; fig. 3a). 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 (cf. plus amples détails par la suite) : 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 (cf. tableau 4).

2.2.2.Vidéo.

Conformément à l'usage en routine de cet outil pour l'évaluation des stocks de langoustines notamment britanniques ou irlandais (anon, 2009), le plan d'échantillonnage adopté en 2014 et 2015 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. 3b).

2.3. Matériel à disposition.

2.3.1. Chalutage.

Navires :

Lors de la campagne 2014, deux chalutiers étaient engagés : "L'Atlantique" du Guilvinec (LHT⁴ de 16,60 m) et le "Sanaga" de Concarneau (LHT de 14,90 m) tandis

⁴ Longueur Hors-Tout

qu'en 2015 le second navire a été remplacé par "La Pastenague" de l'Ile d'Oléron (LHT de 13 m).

Engin de pêche :

L'engin de pêche employé lors des campagnes LANGOLF 2006-2013 à bord du "Gwen Drez" était constitué de chaluts jumeaux (deux chaluts reliés par leurs pointes d'ailer 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" (largeur de 15 m à bord du "Gwen Drez") et "pointes d'ailer" 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.

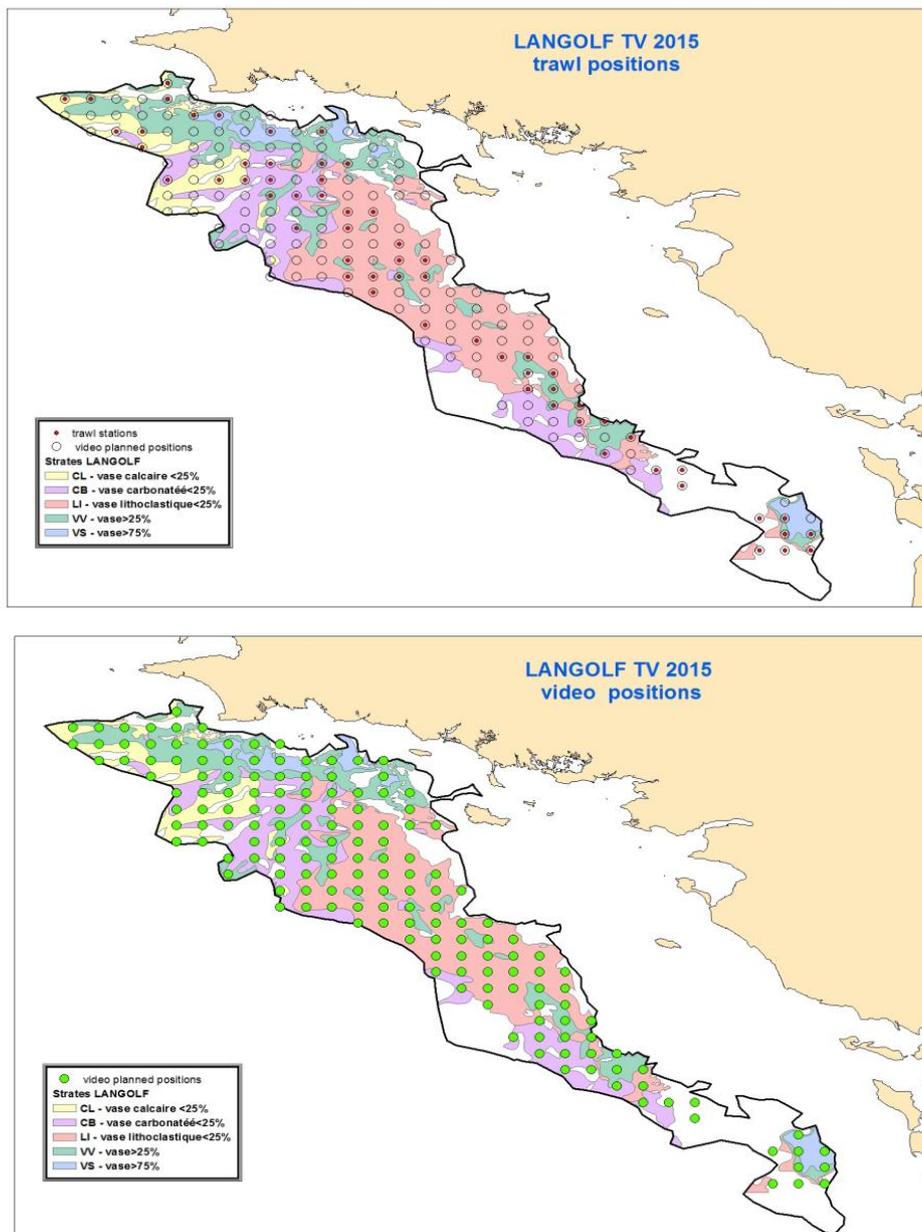


Figure 3. Répartition spatiale des stations initialement programmées lors de la campagne 2015 (a) chalutage (b) vidéo.

Les navires participant aux travaux en 2014 et 2015 étaient également équipés de chaluts jumeaux auxquels était ajoutée une chaussette de 20 mm de façon à obtenir les mêmes caractéristiques sélectives que les chaluts jumeaux du "Gwen Drez". Les paramètres originels des chaluts des trois navires sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5. Caractéristiques des chaluts équipant les navires associés aux travaux 2014 et 2015.

chaluts jumeaux	L'Atlantique	Sanaga	Pastenague
longueur cumulée corde de dos	16 m	15,40 m	20 m
longueur du bourrelet	21 m	20,80 m	26 m
type de bourrelet	Diabolos	Diabolos	Double bourrelet
ouverture verticale	0,80 m	1 m	
forme de la tête	Droite	Droite	Droite
longueur des bras	23 m	50 m	40 m
longueur des entremises	50 m		50 m
type de panneaux	PVF Morgère 1,20 m 235kgs		Morgère 1,40 m 300kgs
dispositif sélectif	maille carrée merlu	maille carrée merlu	maille carrée merlu
dispositif sélectif (2)	maillage de cul 80 mm		maille carrée langoustine

2.3.2. Vidéo.

Navires :

En 2014 le "Celtic Voyager" a assuré la réalisation de la campagne, mais en 2015, à la suite d'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.

Equipements d'acquisition des 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 : (1) de 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.

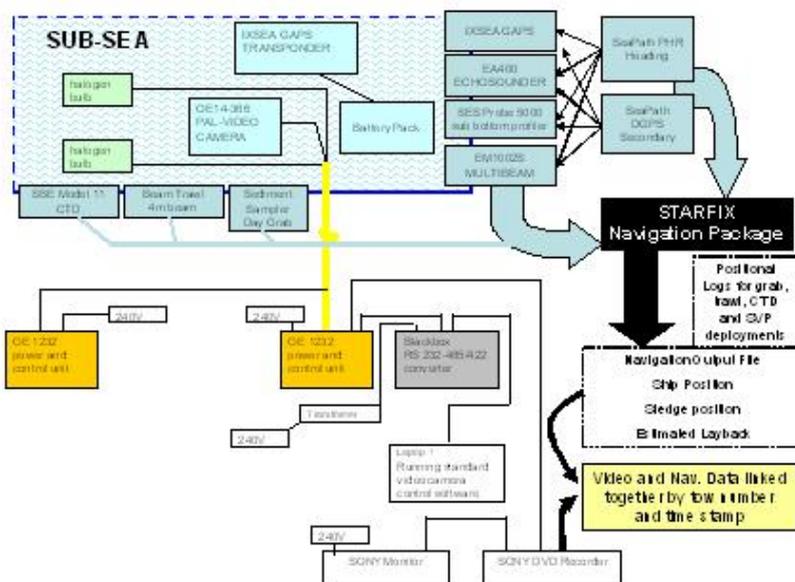
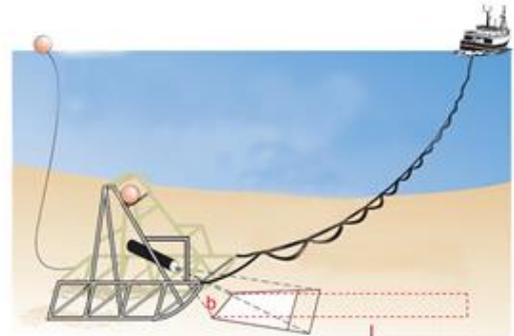


Figure 4. Représentation schématique du traîneau, de sa traction sur le fond et du mécanisme d'acquisition des données à bord. *Source : Marine Institute.*

Début de campagne : entraînement au comptage fiable des terriers.

Selon les recommandations du SGNEPS (ICES 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 périéiopodes (cf. exemples de signatures en Annexe II) (Marrs et al., 1996). La règle de base est la suivante : "en cas de 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 termes de densité). Les vidéos projetées 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. 5) 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 lecteur numéro 8 ont été systématiquement reprises par deux autres lecteurs, le lecteur 9 a uniquement fait le test de lecture mais n'a pas fait de comptage.

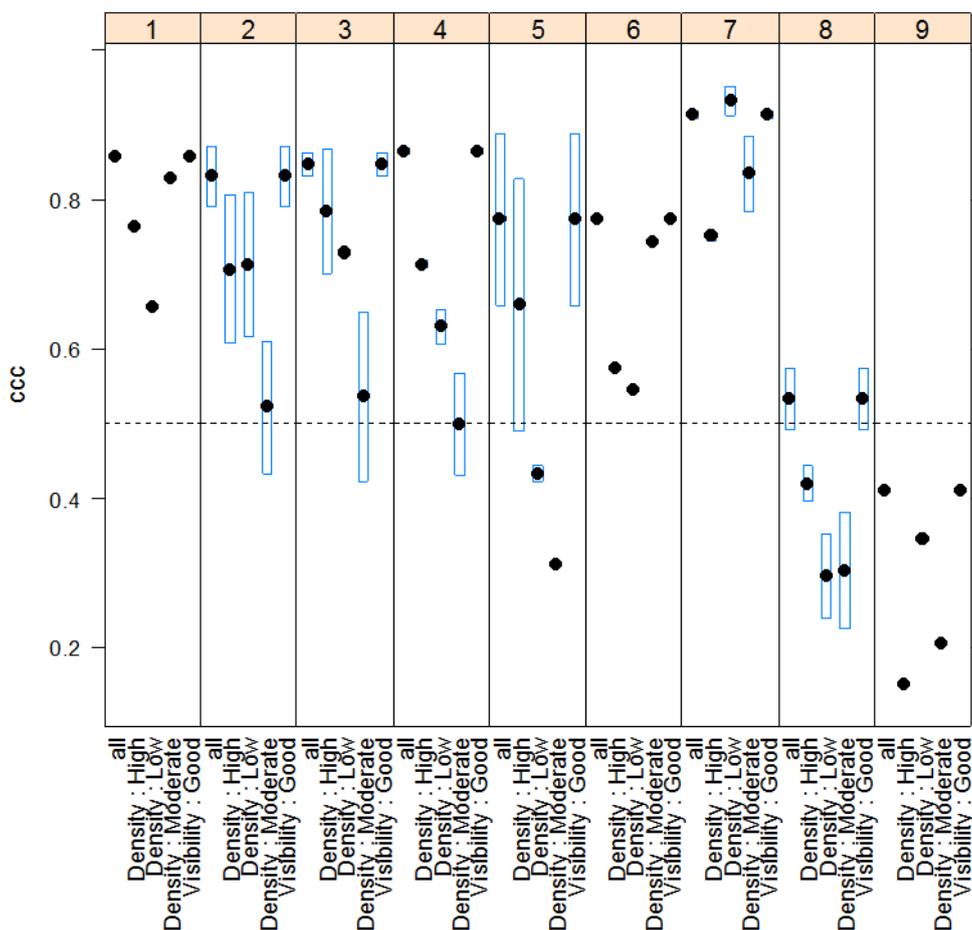


Figure 5a. Test de conformité de lecture des images vidéo. Année 2014

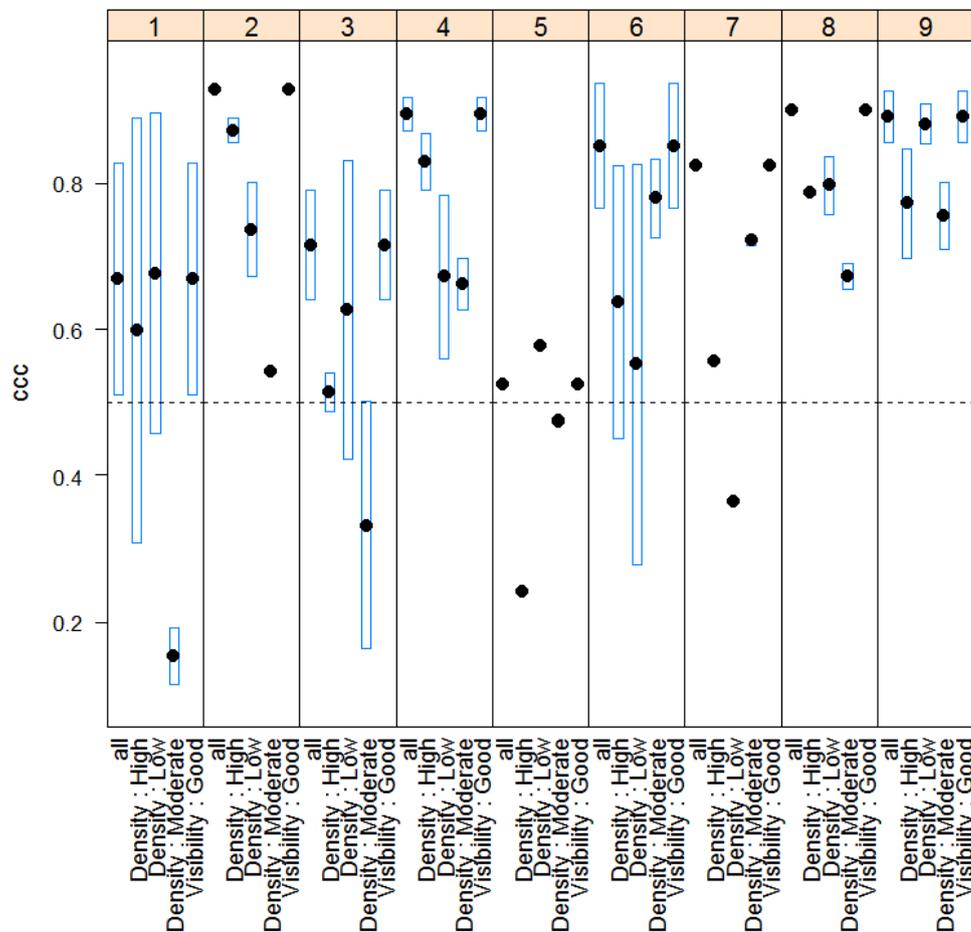


Figure 5b. Test de conformité de lecture des images vidéo. 2015.

L'acquisition des images nécessite l'usage préalable du sondeur multifaisceaux afin de déterminer nature du fond et pouvoir 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. Pour qu'un transect soit pris en considération, 7 minutes doivent être obligatoirement validées. Une minute validée est définie comme une minute avec au minimum 30 secondes de bonne lisibilité. 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, 2007b), 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 (en 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 de crustacés (Goneplax, Coelocaris) ou de poissons (gobiidés, cépoles) sont aptes à construire des terriers et l'on peut, en outre, évoquer des espèces aptes à habiter des terriers créés par les langoustines (les 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, 2007b) 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.

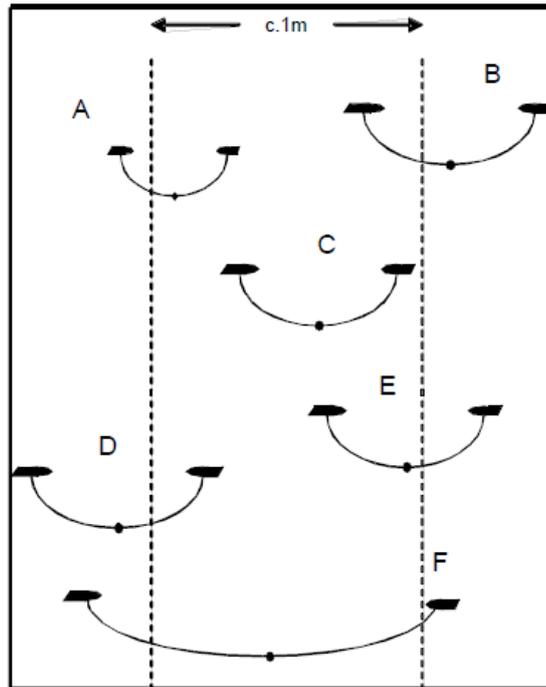


Figure 6. Illustration graphique de la méthode de "two pass counting" pour l'estimation du coefficient correctif de l'effet de bord ("edge effect").

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 6 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 6 : 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 (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.

3. Résultats.

3.1. Dates des campagnes.

Les campagnes se sont déroulées sur des périodes de 14 jours effectifs de travail en mer en ce qui concerne LANGOLF ("Gwen Drez" 2006-2013), puis sur 10 jours effectifs pour les opérations LANGOLF-TV 2014-2015 (voir détails dans le tableau 6). Au cours des années 2006-2013, l'équipe scientifique était constituée de 4 personnes embarquées, tandis qu'en 2014 et 2015 6 scientifiques étaient simultanément embarqués pour la partie vidéo et un seul par navire professionnel (spectre interspécifique échantillonné réduit aux seules langoustines et galathées).

Tableau 6. Calendrier des campagnes langoustines (LANGOLF "Gwen Drez" 2006-2013, LANGOLF-TV 2014-2015).

<i>Année</i>	<i>Navires+durée effective</i>	<i>Dates</i>
2006		7-23/04
2007		8-24/05
2008		16/05-5/06
2009		13-29/05
2010	Gwen Drez (14 jours)	14-31/05
2011		17-30/05
2012		3-19/05
2013		4-20/05
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) ⁵	20-29/07

⁵ En 2015, perte de 2 jours due aux mauvaises conditions météorologiques.

3.2. Résultats historiques (LANGOLF "Gwen Drez" 2006-2013).

3.2.1. Langoustine.

3.2.1.1. Effectifs totaux et distributions de fréquence des tailles.

Les effectifs et les distributions de fréquence des tailles (longueur céphalothoracique) par sexe toutes strates confondues sont présentés dans le tableau 7 et la figure 7. La figure 8 résume quant à elle les éléments principaux fournis par cette campagne et qui sont utilisés pour les évaluations CIEM.

Tableau 7. Indices d'abondance (effectifs en milliers) et incertitudes (CV, en %) de langoustines. Campagnes LANGOLF "Gwen Drez" 2006-2013 (cf. annexe I)

année	mâles		femelles		2 sexes	
	effectif (10 ³)	CV	effectif (10 ³)	CV	effectif (10 ³)	CV
2006	30829	15.97	32159	16.89	62979	16.24
2007	69001	17.99	82381	17.37	151378	17.29
2008	49086	19.07	67859	22.88	116304	20.58
2009	43254	12.35	50791	12.85	94039	12.43
2010	67038	14.54	83876	14.52	150920	14.18
2011	66989	32.90	81614	32.71	148590	32.44
2012	94056	14.48	127938	14.35	221903	14.09
2013	41837	19.75	52507	20.34	94353	19.62

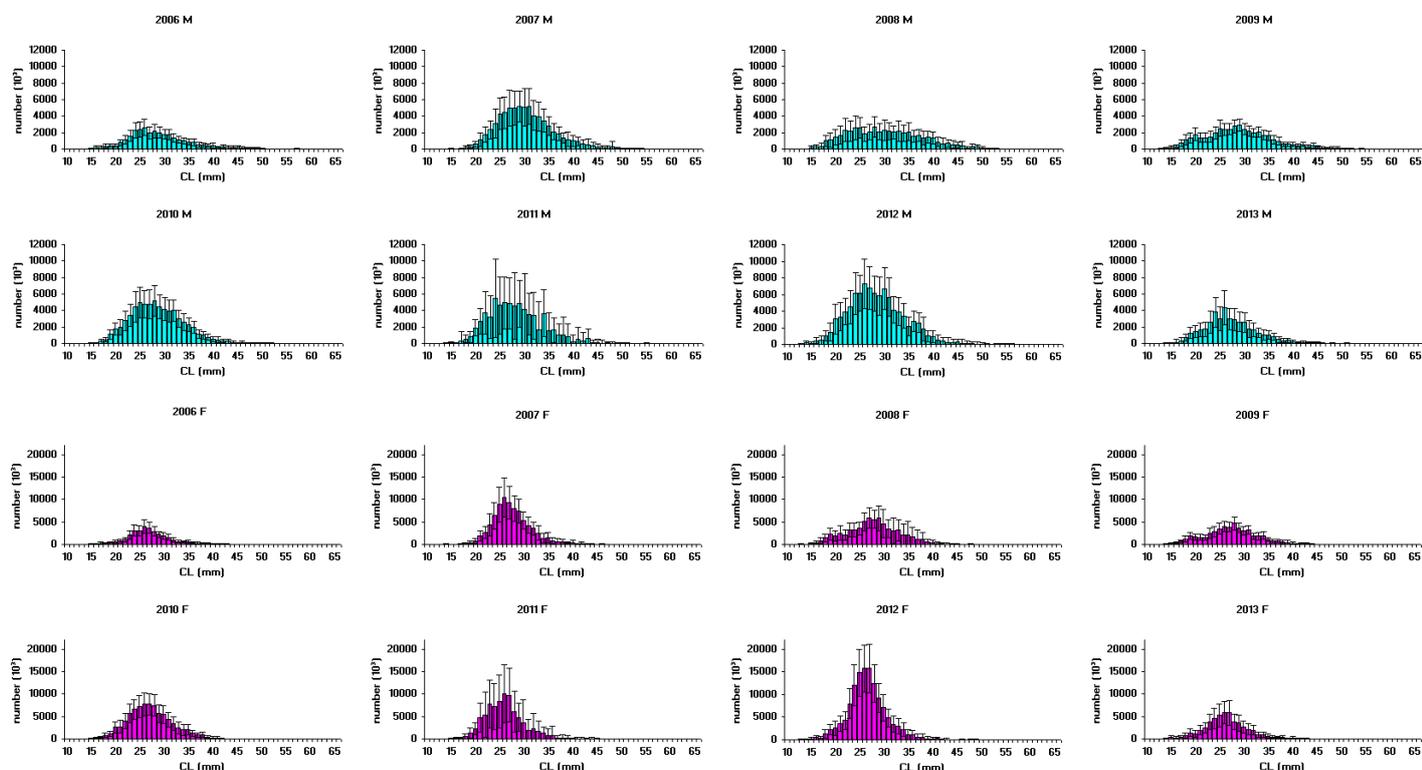


Figure 7. Distributions de fréquence des tailles (longueur céphalothoracique, CL, mm) par sexe et par année. Campagne LANGOLF "Gwen Drez" 2006-2013.

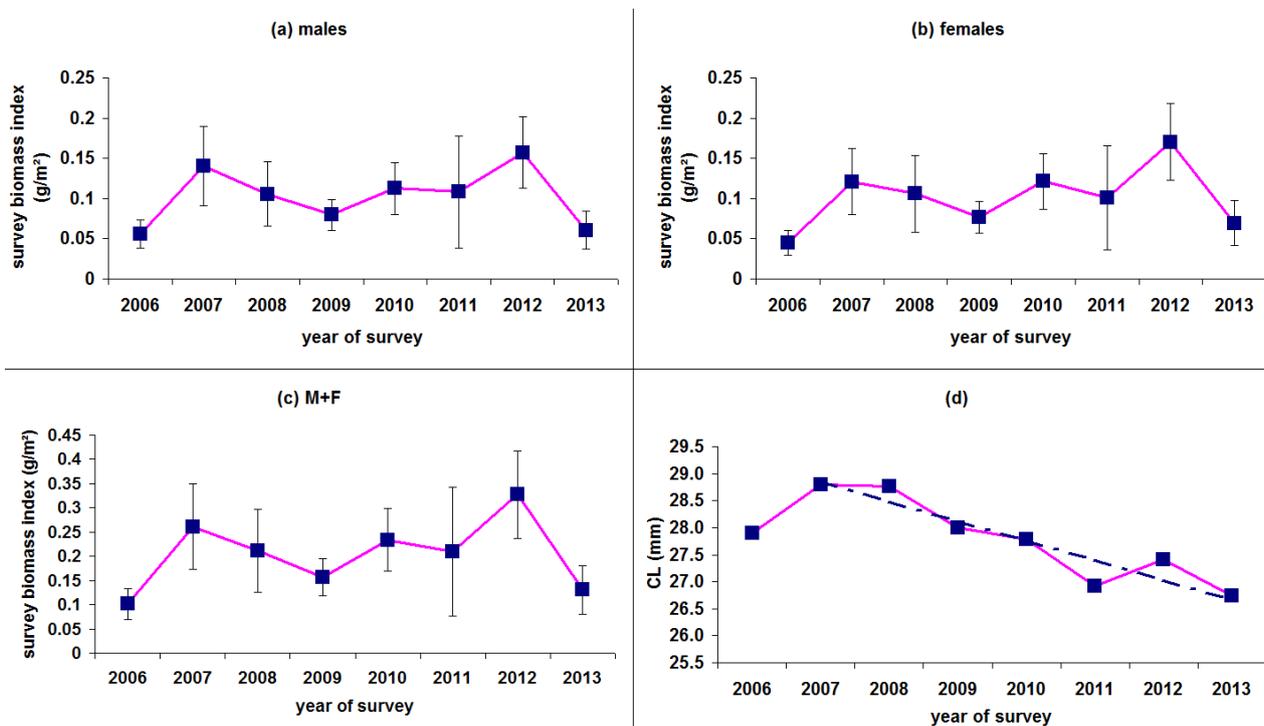


Figure 8. Indices LANGOLF "Gwen Drez" en biomasse à l'unité de surface (a) mâles (b) femelles (c) sexes combinés (d) évolution de la taille moyenne (CL, mm) 2 sexes confondus.

Exception faite de l'année 2011 (problème lié au gréement des chaluts jumeaux employés), les incertitudes sont contenues à des niveaux acceptables (~15-20%).

Les indices d'abondance 2006 semblent d'un niveau inférieur à ceux des années suivantes alors qu'une telle tendance n'a pas été vérifiée dans l'évolution récente du stock : les dates précoces (avril au lieu de mai) imposées pour cette première campagne (demande de réservation du navire tardive) singularisent cette année (individus capturés avant la mue printanière, femelles davantage dans les terriers).

En 2009, aussi bien pour les mâles que pour femelles, une proportion significative des captures a une CL proche de 20 mm : cela s'explique vraisemblablement par un niveau relativement élevé de recrutement et se traduit par une hausse des apports débarqués au cours des années 2010 et 2011.

Les indices obtenus en 2012 sont les plus élevés de toute la série, toutefois ces résultats paraissent peu vraisemblables au regard du niveau des apports et des rendements de la pêche professionnelle. Ils n'ont pas été pris en compte lors de l'évaluation analytique du stock par le CIEM.

L'examen de l'évolution des tailles moyennes sur la période de réalisation de ces campagnes est révélateur : si on ne tient pas compte de l'année 2006 pour les raisons évoquées précédemment, on est en présence d'une décroissance continue des tailles moyennes et ceci pourrait constituer un signal négatif pour le stock.

3.2.1.2. Hétérogénéité spatiale de la "Grande Vasière".

Des tests Friedman (ANOVA non paramétrique à deux voies de classification), menés sur les données 2006-2013, ont démontré la prépondérance du facteur "strate" par rapport au facteur "année" explicable par les affinités sédimentaires spécifiques de la langoustine.

Dans ce paragraphe on se contentera d'une illustration démontrant les fortes différences en termes de structures en taille entre le nord et le sud de la pêcherie. Pour cela on a procédé, sur les données 2006-2013, à une post-stratification de la "Grande Vasière" de manière à séparer la partie Nord concentrant l'essentiel de l'activité de pêche sur la totalité de l'année (principalement des ports de pêche bretons) de la partie Sud davantage caractérisée par une activité nettement saisonnière (notamment 2^{ème} trimestre) vis-à-vis de la langoustine. Nous avons placé artificiellement la limite entre ces deux "sous-stocks" au niveau de la latitude 46°30' (limite la plus méridionale de l'expansion de la flottille lorientaise ciblant la langoustine). Les résultats exprimés en fréquence relative (%) par "sous-stock" sont présentés dans la figure 9.

Ces éléments montrent la présence de tailles plus grandes dans la partie Sud de la pêcherie. On ne saurait interpréter ce résultat comme l'effet d'une pression de pêche moindre du fait de la saisonnalité de l'activité dans la partie Sud ou comme celui d'une étendue moindre des strates à vase compacte (VS, VV) dans la partie Sud, ces dernières se caractérisant par un spectre de tailles plus petites.

3.2.2. Autres espèces majeures.

Merlu :

En termes d'occurrences sur l'ensemble des huit années, le merlu est la première espèce dans les captures expérimentales : aucun effectif nul dans les traits réalisés n'a été recensé sur huit ans de campagne ce qui n'était pas même le cas pour la langoustine. Contrairement à la langoustine, l'effet "année" s'avère plus significatif que l'effet "strate". LANGOLF "Gwen Drez" peut constituer une série complémentaire précieuse en tant que flottille de calibration ("tuning") pour l'évaluation du stock du merlu nord. Il s'agit de la seule série printanière disponible pour ce stock, en outre, les groupes modaux qui appartiennent vraisemblablement aux groupes d'âge 0 et 1 méritent une analyse approfondie : l'abondance élevée du groupe 0 sur certaines années se traduirait probablement par une croissance individuelle plus forte pour le groupe 1, du fait du cannibalisme (fig. 10).

Un autre élément intéressant réside dans les corrélations spatialisées entre langoustine et merlu : la corrélation est positive à la périphérie de la "Grande Vasière" sur les strates à sédiment globalement moins envasé et négative sur les fonds à vase plus compacte (e.g. strate VS). Il pourrait s'agir d'un effet d'une pression de pêche affaiblie à la périphérie (zones délaissées progressivement en raison des contraintes liées au prix de gasoil), cependant il ne faut pas perdre de vue que les petits merlus (< 20 cm) sont en interférence forte avec le sédiment (compétition alimentaire avec la langoustine) alors que les plus grands individus, davantage recensés sur les strates à vase compacte, sont des prédateurs de la langoustine. Il serait judicieux d'éclaircir ce point.

Baudroies :

Plusieurs groupes modaux dont on arrive à suivre la progression d'année en année sont mis en évidence par les données de la campagne LANGOLF "Gwen Drez" sur ces deux espèces (sans évaluation analytique depuis 2006 pour les stocks des aires CIEM VII/VIII alors qu'elles occupent la 2^{ème} place en valeur débarquée pour les flottilles françaises opérant au golfe de Gascogne) (fig. 11).

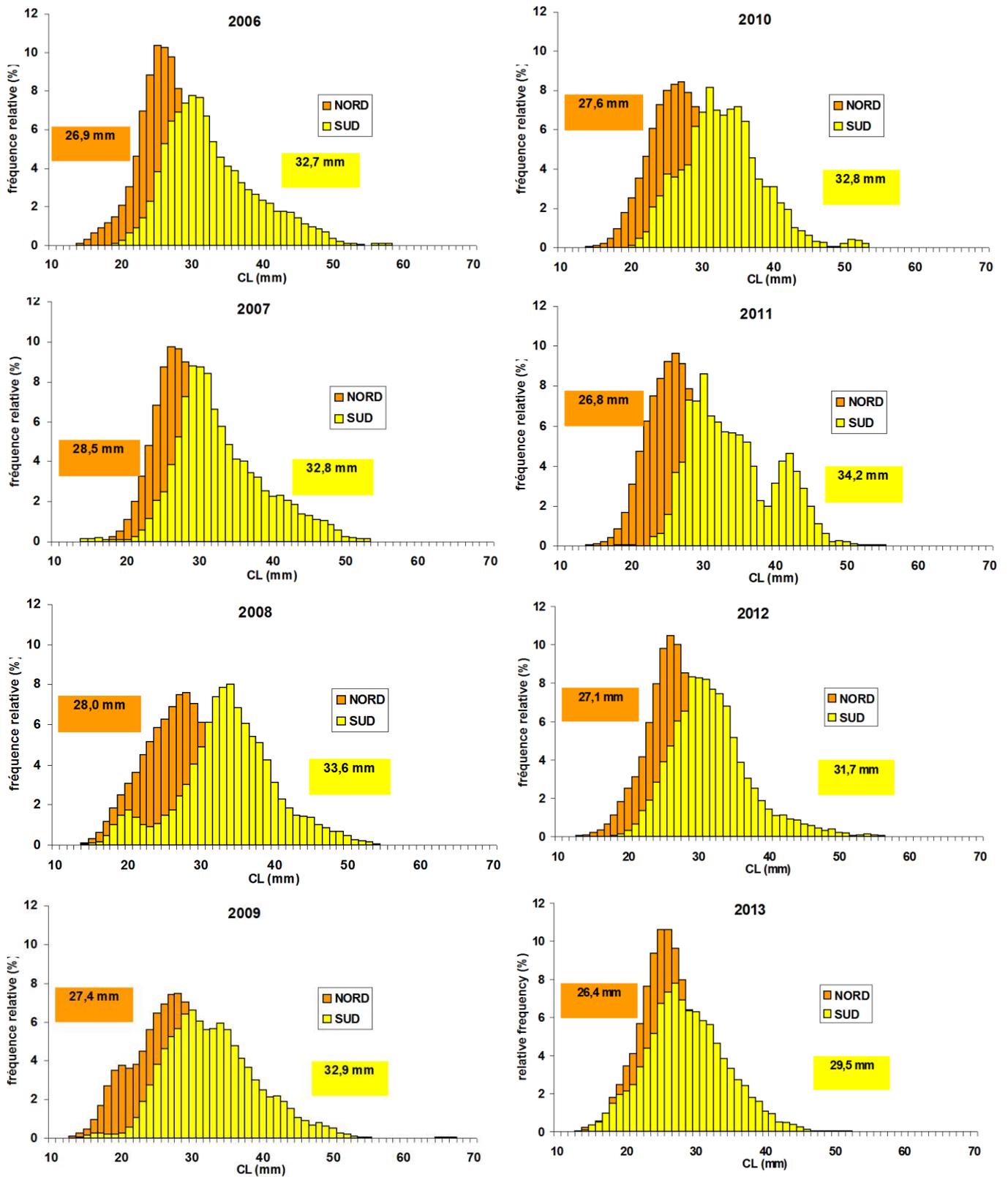


Figure 9. LANGOLF "Gwen Drez". Distributions de fréquence des tailles (CL, mm) des langoustines, deux sexes confondus. Comparaison nord et sud de la "Grande Vasière".

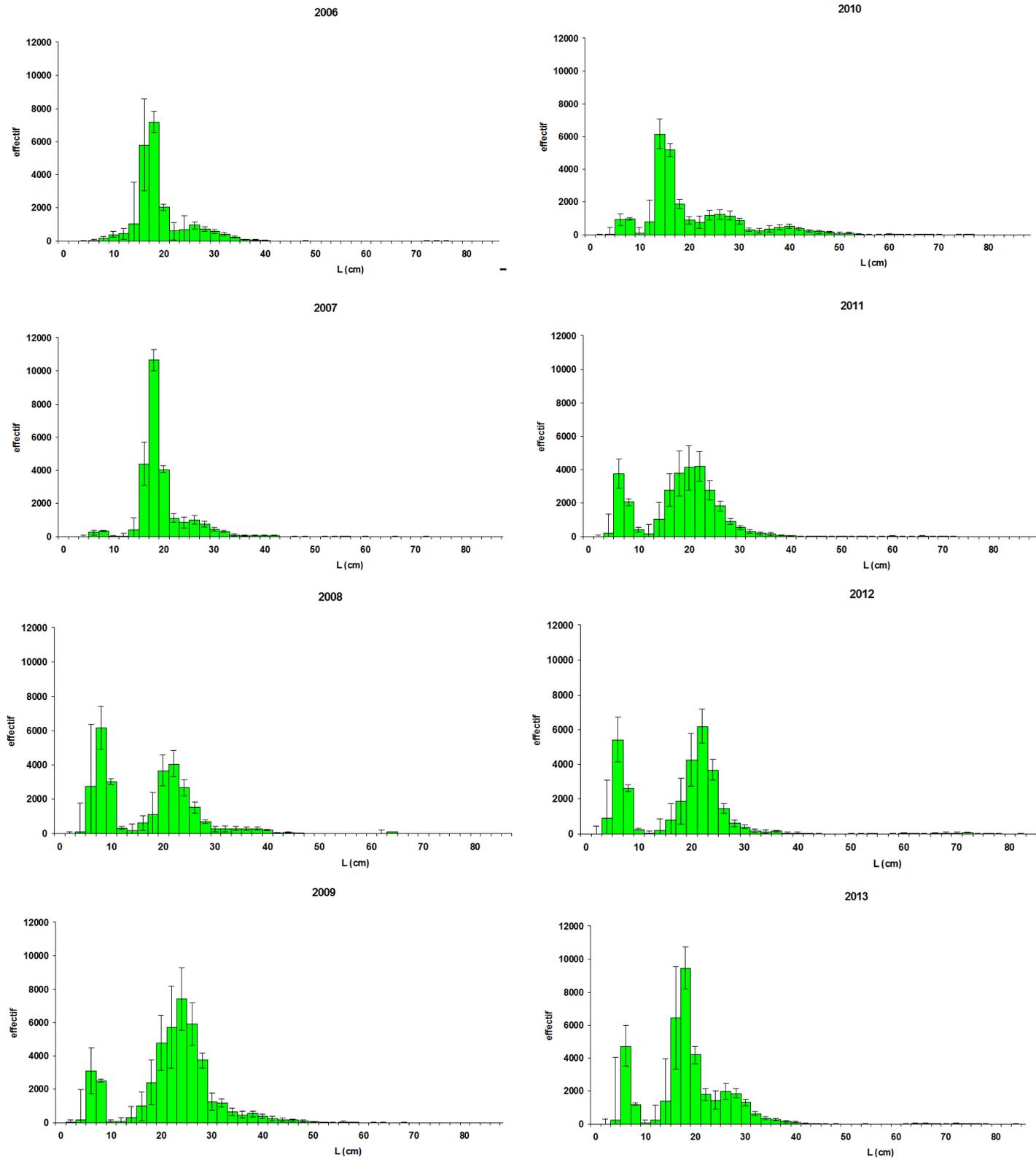


Figure 10. LANGOLF "Gwen Drez". Distributions de fréquence des tailles (cm) des merlus.

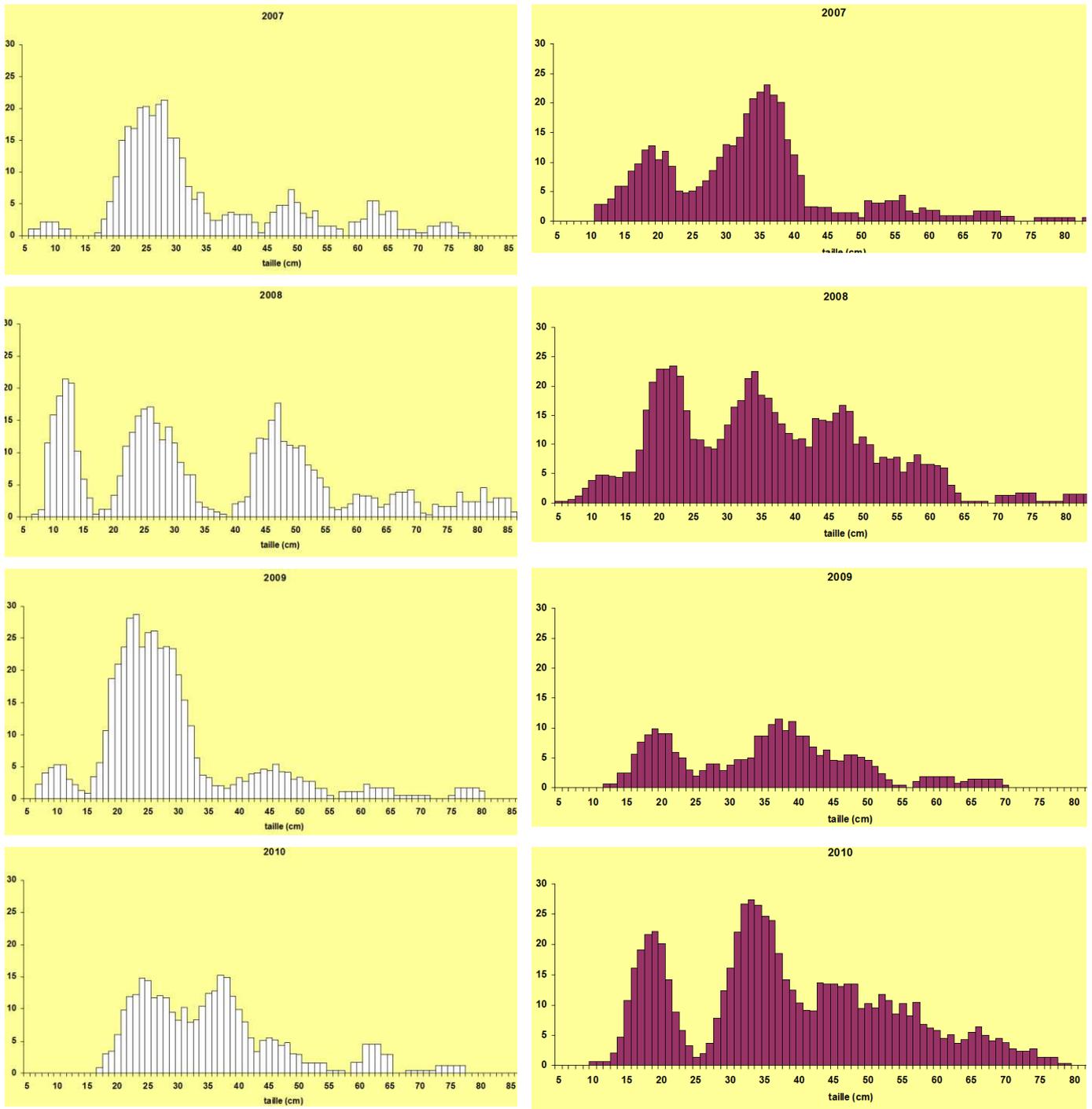


Figure 11. LANGOLF "Gwen Drez". Distributions de fréquence des tailles (cm) des baudroies communes (*Lophius piscatorius*) [à gauche] et rousses (*L. budegassa*) [à droite]. Exemple des années 2007-2010. Note : les effectifs illustrés sont élevés au trait, mais non sur l'aire totale d'étude.

3.3. Chalutage (2014-2015).

3.3.1. Langoustine.

Les opérations d'accompagnement du comptage des terriers effectuées à bord de trois navires professionnels (deux par année ; §2.3.1, §3.1) ont permis de disposer sur la langoustine de données comparables à celles de la série LANGOLF "Gwen Drez" 2006-2013. La figure 12 donne la répartition spatiale des stations de chalutage finalement réalisées avec les indices bruts d'abondance sans traitement géostatistique. Les effectifs et les distributions de fréquence des tailles (longueur céphalothoracique) par sexe, toutes strates confondues, sont présentés dans le tableau 8 et la figure 13.

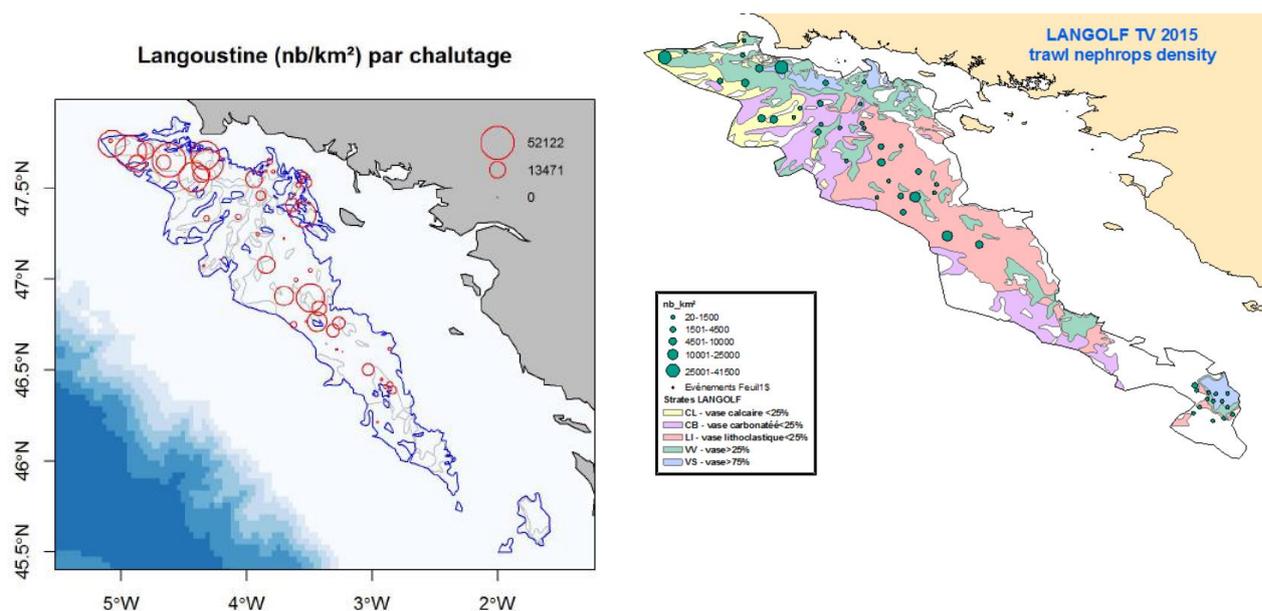


Figure 12. Campagne LANGOLF-TV 2014-2015. Répartition spatiale des stations de chalutage (navires "Atlantique" et "Sanaga" en 2014, "Atlantique" et "Pastenague" en 2015). Densité par station (nb/km²).

Tableau 8. Indices d'abondance (effectifs en milliers) et incertitudes (CV, en %) de langoustines. Campagnes LANGOLF-TV 2014-2015. Données acquises à bord de navires professionnels. (détails de calcul : cf. annexe I)

year	mâles		femelles		2 sexes	
	effectif (10 ³)	CV	effectif (10 ³)	CV	effectif (10 ³)	CV
2014	59267	23.20	38824	22.97	98091	22.85
2015	19940	21.55	16797	22.97	36736	21.68

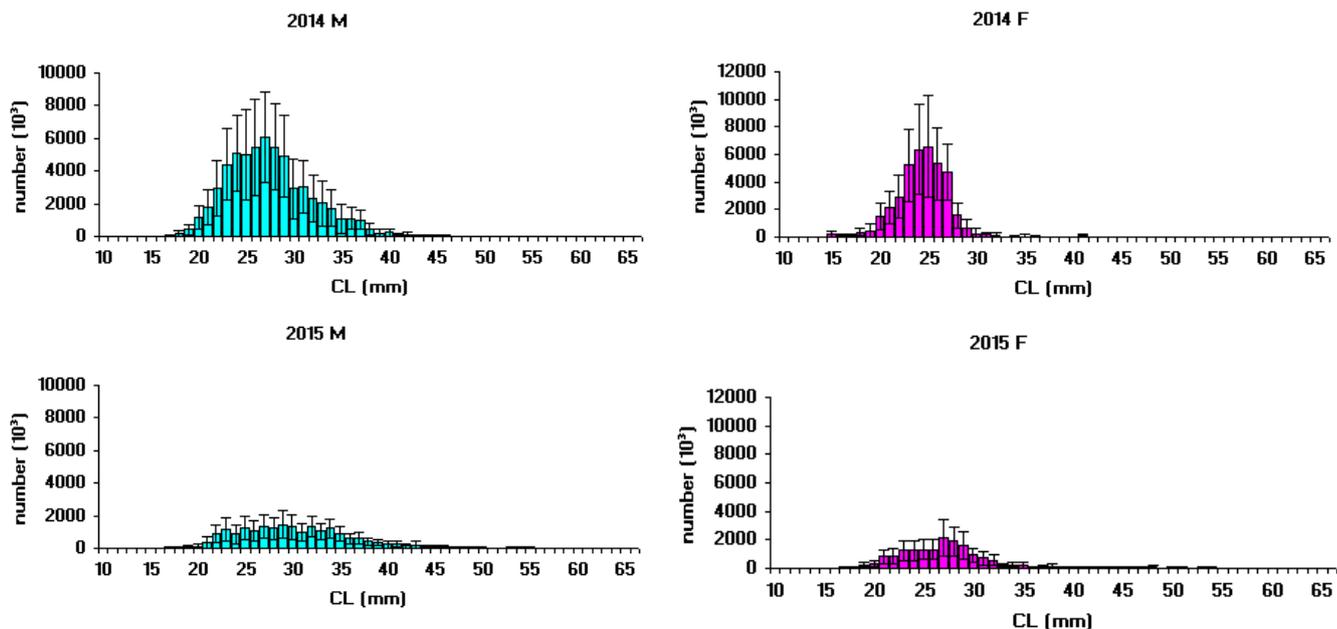


Figure 13. Distributions de fréquence des tailles (longueur céphalothoracique, CL, mm) par sexe et par année. Campagne LANGOLF-TV 2014-2015. Opérations d'accompagnement par chalutage à bord de navires professionnels.

Les indices obtenus en 2014 sont d'un ordre de grandeur comparable à celui de certaines années LANGOLF "Gwen Drez" (années 2009, 2013 ; cf. tableau 7). En revanche, la structure en taille des femelles capturées (absence pratiquement d'individus au-delà de 30 mm CL) suggérerait l'inadéquation des dates de réalisation des travaux (fin septembre), car les femelles matures sont censées se réfugier dans leurs terriers pendant cette période de l'année (incubation des œufs). Cette période a été imposée en raison des contraintes du calendrier d'activité du prestataire extérieur pour la vidéo (Celtic Voyager) : pendant les périodes les mieux adaptées à la dynamique de l'espèce, le navire était engagé à des évaluations d'autres stocks de l'aire VII CIEM.

En 2015, le choix de la fin juillet paraissait plus adéquat, tout au moins pour une représentation non biaisée du spectre des tailles des femelles. Néanmoins, les indices d'abondance (divisés quasiment par un facteur trois par rapport à 2014) sont peu vraisemblables. On ne dispose pas encore des données statistiques officielles (débarquements, échantillonnages) permettant de statuer si la décroissance entre 2014 et 2015 se reflète à tous les indicateurs, mais une telle baisse est incompatible avec la dynamique démographique de la langoustine. On pourrait éventuellement attribuer ce résultat aux conditions météorologiques défavorables au moment de la réalisation de la campagne. Cependant, par le passé, lors des campagnes LANGOLF "Gwen Drez" 2006-2013, on a déjà rencontré des conditions météorologiques semblables (notamment années 2007, 2010) sans que cela ne se répercute sur les indices d'abondance obtenus (tableau 7).

Un autre facteur pouvant expliquer cette diminution serait les variations de la capturabilité entre navires professionnels engagés dans les travaux. En fait, le 2^{ème} chalutier opérant en 2015 ("Pastenague") est un navire de capacité modeste avec un rayon d'action relativement limité par rapport à son port d'attache : en raison de cela, la répartition de ses stations de chalutage (14 au total) est totalement écartée du plan systématique exigé pour un couplage géostatistique fiable vidéo/chalutage (cf. fig. 12).

Etant donné que le 1^{er} navire ("Atlantique") est commun entre les deux années nous avons procédé aux élévations en ne tenant compte que de celui-ci sur les deux années (40 et 35 stations respectivement en 2014 et 2015). Les résultats apparaissent dans le tableau 9.

Tableau 9. Tailles moyennes (CL, mm) par sexe et indices d'abondance (en milliers) estimés lors des campagnes LANGOLF-TV 2014-2015. Comparaison des résultats selon les navires de pêche considérés.

males				females			
2014		2015		2014		2015	
all	atlantic	all	atlantic	all	atlantic	all	atlantic
27.5	27.2	30.1	29.3	24.4	24.3	27.2	26.0
59267	59257	19940	28244	38824	41002	16797	24077

La prise en compte du seul navire "L'Atlantique" modifie partiellement les résultats notamment en terme des tailles moyennes en 2015 étant donné que ce scénario élimine les données du navire ("Pastenague") ayant exclusivement pêché dans la partie méridionale de la "Grande Vasière", laquelle est systématiquement caractérisée par de plus gros individus (cf. §3.2.1.2). Concernant les effectifs, l'écart entre 2014 et 2015 diminue quel que soit le sexe mais se maintient à un niveau élevé peu vraisemblable. Ce résultat résume les difficultés rencontrées pour cerner de manière fiable des indices relatifs d'abondance quand plusieurs navires s'engagent dans ce type d'opérations de pêche expérimentale.

3.3.2. Galathée.

Les résultats des chalutages expérimentaux pour la galathée par strate et sur l'aire totale sont présentés dans le tableau 10. A titre comparatif, sont associées les estimations équivalentes sur la langoustine.

On constate que les effectifs recensés sont du même ordre de grandeur pour les deux espèces quelle que soit l'année, par ailleurs la division par un facteur trois entre 2014 et 2015 concerne les deux espèces. Par strate, la situation se différencie : les galathées étant plus abondantes sur les strates LI et VV. En 2014 et 2015, sur 63% de la superficie de la "Grande Vasière", se concentrent respectivement 91% et 80% des galathées, contre 67% et 57% des langoustines.

Comme on le verra par la suite, cela pourrait constituer un inconvénient sur les zones à forte densité de terriers au cas où des confusions puissent subsister par rapport à la structure des terriers habités par chacune de deux espèces, voire s'il s'avère que des galathées pourraient occuper des terriers de langoustines.

Tableau 10. LANGOLF-TV 2014-2015. Indices relatifs d'abondance de galathées et de langoustines deux sexes confondus. Résultats par strate et sur l'aire totale.

GALATHEE

stratum	surf_str (km ²)	index (.1000) 2014	index (.1000) 2015	nb [.001]/m ² 2014	nb [.001]/m ² 2015
CB	2535.61	548.90	263.22	0.216	0.104
CL	1152.86	7115.14	6374.47	6.172	5.529
LI	4663.64	33842.32	6667.53	7.257	1.430
VS	633.10	1735.44	691.51	2.741	1.092
VV	2691.51	64307.15	22380.43	23.893	8.315
Total	11676.72	107548.94	36377.16	9.211	3.115

LANGOUSTINE

stratum	surf_str (km ²)	index (.1000) 2014	index (.1000) 2015	nb [.001]/m ² 2014	nb [.001]/m ² 2015
CB	2535.61	1913.73	2376.84	0.755	0.937
CL	1152.86	22226.91	10650.15	19.280	9.238
LI	4663.64	26779.11	12292.62	5.742	2.636
VS	633.10	7880.75	2916.98	12.448	4.607
VV	2691.51	39290.29	8499.63	14.598	3.158
Total	11676.72	98090.79	36736.21	8.401	3.146

3.4. Vidéo 2014-2015 : conditions d'acquisition des données et sources de biais.

L'ensemble des résultats des transects ont été analysés afin de tester la conformité des lectures pour chaque binôme d'opérateurs (fig. 14). 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.

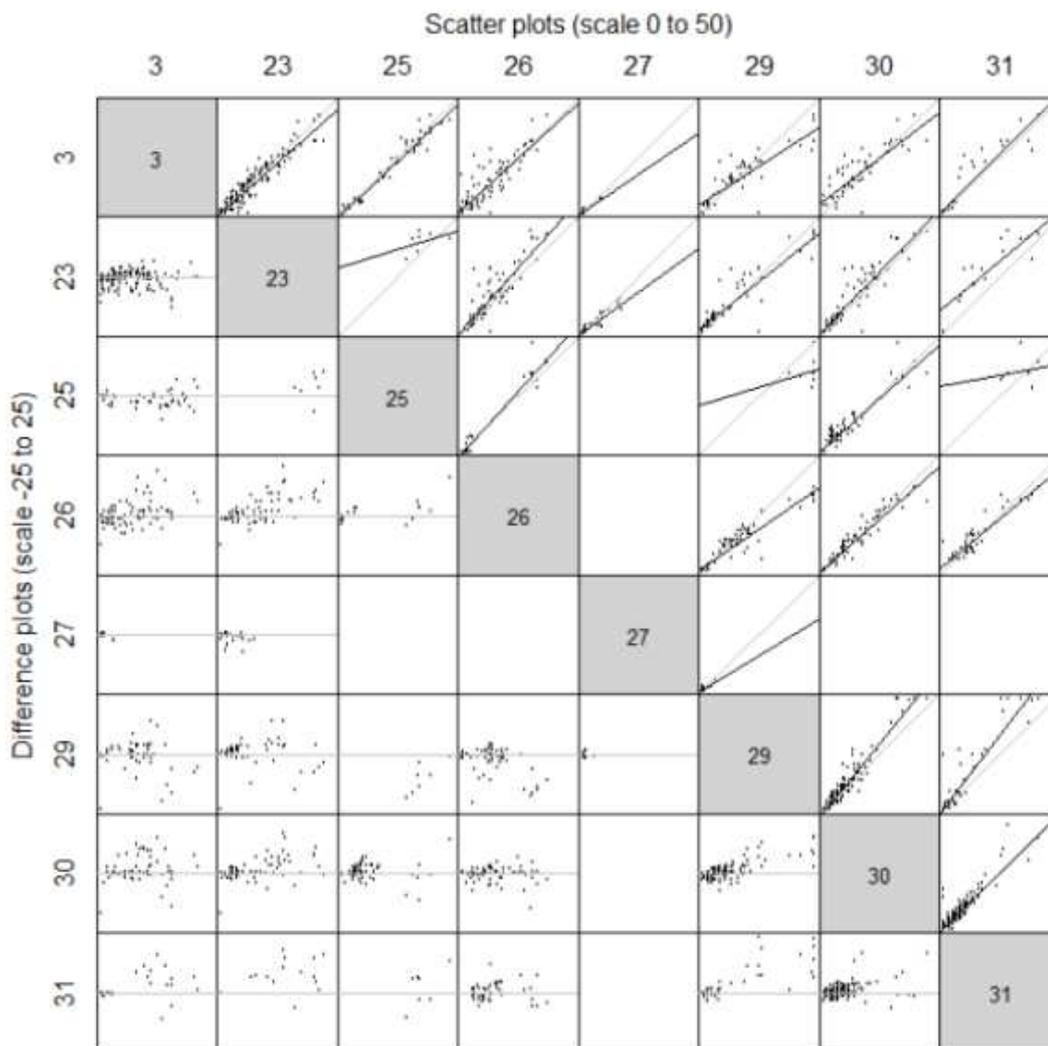


Figure 14. Tests des concordances entre binômes des lecteurs. Exemple de l'année 2015.

Validation des données acquises en mer :

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 15, 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 noire équivaut à une minute entièrement comptée, une ligne en vert indique que le comptage a été arrêté pendant moins de 30 secondes, une ligne rouge signifie que le comptage a été stoppé plus de 30 secondes : la minute sera donc invalidée.

Les 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 minute.

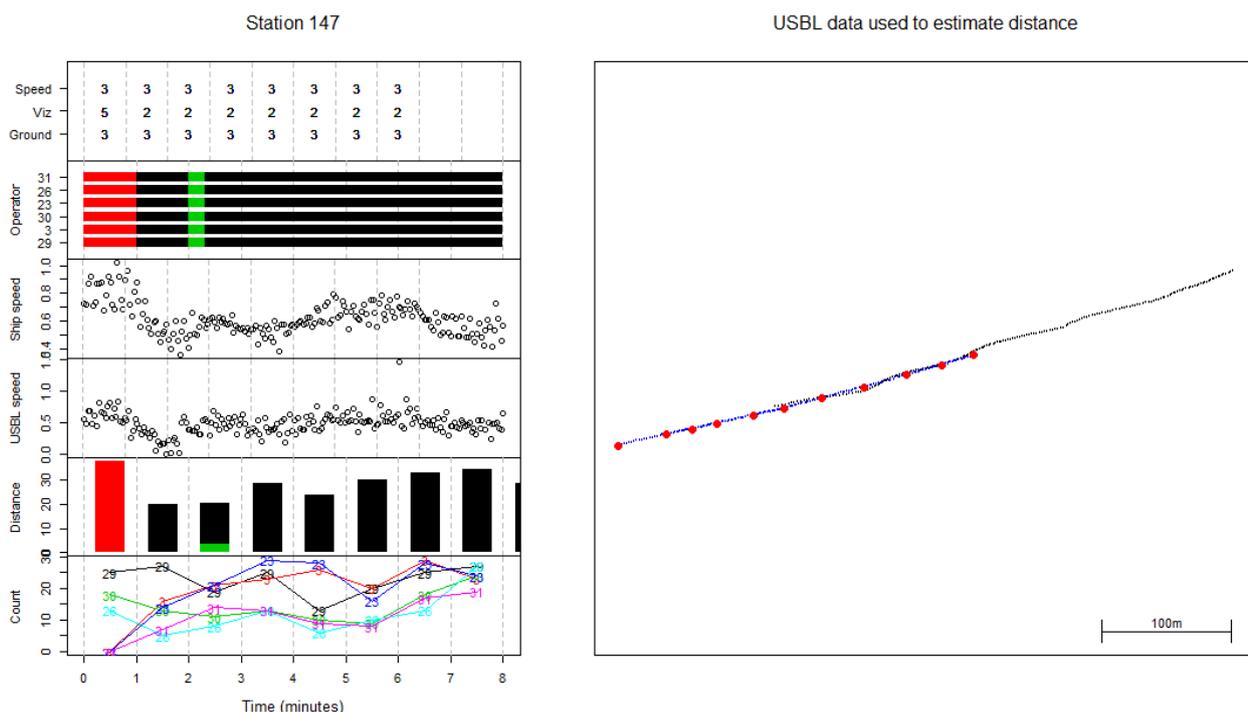


Figure 15. Résultats des scripts mis en œuvre par le "Marine Institute" pour la qualification du travail de suivi vidéo.

Visibilité et "detection rate" :

Les conditions d'acquisition des vidéos étaient très bonnes tant au niveau de la vitesse du traîneau que de la visibilité et de la clarté: sur l'ensemble des deux campagnes, seuls 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 lue par 4 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

Visibilité

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 et par 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.

Effet de bord ("edge effect") :

Sur la base de la méthode "two pass counting" (§ 2.3.2), dans les mêmes conditions pour le 1er et le 2ème 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 minutes des transects ont été sélectionnées 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.

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 pour 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).

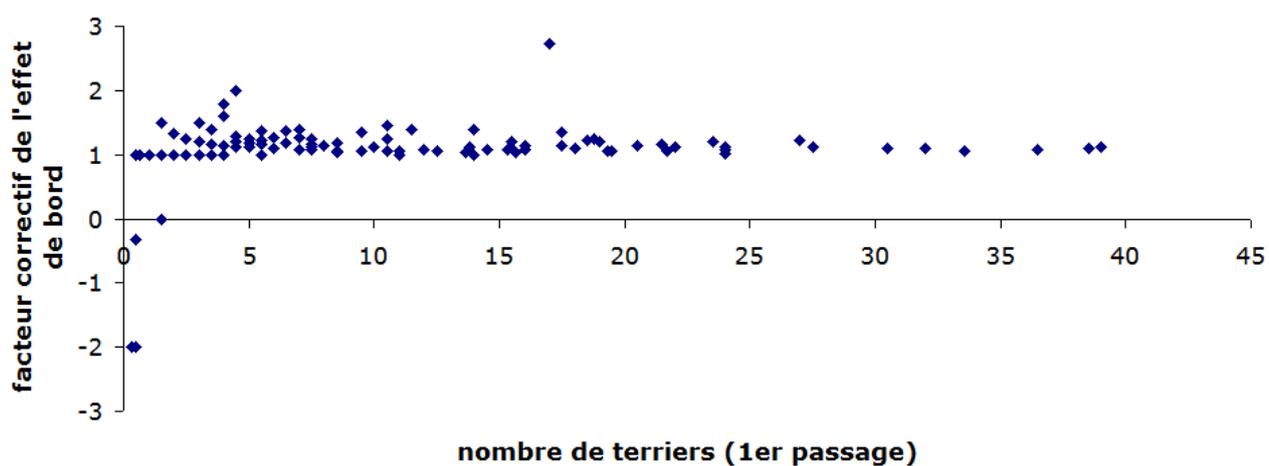
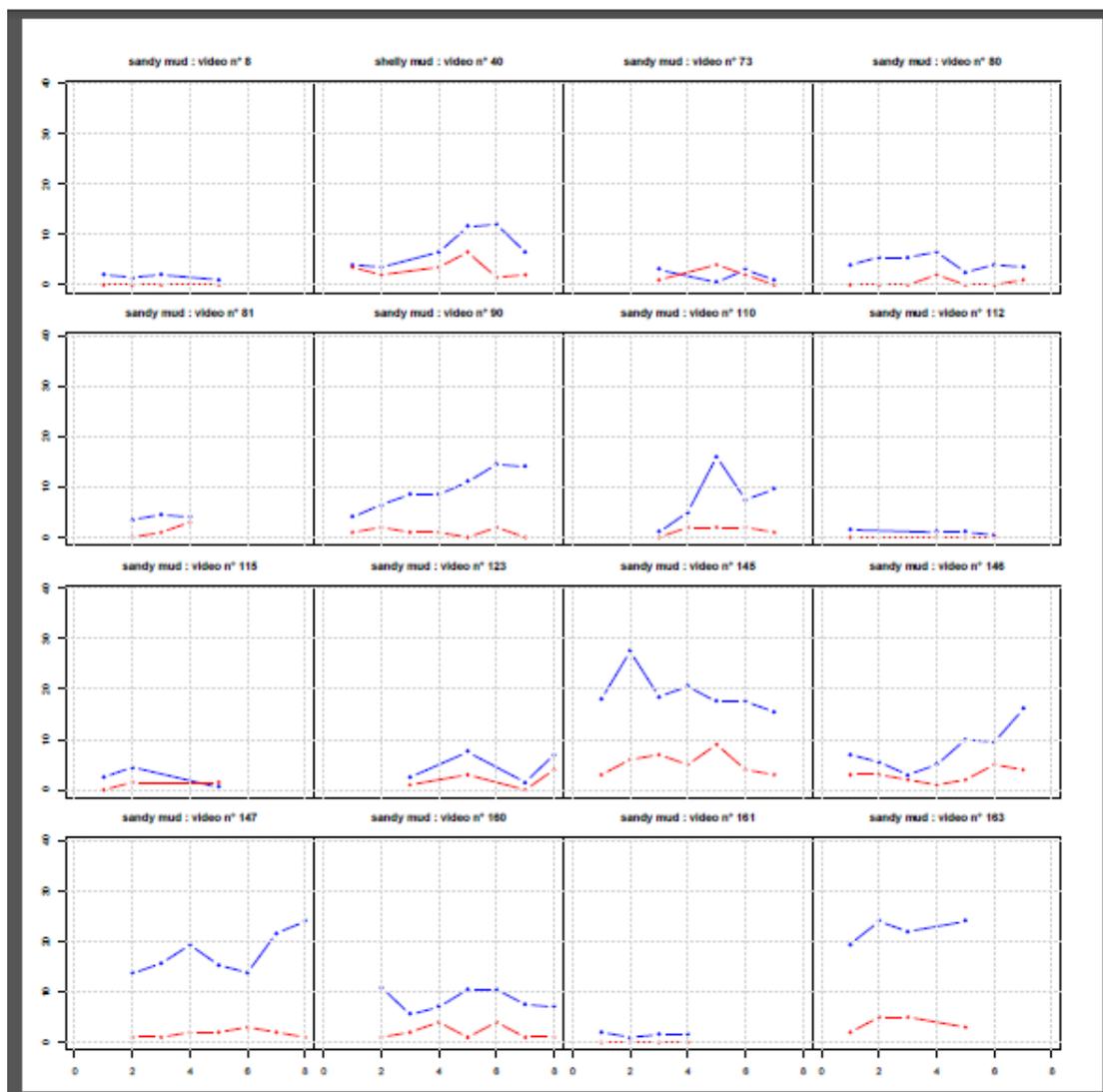


Figure 16. Partie supérieure : comparaison des comptages selon les deux passages de lecture (1^{er} passage à bord : courbe bleue ; 2nd passage à terre : courbe rouge) pour différents transects en fonction de la nature du sédiment. Partie inférieure : relation entre le nombre de terriers selon le 1^{er}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

Sur les 130 minutes des transects lues 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 1er passage.

3.5. Elévations classiques vidéo (2014-2015).

Comme signalé auparavant (§2.2.2), 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. 17).

Il en résulte globalement la présence de plus fortes densités dans l'extrémité septentrionale de la "Grande Vasière" et, comme abordé par la suite (§3.3.2 ; analyses géostatistiques), ceci pourrait théoriquement constituer un inconvénient pour la définition fiable du contour réel du stock.

Le tableau 11 présente les résultats des élévations 2014 et 2015 sans traitement géostatistique des densités de terriers (par m²) par strate spatiale.

Tableau 11. LANGOLF-TV 2014-2015. Résultats du comptage des terriers et élévations par strate spatiale (nombre total de terriers exprimés en 10⁶). Estimateurs stratifiés et incertitudes.

	2014				2015				% surf
	nb/m ²	total burrows	CV (%)	% burrows	nb/m ²	total burrows	CV (%)	% burrows	
	0.442	5164.53	5.82		0.386	4501.89	8.25		
CB	0.317	802.68	15.68	15.54%	0.151	383.85	25.66	8.53%	21.72%
CL	0.171	196.72	28.30	3.81%	0.306	352.28	18.57	7.83%	9.87%
LI	0.354	1651.31	8.69	31.97%	0.320	1492.89	16.38	33.16%	39.94%
VS	1.656	1048.72	11.05	20.31%	0.875	553.75	30.48	12.30%	5.42%
VV	0.544	1465.10	13.19	28.37%	0.639	1719.13	10.99	38.19%	23.05%

La densité moyenne des terriers est marquée par un recul (-13%) entre 2014 et 2015. 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 entre les deux années des nombres de terriers par strate se situent dans les marges de l'incertitude statistique. Par ailleurs, l'absence actuelle de données statistiques sur les débarquements et sur les échantillonnages à bord pour l'année 2015 (données *a priori* disponibles lors du 1^{er} trimestre 2016) ne permet pas d'avancer cette interprétation.

Ce comptage illustre l'hétérogénéité spatiale de la "Grande Vasière" : sur 28% de la superficie se concentrent environ 50% de terriers recensés, aussi bien en 2014 qu'en 2015. Ce résultat n'est pas sans rappeler les investigations en terme de répartition de l'effort de pêche de la flottille langoustinière (cf. §2.2.1 ; tableau 3) puisque ces mêmes 28% de la superficie concentraient 66% de l'effort de pêche (d'où les allocations des échantillonnages stratifiés de la campagne LANGOLF "Gwen Drez" combinant surface des strates et poids de la pression de pêche : cf. tableau 4).

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 (FU15⁶ : 0,83 terriers/m² en 2014 ; pour la localisation cf. fig. 18) 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).

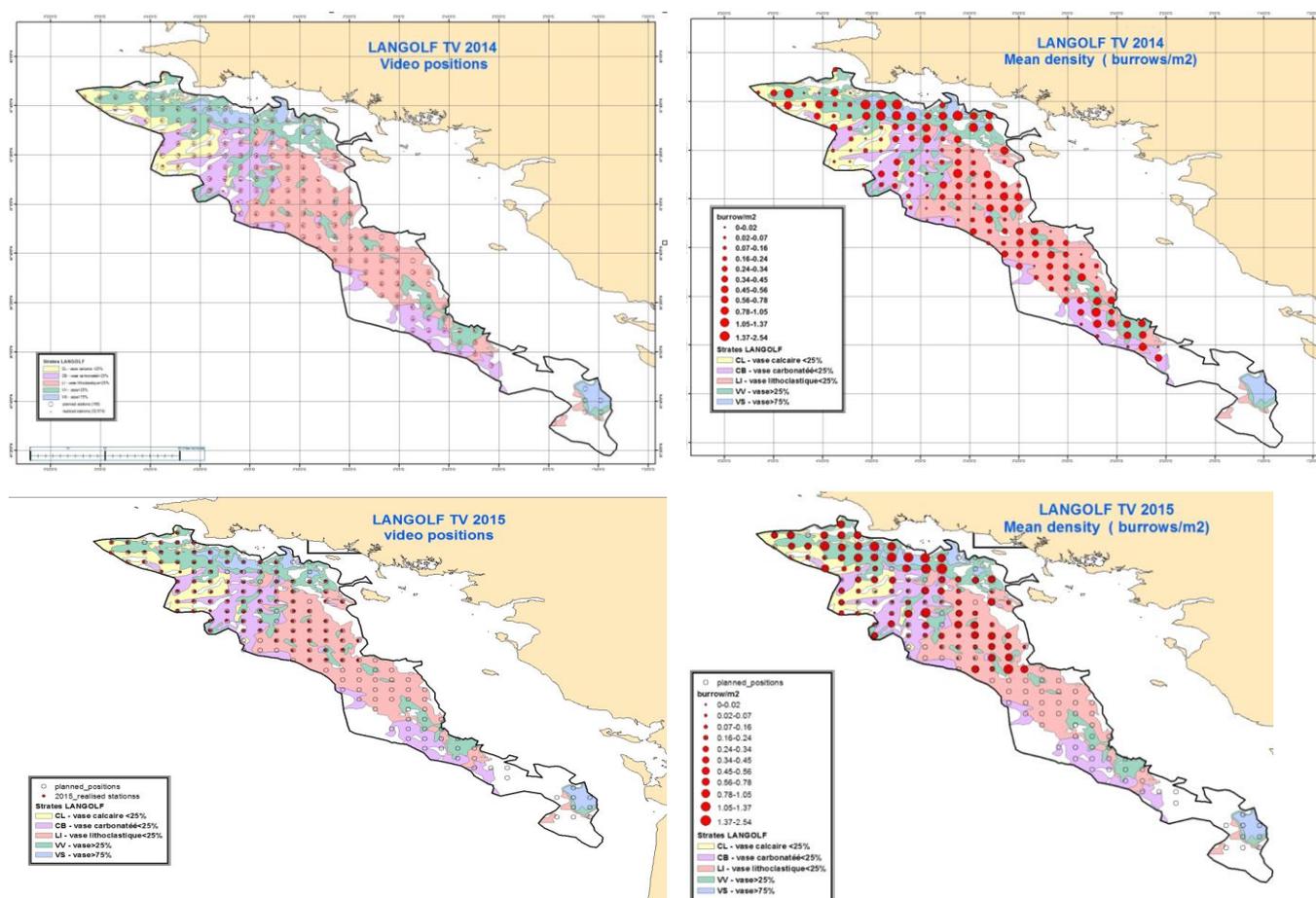


Figure 17. LANGOLF-TV. Stations effectives d'échantillonnage vidéo et densités par transect (terriers/m²). Années 2014 et 2015.

⁶ FU = Functional Unit.

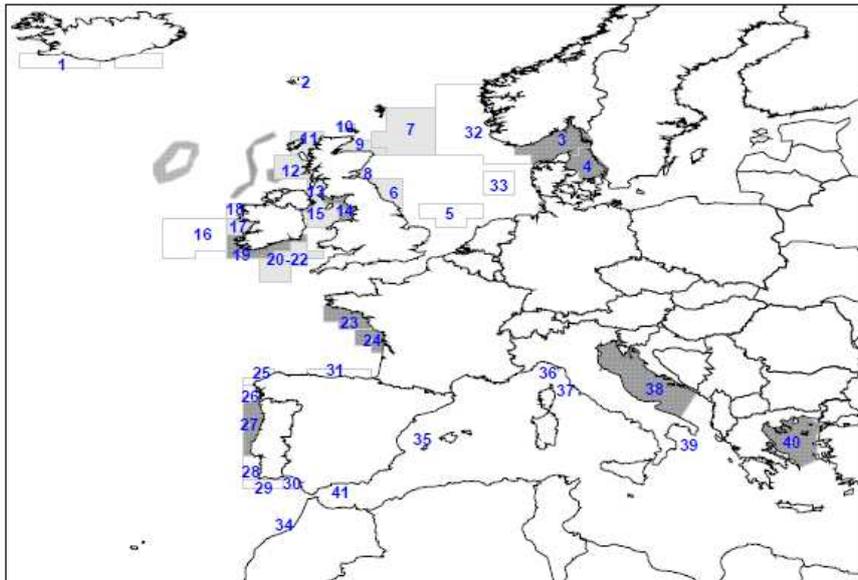


Figure 18. Localisation des stocks répertoriés de langoustines en Europe (les chiffres indiqués correspondent aux "Functional Units" (stocks-unités)).

3.6. Explorations géostatistiques.

La géostatistique fait appel à la notion de variographie. Le but de celle-ci est de décrire et de modéliser la manière dont une variable régionalisée (e.g. la densité de langoustine ou la densité de terrier 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). L'hypothèse classique de l'approche intrinsèque utilisée dans notre cas d'étude est la stationnarité des incréments. Un modèle de fonction aléatoire intrinsèque se caractérise ainsi par son variogramme. Le modèle de fonction aléatoire intrinsèque et son variogramme modélisé seront ensuite utilisés pour calculer des variances et faire du krigeage. Le krigeage est le meilleur estimateur linéaire, et peut être utilisé pour estimer la valeur d'une variable régionalisée sur un domaine ou pour cartographier sa répartition spatiale.

3.6.1. Variographie des données de densité de langoustine.

L'analyse variographique porte sur les données de densité de langoustine pour les opérations de chalutage de la série LANGOLF "Gwen Drez" 2006-2013 et de la campagne LANGOLF-TV 2014. Deux variogrammes ont été calculés. Le premier n'utilise que les données 2014. Le deuxième est un variogramme moyen interannuel qui utilise toutes les données de la période 2006-2014. Pour le calcul du variogramme moyen interannuel, seules les paires de points appartenant à la même année sont considérées (i.e. on ne mélange pas les données d'une année avec une autre). Le

variogramme portant sur la seule année 2014 est bruité (peu d'échantillons; 55 traits) tandis que le variogramme moyen interannuel (i.e. 613 traits) est bien structuré. Dans les deux cas, un effet pépité assez fort est présent (la pépité équivaut à environ la moitié de la variance totale) et la deuxième composante est un modèle sphérique dont la portée semble quasiment doublée entre le variogramme 2014 (~53 km) et le variogramme moyen interannuel (~28 km) (fig. 19).

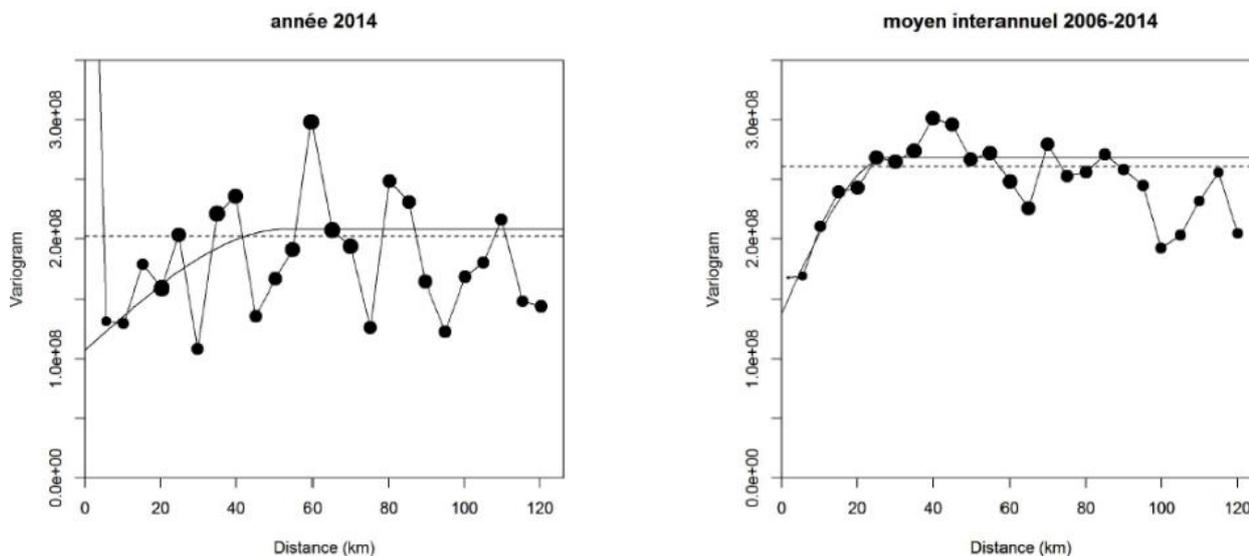


Figure 19. A gauche: variogramme simple sur les données de densité de langoustine collectées à partir des chalutages LANGOLF-TV. A droite: variogramme moyen interannuel sur les données de densité de langoustine collectées à partir des chalutages LANGOLF "Gwen Drez" 2006-2013 et LANGOLF-TV 2014.

Sur la base de ces deux variogrammes, des estimations de l'indice d'abondance 2014 et leurs CV (%) ont été obtenus (tableau 12). Les indices calculés sont assez proches de ceux estimés par une approche statistique classique (tableau 8) qui intègre la stratification spatiale (non prise en compte par l'approche géostatistique développée ici) ; avec la géostatistique on parvient à des CV plus faibles que la méthode classique du fait de la prise en compte de l'autocorrélation dans les données, et ce quel que soit le modèle considéré (sur la seule année 2014 ou moyen interannuel).

Tableau 12. Estimation de l'abondance de langoustine pour l'année 2014 selon deux modèles structuraux différents (*estimation par krigeage de la densité moyenne sur le champ*).

Modèle structural utilisé	Vario 2014	Vario moyen interannuel 2006-2014
Nombre de données	55	613
Estimation par krigeage (nb/km ²)	9122	9236
CV geo	18.94%	19.38%
Surface (km ²)	11 676	11676
Abondance (10 ⁶)	106508472	107839536

La répartition spatiale des densités de langoustine a été obtenue par krigeage pour l'année 2014 selon les 2 modèles structuraux envisagés (fig. 20). On observe la présence de fortes densités à l'extrémité Nord de la "Grande Vasière" en concordance avec ce qui a été évoqué précédemment (§3.5).

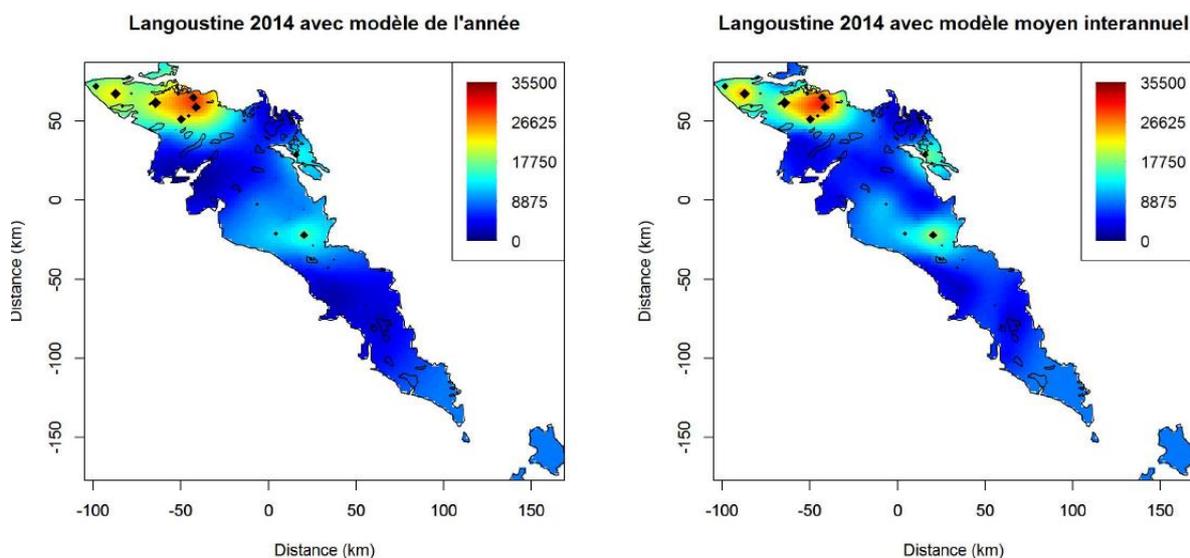


Figure 20. Cartographie par krigeage des densités de langoustine issues des chalutages de la campagne LANGOLF-TV 2014 à partir du modèle de l'année et d'un modèle moyen interannuel.

Par ailleurs, chaque année de la série 2006-2014 a été cartographié par krigeage avec le modèle moyen interannuel. Les cartes obtenues sont représentées avec une même échelle de valeur de densité (fig. 21). La distribution spatiale des densités de langoustine est assez variable dans le temps, cependant la partie Nord de la "Grande vasière" présente le plus souvent des valeurs de densité forte.

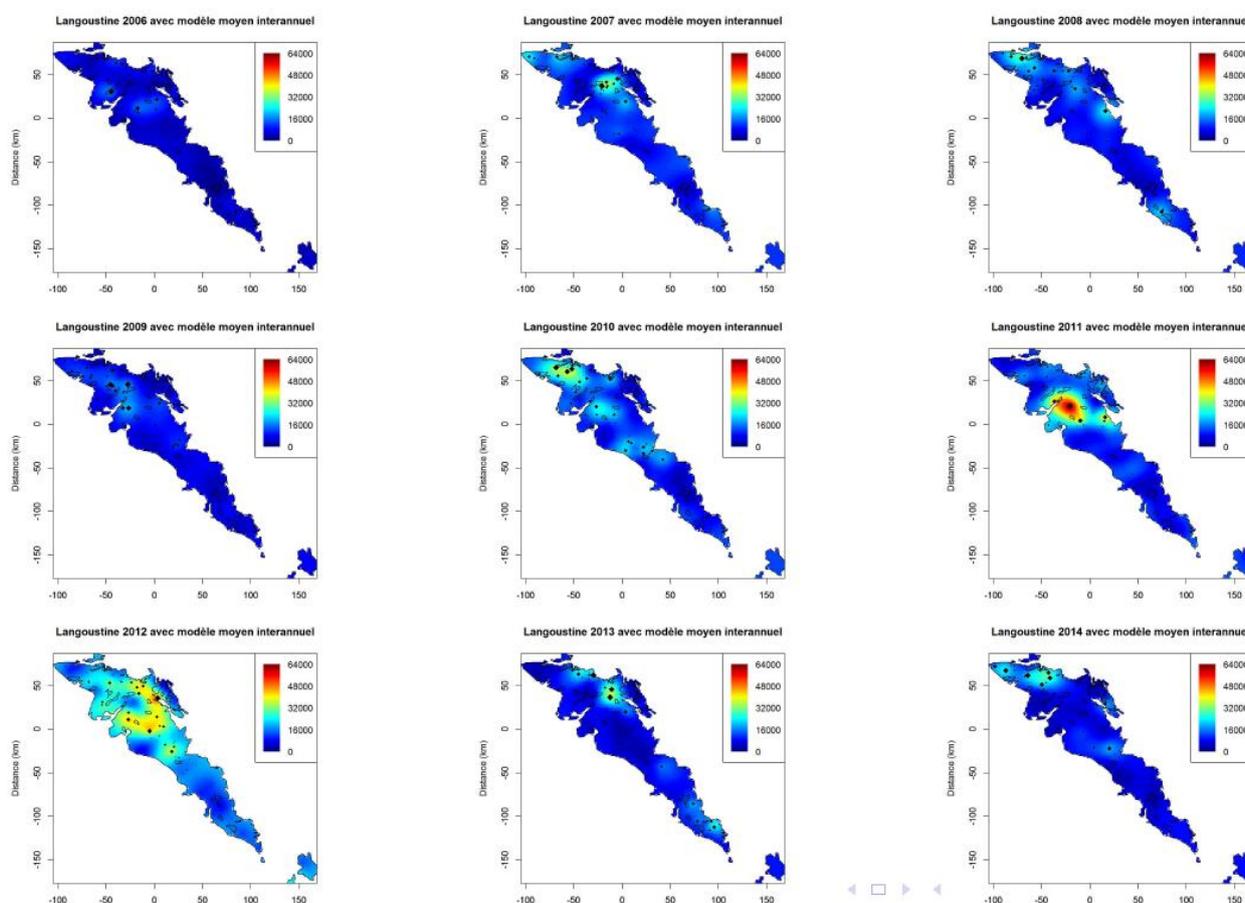


Figure 21. Cartographie par krigeage des densités de langoustine pour les années 2006-2014.

3.6.2. Variographie simple et croisée des densités de langoustine et des densités de terrier de langoustine.

L'idée de cette analyse conjointe est d'explorer en quoi la connaissance de la densité de terrier de langoustine déterminé par vidéo peut aider à la modélisation des densités de langoustine mesuré par chalutage.

Après le rapprochement spatial des données de chalutage et de vidéo de la campagne LANGOLF-TV 2014, des variogrammes simples et croisés ont été calculés pour les données de densités de terriers et de langoustine (fig. 22).

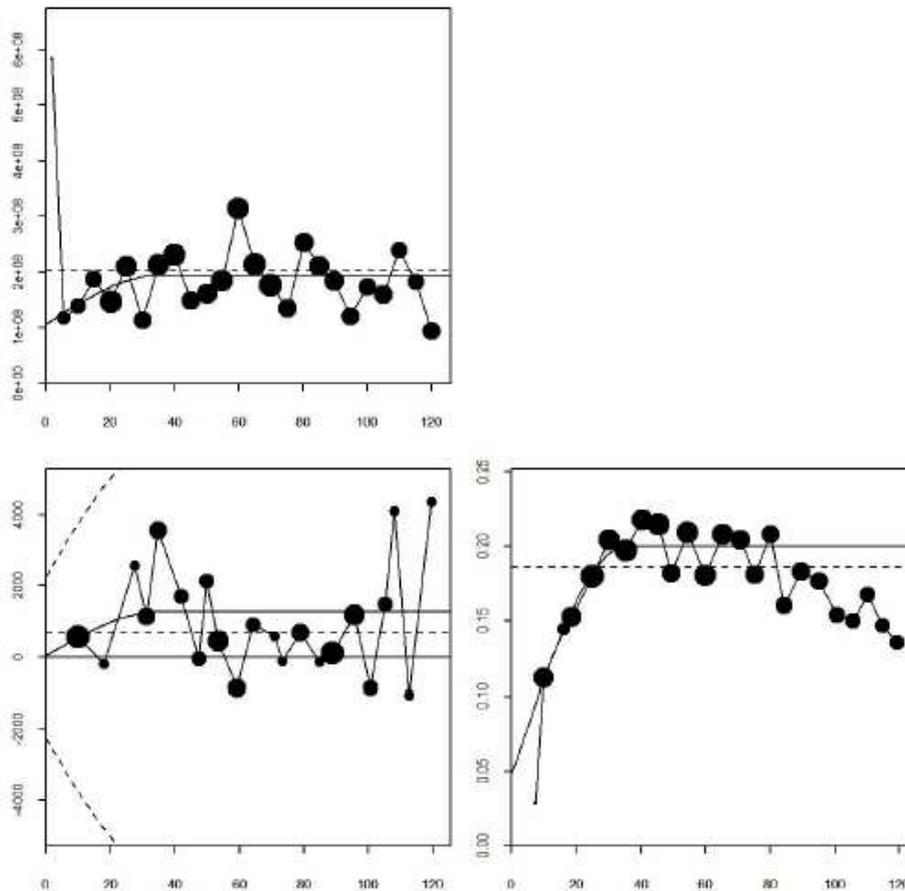


Figure 22. Variogrammes simples (chalutage 2014 : en haut, cf. également fig. 19 ; vidéo 2014 : en bas à droite) et croisé.

L'ajustement du modèle de variogramme est réalisé de manière conjointe sur les variogrammes expérimentaux simples et croisés (fig. 22). Il apparaît que le modèle est particulièrement bien ajusté au variogramme simple des densités de terrier de langoustine, qui est moins bruité que le variogramme expérimental simple des densités de langoustine et que le variogramme croisé. La bonne structuration du variogrammes des densités de terrier s'explique notamment par le nombre plus élevé de stations que pour le chalutage (156 validées contre 55). Par ailleurs, on peut noter que le modèle ajusté pour les densités de langoustine est proche du modèle moyen interannuel ajusté sur les données de chalutage 2006-2014. Les données vidéo permettent donc de pallier au manque de structuration des données de densités de langoustine de l'année d'une manière analogue à une approche variographique multi-annuelle. De plus, pour l'année 2014, le variogramme croisé n'est pas satisfaisant : ce résultat est en partie expliqué par le croisement de deux variables (indices des

langoustines capturées au chalut et indices des terriers) estimées par des protocoles d'échantillonnage différents (aléatoire pour la première, systématique pour la seconde). En 2015, l'échantillonnage par chalutage a été élaboré sur la base d'un protocole tenant compte de la disposition des transects vidéo, selon une grille systématique. Ce protocole a été en grande partie respecté (tout au moins pour les 35 stations sur 49 réalisées par "L'Atlantique"), cependant le défaut de couverture spatiale de la campagne 2015 a compromis les résultats attendus.

En utilisant les données vidéo et de chalutage pour définir le modèle structural, les estimations d'indice d'abondance 2014 des langoustines diminuent légèrement avec des CV du même ordre de grandeur (tableau 13 ; à comparer avec le tableau 12).

Tableau 13. Estimation par krigeage de l'indice d'abondance de langoustines. Approche selon modèle construit sur année 2014 et ajustant conjointement les données de chalutage et de vidéo.

Modèle structural utilisé	Vario 2014
Estimation par krigeage (nb/km ²)	8935
CV geo	19.85%
Surface (km ²)	11 676
Abondance (10 ⁶)	104325060

3.6.3. Variographie simple des densités de terrier de langoustine.

Les variogrammes expérimentaux calculés sur les données de densités de terriers de langoustine (vidéo) montrent une anisotropie à la fois zonale (paliers différents selon la direction) et géométrique (portées différentes selon la direction) correspondant aux directions 45° et 135°, *i.e.* orthogonal et parallèle à la forme de la grande vasière pour les années 2014 et 2015 (Fig. 23).

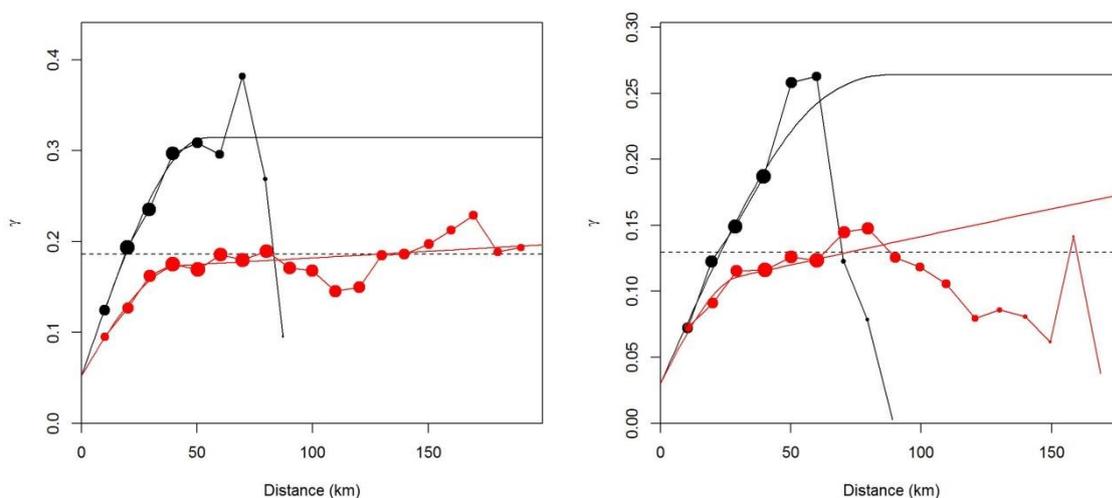


Figure 23. Variogrammes expérimentaux (cercles proportionnelles au nombre de paires de points utilisés) et modélisés (lignes continues) le long des directions principales d'anisotropie (rouge: nord-ouest - sud-est, noir: sud-ouest - nord-est) pour les densités de terrier de langoustine des années 2014 (gauche) et 2015 (droite).

Les variogrammes expérimentaux ont été ajustés de manière automatique. Les modèles ajustés présentent des structures emboîtées et se composent d'un effet de pépite, puis de deux modèles sphériques (Tableau 14).

Tableau 14. Paramètres pour les différentes composantes des modèles de variogramme ajustés pour les années 2014 et 2015.

Année	pépite	Sphérique (Modèle 1)			Sphérique (Modèle 2)		
		palier	portée	anisotropie	palier	portée	anisotropie
2014	0.053	0.115	42 km	1.265 (45°)	0.147	1501 km	0.036 (45°)
2015	0.030	0.068	30 km	2.156 (45°)	0.166	566 km	0.152 (45°)

Les estimations globales de la densité moyenne de terriers de langoustine sont très proches que ce soit avec la moyenne arithmétique ou le krigeage ordinaire. Ils sont aussi très proches d'une année sur l'autre. La valeur est d'environ 0.415 terriers/m² (Tableau 15).

Les coefficients de variation d'estimation sont de l'ordre de 5% pour l'année 2014 et de 18% pour l'année 2015 (Tableau 15). Ce dernier est très élevé du fait de l'absence d'échantillonnage de la partie Sud de la Grande Vasière. Du fait de la présence d'autocorrélations dans les données de terriers de langoustine, le CV géostatistique est plus faible que le CV obtenu par une approche statistique classique. Ce dernier est de l'ordre de 7% en 2014 et 8% en 2015. D'ailleurs, il illustre mal le problème d'échantillonnage rencontré en 2015.

L'abondance totale de terriers de langoustine est la densité moyenne multipliée par la surface de la Grande Vasière (11 676 km²). Elle s'élève à environ 4,8 à 5 milliards de terriers de langoustine, que ce soit pour 2014 ou 2015 (incertitude forte). Ce chiffre est très comparable entre les deux années.

Tableau 15. Estimation de l'abondance de terriers de langoustine à l'aide de la vidéo pour les années 2014 et 2015 (*A=arithmétique ; KO=krigeage*).

Année	2014		2015	
Nombre de données	204	204	114	114
Méthode d'estimation de la moyenne	A	KO	A	KO
Estimation (nb/m ²)	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 (10 ⁶)	4 856	4 968	4 791	4 843

En 2014, la carte produite par krigeage ordinaire montre que les fortes valeurs de densité de terrier (> 1.0 nb/m²) se trouvent du sud du Guilvinec jusqu'à l'ouest de Belle Ile (fig. 24). Des valeurs intermédiaires de densité (> 0.5 nb/m² et < 1.0 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).

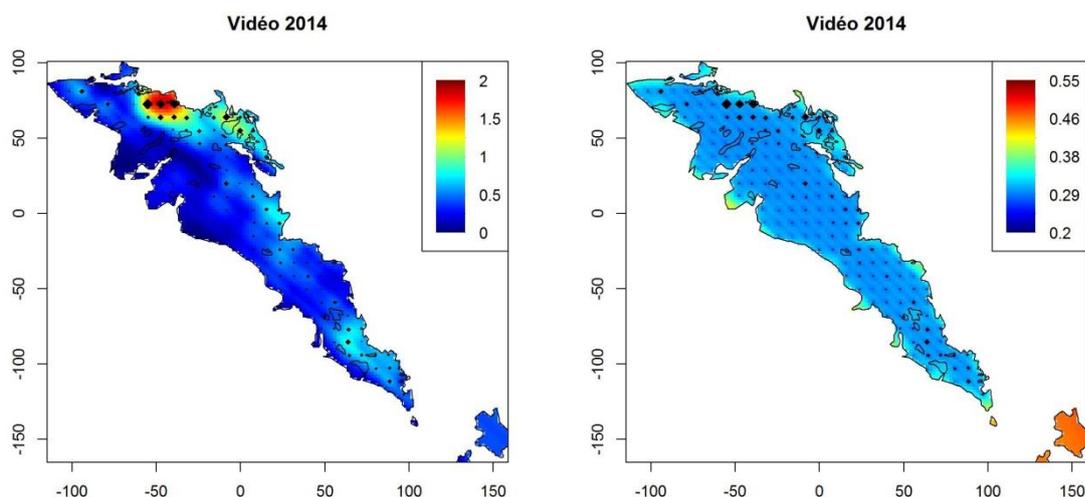


Figure 24. Estimation de la densité de terrier de langoustine en nb/m² par krigeage ordinaire (colonne de droite) et écart-type de l'erreur de krigeage ordinaire de la densité de terrier de langoustine en nb/m² (colonne de gauche) pour l'année 2014.

En 2015, L'écart-type de l'erreur de krigeage illustre la faible couverture de la campagne. La carte de densité de terriers de langoustine n'est pertinente que sur la partie Nord de la Grande Vasière (écart-type < 0.38). Sur cette zone, on retrouve des fortes valeurs de densité de terrier (> 1.0 nb/m²) au sud du Guilvinec jusqu'à l'ouest de Belle Ile (fig. 25), et des valeurs intermédiaires de densité (> 0.5 nb/m² et < 1.0 nb/m²) au milieu de la grande vasière face à l'estuaire de la Loire. Cependant la différence entre les fortes densités et les densités intermédiaires est moins prononcée en 2015, qu'en 2014.

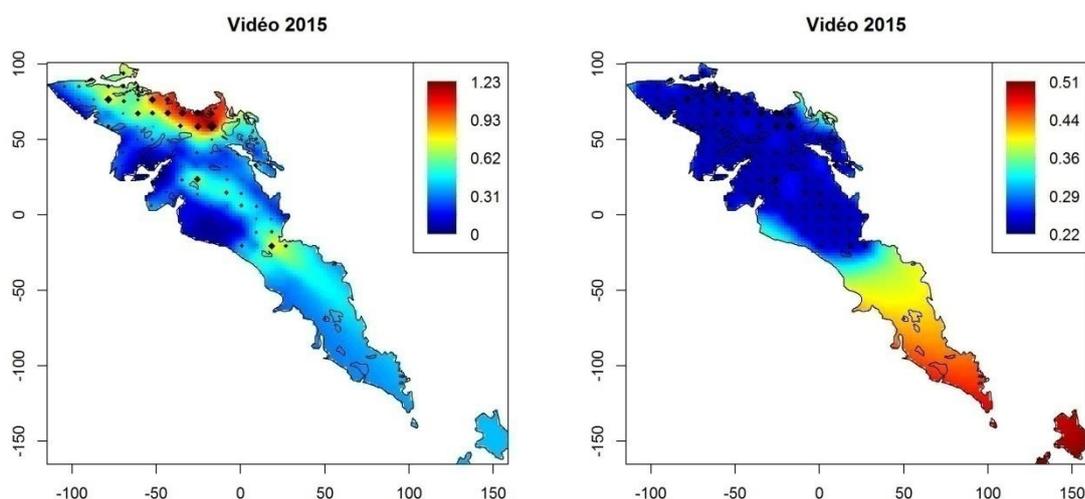


Figure 25. Estimation de la densité de terrier de langoustine en nb/m² par krigeage ordinaire (colonne de droite) et écart-type de l'erreur de krigeage ordinaire de la densité de terrier de langoustine en nb/m² (colonne de gauche) pour l'année 2015.

3.7. La relation langoustine-galathée.

La forte proportion des galathées constatée suite à l'analyse des traits de chalut (même ordre de grandeur que la langoustine) nous a incités à examiner si elle pourrait 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"⁷).

Les galathées sont *a priori* plus actives que la langoustine à différentes tranches horaires de la journée. Dans ce sens, 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) 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, 49 couples de valeurs (selon le nombre de traits de chalut validés en 2015) ont été constitués.

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. 26).

⁷ squat (live) = to live in an building or area of land without the permission of the owner

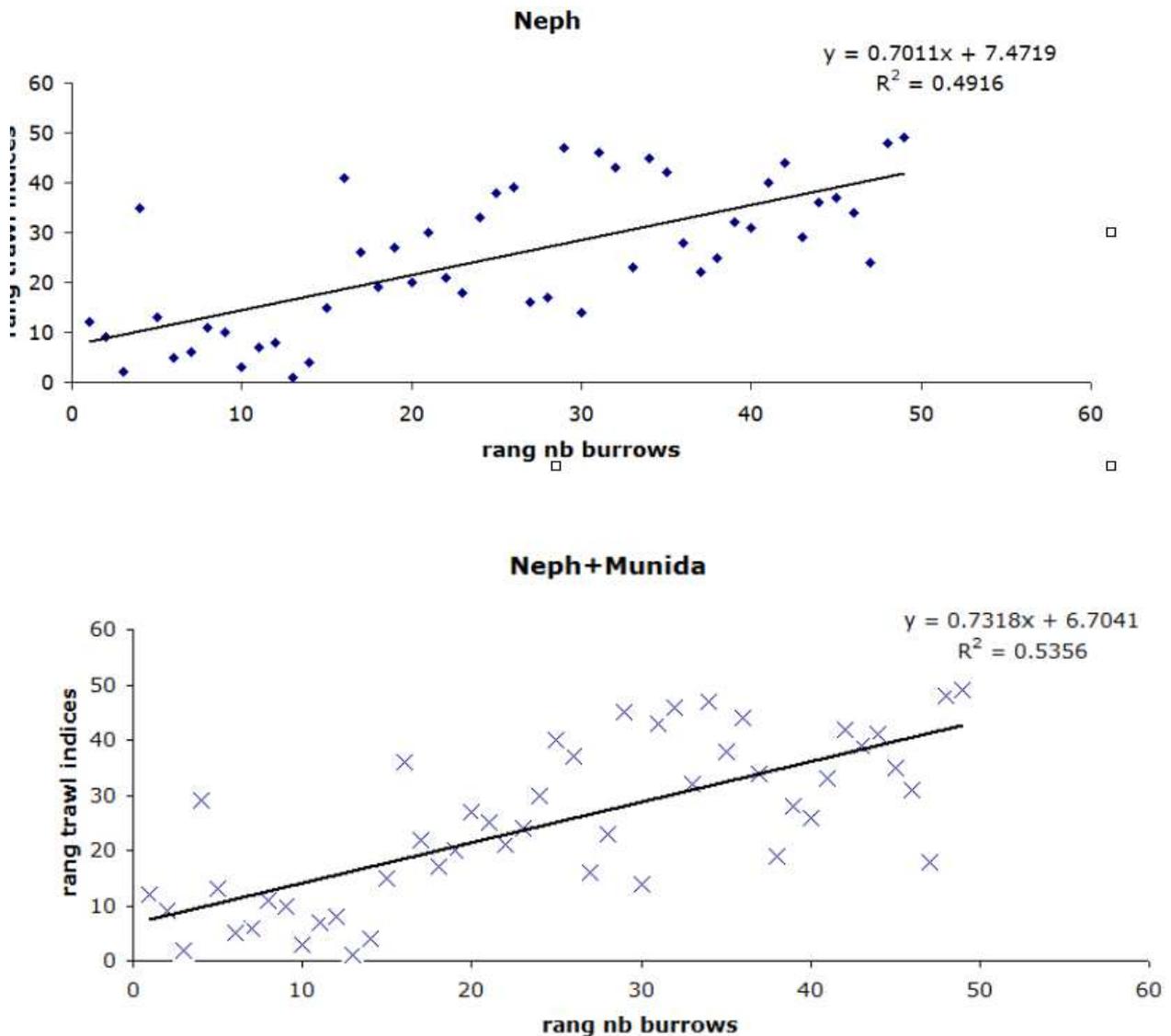


Figure 26. LANGOLF-TV 2015. Relations entre rangs de valeurs spatialisées des effectifs de langoustines (en haut) et langoustines+galathées (en bas) capturées au chalut et nombres de terriers (station vidéo la plus proche ; transformation et pondération inversement à la distance).

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 de 5%. La recherche visant le calcul d'un coefficient de correction tenant compte des indices de galathée garde tout son intérêt.

Les corrélations entre les variables "terrier" et "effectif de fousseur" ont été également testées sur les données LANGOLF-TV 2014. Néanmoins, étant donné que le plan d'échantillonnage pour les opérations de chalutage en 2014 a été élaboré selon un protocole aléatoire alors que celui pour les terriers est systématique, cela limite la qualité des ajustements (en procédant sur les mêmes transformations, en 2014, on a $R=0,393$ avec seules les langoustines contre $R=0,460$ avec langoustines+galathées).

4. Discussion et perspectives.

4.1. Volet scientifique.

Chalutage :

La série LANGOLF "Gwen Drez" 2006-2013 intégrée en tant que "flottille standard" dans le dispositif CIEM en 2012, a certes apporté une amélioration de la qualité de l'évaluation, mais non de manière très sensible pour que le modèle analytique structuré en âge (XSA) soit retenu dans toute la chaîne des évaluations : seules les tendances ont continué à être prises en compte (stock de catégorie 3⁸) lors de la formulation de l'avis CIEM qui a aussi gardé sa périodicité biennale alors que les stocks évalués par vidéo sous-marine disposent d'un avis annuel. Le chalutage n'est pas, à l'heure actuelle, capable de proposer un indice du "taux de prélèvement" ("harvest rate") comme le comptage des terriers est sensé de le faire. Le chalutage propose un indice relatif et non absolu de l'abondance.

Les opérations de chalutage à bord de navires professionnels qui ont accompagné la vidéo en 2014 et 2015 ont permis de situer l'ordre de grandeur de la proportion langoustines/galathées essentielle pour la compréhension des interactions au sein de la communauté des fousseurs benthiques du golfe de Gascogne et pour une estimation plus fiable du nombre réel de terriers de structure "à langoustine" effectivement habités par des langoustines. Néanmoins, les indices relatifs acquis par le chalutage (diminution selon un facteur trois entre 2014 et 2015 alors que les débarquements ont augmenté de près de +25% entre ces deux années) paraissent invraisemblables et mettent l'accent sur l'intérêt limité de l'usage du chalut lors de cette campagne sous l'angle stricte de l'évaluation de la langoustine.

A noter également que le rythme nyctéméral diffère entre les deux espèces (pics d'activité plus forte des langoustines à l'aube et au crépuscule alors que pour les galathées le rythme semble plus lissé) ne permet pas de quantifier formellement par le chalutage les galathées occupant des terriers à langoustine. Il a été jugé, en conclusion, que le chalutage n'est plus indispensable pour accompagner la vidéo sous-marine.

Vidéo :

L'avantage indéniable de la vidéo reste la possibilité de proposer un indice absolu d'abondance à la place de l'indice relatif obtenu par chalutage. On peut ainsi calculer pour les langoustines un "taux de prélèvement" ("harvest rate") qui permet, lors des projections sur l'évolution du potentiel du stock, de statuer sur le niveau actuel de l'exploitation par rapport au RMD. Par ailleurs, le comptage des terriers est totalement indépendant de la saison de réalisation des travaux contrairement au chalutage : la campagne LANGOLF "Gwen Drez" 2006 qui a été précoce et celle du chalutage associé de LANGOLF-TV 2014 qui a été tardive constituent des exemples d'indices relatifs par chalutage biaisés au moins pour la fraction femelle du stock. En plus, une campagne vidéo est également indépendante de la tranche horaire adoptée : si les capacités du

⁸ Catégorie 3 : selon la catégorisation des stocks sous suivi scientifique international (CIEM), pour la catégorie 3 on considère comme valides uniquement les tendances des descripteurs principaux de l'évolution (tels le recrutement, la mortalité par pêche et la biomasse de reproducteurs, SSB) et non leurs valeurs absolues.

navire choisi pour les travaux s'y prêtent, on peut envisager des opérations en continu.

Cependant, les résultats obtenus en 2014 et 2015 (environ 5 milliards de terriers à langoustines sur la "Grande Vasière") croisés avec les données issus de l'échantillonnage biologique des débarquements et rejets (cf. tableau 2) indiqueraient que le "taux de prélèvement" ("harvest rate") pour ce stock se situerait à un niveau proche de 5% ce qui correspond à un niveau d'exploitation très modéré (la majorité des valeurs de "harvest rate" sur les aires CIEM VI et VII sont estimées dans la gamme 10-18%). Ce taux demande confirmation compte tenu de la pression de pêche par chalutage exercée sur la "Grande Vasière" (prélèvement hors rejets de pêche de 3 000 à 3 500 t sur moins de 12 000 km² de surface totale).

Ce type de campagne s'appuie sur deux hypothèses fortes : (1) on suppose que les terriers à langoustines, reconnaissables par les experts, ne sont habités que par de langoustines, or on ne peut pas exclure que d'autres fousseurs tels les galathées (§3.7) puissent s'y réfugier ; (2) on suppose qu'un terrier inhabité est détruit à une brève échéance, or on n'a pas suffisamment d'éléments pour confirmer ou infirmer ce postulat. Pour la première hypothèse, le couplage des opérations vidéo et chalutage à l'instar de ce qui a été pratiqué pour LANGOLF-TV 2014 et 2015, permettra de disposer d'un facteur correctif du nombre de terriers ajouté aux autres facteurs actuellement considérés au sein du CIEM (cf. tableau 16). Pour la seconde hypothèse, étant donné la bathymétrie du stock du golfe de Gascogne, on peut plutôt procéder par analogie à d'autres stocks situés à des secteurs moins profonds (e.g. stocks au nord de l'Ecosse) qui ne sont cependant pas régis par la même configuration courantologique.

Tableau 16. Exemple des facteurs de correction du nombre de terriers selon la procédure d'évaluation des stocks de langoustines par vidéo sous-marine. Exemple tiré du stock de "Smalls" (mer Celtique, FU22). A titre comparatif : valeurs estimées pour le golfe de Gascogne (sur les données 2014 avec une couverture plus complète de la superficie de la "Grande Vasière").

FU	AREA	EDGE EFFECT	DETECTION RATE	SPECIES IDENTIFICATION	OCCUPANCY	CUMULATIVE BIAS
22	Smalls	1.35	0.9	1.05	1	1.3

Golfe de Gascogne : edge effect : R=1.145 ; detection rate : D=0.94

L'usage de la vidéo permet de s'affranchir d'une modélisation "lourde" du type XSA avec conversion de la structure de tailles en structure d'âges (jusqu'à neuf groupes d'âge dans les évaluations en routine opérées jusqu'à 2013). Toutefois, les projections à partir de la combinaison du comptage des terriers et des données commerciales (débarquements, rejets) sont toujours faites en appliquant des modèles de croissance individuelle de Von Bertalanffy assez contestables chez les crustacés.

4.2. Volet technique et financier.

Dans le cas où les campagnes expérimentales de vidéo sous-marine menées en 2014 et 2015 s'avèrent opérationnelles et garantissent la modification de la catégorisation⁹ du stock de langoustines du golfe de Gascogne au sein du CIEM¹⁰, la question d'une solution pérenne pour la réalisation en routine de cette campagne se pose.

Une réflexion sur la pérennisation de la campagne LANGOLF-TV a été menée au cours du programme, s'agissant, d'une part, des moyens techniques disponibles (en tenant compte de leurs coûts respectifs) et, d'autre part, des modalités de financement d'une telle campagne en routine.

Recensement et comparaison des moyens techniques :

Le CNPMM et l'Ifremer ont recensé les différents moyens d'étude qui pourraient être envisagés en lieu et place de ceux du Marine Institute (traîneau vidéo et navire).

La solution retenue (couple "engin d'étude + navire d'accueil") doit en tout état de cause répondre aux spécificités de cette campagne de vidéo sous-marine :

- ✓ Manœuvre du traîneau vidéo possible à une profondeur moyenne d'étude de 100 mètres (maximum à 200 mètres),
- ✓ Acquisition des données en continu (24/24h) : si une acquisition en continu n'est pas possible, la durée de la campagne (prévue actuellement à 10-15 jours doit être en conséquence rallongée – ce qui augmente considérablement les coûts),
- ✓ Analyse des vidéos en direct : d'après l'expérience des Etats membres qui utilisent déjà cette méthode d'évaluation, il s'avère que les analyses d'image sont de meilleure qualité lorsqu'elles sont réalisées en direct (il y a plus d'erreurs commises lors de la lecture à terre), de plus il est très difficile de constituer des binômes de lecteurs à terre compte tenu du plan de charge de chacun,
- ✓ Capacité d'accueil suffisante pour l'équipe scientifique (8 personnes), afin de permettre un rythme de travail soutenable (sur 24/24h),
- ✓ Disposer d'un treuil suffisamment puissant pour manœuvrer le traîneau.

S'agissant des **engins d'étude** disponibles, il ressort des discussions avec les ingénieurs en technologies halieutiques de l'Ifremer à Lorient, que deux engins de l'Ifremer pourraient répondre partiellement aux besoins de la campagne, un seul d'entre eux pouvant éventuellement être modifié pour y répondre totalement :

- L'**EROC** (Engin Remorqué d'Observation de Chaluts – Ifremer-Lorient) est utilisé par l'Ifremer pour les applications suivantes : valider le comportement d'engins de pêche, observer le comportement des espèces autour des technologies de pêche et de systèmes sélectifs. Il présente l'avantage d'acquérir des vidéos en temps réel.

⁹ Actuellement, la langoustine est classée en catégorie 3 (seules les tendances des évaluations sont validées), la validation de l'évaluation par vidéo pourrait permettre son classement en catégorie 1.

¹⁰ Compte-tenu que le prochain *benchmark* du CIEM pour les stocks de langoustines ne devrait se tenir qu'à l'automne 2016, cette validation ne pourra effectivement intervenir qu'à cette échéance (dans le meilleur des cas).

Toutefois il ne semble pas possible de l'utiliser dans le cadre de LANGOLF-TV dans la mesure où il est initialement conçu pour être traîné en pleine eau et non sur le fond. Il semble difficilement envisageable de le transformer en traîneau car sa structure n'est pas adaptée au travail sur le fond (elle est plus haute que large) et d'autre part, elle ne permet pas un champ de vision plus large que 40 cm donc pas optimal pour les observations.

- Le **PAGURE** (Ifremer-Boulogne-sur-Mer) est un traîneau benthique remorqué développé dans le cadre des projets FP7-Benthis et Interreg 4A Panache, pour des applications liées à la caractérisation des effets des engins de fond sur les habitats marins. Il pourrait répondre aux besoins de LANGOLF-TV, excepté sur l'acquisition en temps réel des vidéos, du fait qu'il n'est pas équipé en fibre optique. Néanmoins, il pourrait être envisagé de le modifier en ce sens.
- Une autre solution résiderait dans la **conception d'un nouveau traîneau vidéo** pour les besoins de LANGOLF-TV. Les premiers renseignements pris auprès du Marine Institute par l'Ifremer ont permis d'estimer les coûts de conception d'un tel engin (le traîneau du Marine Institute a coûté environ 250 000 € mais, compte-tenu des évolutions technologiques, l'institut estime que sa reproduction coûterait aujourd'hui environ 100 000 €) et de maintenance (environ 10 000 € par an). Le Marine Institute a également fourni à l'Ifremer les spécifications techniques de son traîneau vidéo (mis au point en 2008 par la société de technologie sous-marine MacArtney ; il est prévu de le "remettre à niveau" en 2018).

Quel que soit l'engin d'étude alternatif retenu, il est également essentiel de réfléchir au **navire d'accueil** pour la mise en œuvre de cet engin et l'accueil du personnel scientifique. Si l'on tient compte des caractéristiques nécessaires pour la campagne LANGOLF-TV, l'étude des solutions possibles montre qu'elles sont limitées et onéreuses :

- Parmi les navires de la **flotte océanographique** de l'Ifremer (ou pouvant être mis à sa disposition), il s'avère que seuls l'ANTEA (de l'IRD) et la THALASSA pourraient répondre aux besoins de la campagne et accueillir l'engin d'étude. En effet, le THALIA a une capacité d'accueil de personnel scientifique réduite, qui n'est pas compatible avec un rythme de travail soutenable pour les techniciens embarqués. Néanmoins le coût de mise à disposition de la THALASSA est très élevé (25 000 €/jour) ; celui de l'ANTEA est plus abordable (9500 €/jour – à comparer aux 8000 €/jour du CELTIC VOYAGER, qui comprend également la location du traîneau), mais ce navire appartenant à l'IRD, il sera difficile de maîtriser les dates de campagne (priorité donnée aux campagnes de l'IRD).
- La mise à disposition d'un **navire professionnel** nécessiterait que ce dernier puisse être équipé d'un treuil adapté à l'engin d'étude, qu'il ait une capacité d'accueil suffisante pour le personnel scientifique, qu'il puisse être équipé d'une chambre noire pour les comptages, etc. Compte-tenu de ces spécificités, il faudrait que ce navire mesure au moins 25-30 mètres. Or il n'existe plus beaucoup de navires professionnels de cette taille opérant dans le golfe de Gascogne et d'autre

part, les coûts d'équipements et de mise à disposition d'un tel navire seraient probablement très élevés.

En conclusion, à court terme, la solution du navire du Marine Institute paraît la plus réaliste tout en étant comparativement plus abordable que l'appel à un navire de la flotte de l'UMS. En outre cette solution garantit un bon fonctionnement du système vidéo car un électronicien du marine Institute fait partie de l'équipage mis à disposition. A moyen-long terme, s'affranchir des moyens d'étude du Marine Institute permettrait de ne plus être contraint par leur disponibilité et donc de pouvoir choisir la période optimale pour la réalisation de la campagne. En outre, si le tarif de location aujourd'hui proposé par le Marine Institute s'avère très concurrentiel, il n'est pas exclu qu'il soit un jour revu à la hausse. Il est d'ailleurs à noter qu'en 2015, une avarie survenue sur le CELTIC VOYAGER a conduit le Marine Institute à le remplacer par un autre navire (PRINCE MADOG, de la flotte océanographique britannique), entraînant une augmentation du tarif de location.

A ce titre, s'il est possible d'envisager une adaptation du PAGURE ou la mise au point d'un nouveau traîneau-vidéo dédié, la question du navire d'accueil reste toutefois centrale et non résolue à ce jour. En outre, il faut garder à l'esprit que la mise au point d'une solution d'étude trop éloignée de la solution actuellement utilisée pourra nécessiter de prévoir en conséquence une nouvelle validation par le CIEM.

Possibilités de financement à long terme de la campagne LANGOLF-TV

Le FEAMP (Fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche) apparaît comme l'outil adapté au financement à long terme de la campagne LANGOLF-TV, ce qu'a confirmé la Direction des pêches maritimes et de l'aquaculture lors de la réunion du Copil du 19 mars 2015.

La campagne LANGOLF-TV pourrait notamment être financée au titre de l'article 77 du FEAMP relatif à la collecte de données. Il appartient au CIEM de proposer à la Commission européenne qu'une campagne donnée soit financée à ce titre. Néanmoins, il s'agit d'une démarche de long terme, qui nécessite une coordination avec les autres Etats membres concernés et dont l'aboutissement est encore incertain.

Dans l'attente, il serait possible de financer la campagne LANGOLF-TV au titre de l'article 28 du FEAMP relatif aux partenariats entre scientifiques et pêcheurs. Les fonds disponibles au titre de cet article sont gérés au niveau national par la DPMA, dans le cadre d'appels à projet. Il pourrait être envisagé de financer la campagne LANGOLF-TV 2016 dans ce cadre pour autant que l'arrêt des opérations de chalutage sur des navires professionnels à partir 2016 ne remette pas en cause la notion de "partenariat".

5. Bilan opérationnel

5.1. Environnement

Les acquisitions vidéo sur La Grande Vasière sont de très bonne qualité : sur les 260 stations réalisées au cours des deux campagnes, une seule station à très faible visibilité (présence de chalutiers sur zone) a été recensée.

5.2. Formation lecteurs

Au cours des deux années de campagne 10 lecteurs : 8 Ifremer, 1 MNHN, 1 CDPM Finistère ont été reconnus aptes au comptage des terriers de langoustine.

6. Préconisation à court terme

6.1. Allongement de la campagne

La campagne 2014 s'est déroulée dans des conditions météorologiques idéales : pas de vent ni de houle. Cependant, par manque de temps la partie Sud de la Grande Vasière (Plateau de Rochebonne) n'a pu être couverte.

La campagne 2015 a été amputée de 2.5 jours compte tenu de mauvaises conditions météorologiques : les stations vidéo en dessous de 46°4 N n'ont pas été réalisées.

A l'avenir, 14 jours de campagne vidéo seraient nécessaires pour couvrir de façon homogène l'ensemble de la Grande Vasière et mieux déterminer ses limites.

6.2. Lecture automatisée des vidéos

Le comptage des terriers de langoustine nécessitent des heures de lecture avec utilisation de compteurs mécaniques. Ce travail, consommateur de temps est fastidieux et la fatigue peut être source d'erreur. Les irlandais (Ken Sooknananet *al.*) ont entrepris la création d'un système pour la détection automatique de terriers. Ils proposent l'utilisation de mosaïques pour la détection automatisée de terriers sur le fond. Les terriers sont déterminés en utilisant la segmentation d'image basée sur le contraste d'image local. Ces travaux sont en cours d'amélioration.

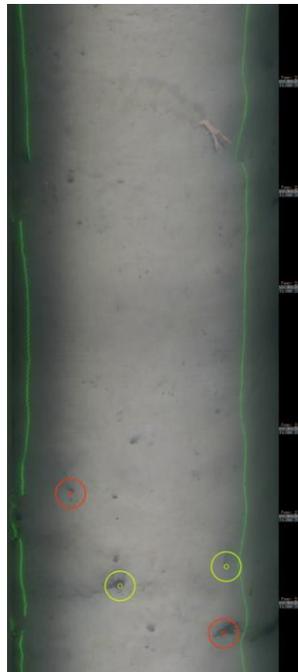
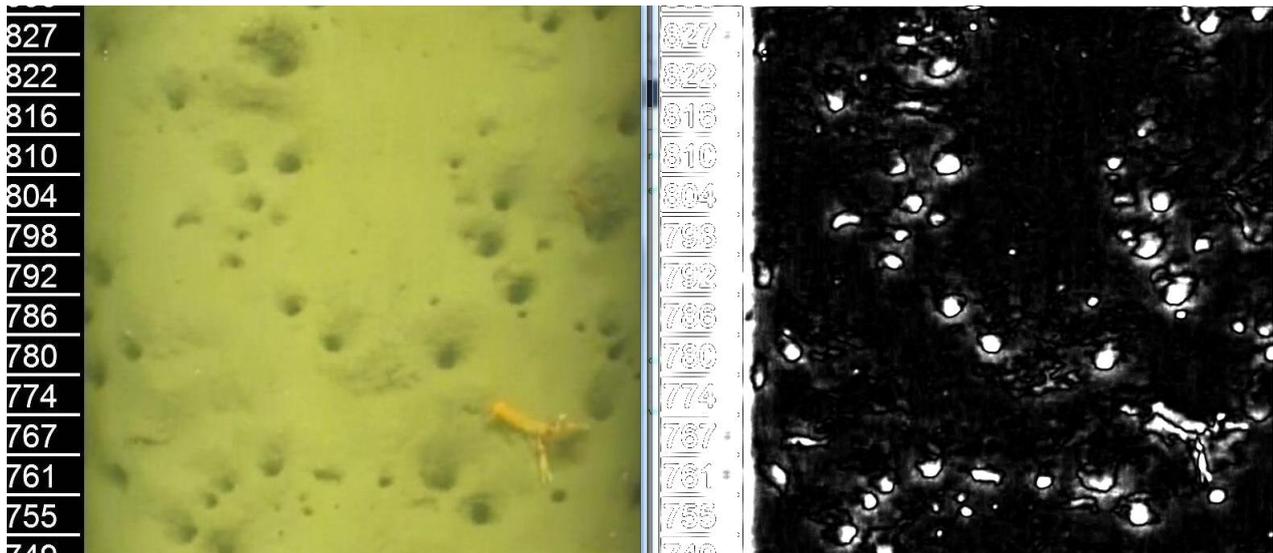


Figure 27. Exemple de détection automatique des terriers par traitement d'images et reconstruction de mosaïques à partir de de vidéos (Marine Institute).

6.3. Création d'une vidéothèque de référence

Les séquences d'images acquises en 2014 et 2015 serviront à la création de vidéos de référence de la Grande Vasière dans les différents types de fond, de vitesse d'acquisition et de visibilité. Ce jeu de données sera utilisé pour les formations à la reconnaissance des terriers et aux tests de lecture.

6.4. Amélioration des connaissances

Plusieurs questions demandent d'être approfondies : (1) Quelle est la structure d'un complexe (terrier à entrées multiples) ? (2) Quelle est sa taille ? (3) Combien d'entrées dispose-t-il ? (4) Quelles interconnexions éventuelles entre complexes ?

Ces interrogations nécessitent des observations in situ comme cela a pu être réalisé en Ecosse : le coulage de résines dans des terriers situés à faible profondeur a permis de déterminer le nombre moyen d'entrées et de mettre en évidence la communication des terriers de langoustine avec les terriers d'autres espèces.

Ces plongées ont également pu montrer que certains complexes sont occupés par des juvéniles et des adultes mais la profondeur moyenne de la Grande Vasière rend difficile ce type d'opérations.

7. Utilisation des données

Dans le cadre du projet TETRIS porté par l'Ifremer : l'objectif du projet consiste à utiliser les vidéos acquises lors de campagnes LANGOLF-TV 2014 et 2015, afin d'évaluer les densités d'organismes présents sur les transects (poissons et méga-benthos) et de les mettre en relation avec différentes variables environnementales comme la nature du substrat, la densité de marques de chalut ou encore la pression de pêche obtenue à partir des données VMS.

Bibliographie :

Anon, 2007a. Report of the WGHMM (Working Group on Hake Monk Megrin stocks), ICES, Vigo, 8-17/05/07.

Anon, 2007b. 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: 3 Ref: 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 2012. Report of the Study Group on *Nephrops* Surveys (SGNEPS). ICES CM 2012/SSGESST: 19. Ref: SCICOM, ACOM

Anon, 2015. Report of the WGBIE (Working Group for the Bay of Biscay and the Iberian Waters Ecoregion), ICES, Copenhagen, 4-10/05/15.

Fifas S., Macher C., Rochet M.-J., D'Hardivillé C., 2006. Sorting factors in the Nephrops norvegicus French trawl fishery of the Bay of Biscay (VIIiab). ASC ICES, Maastricht 18-22/09/06, K:13 : 13 p.

Ken Sooknanan, Jennifer Doyley, James Wilson_, Naomi Harte_, Anil Kokaram, David Corrigan, 2013. Mosaics For Burrow Detection in Underwater Surveillance Video. OCEANS San Diego.

Marrs S. J., Atkinson R. J. A., Smith C. J., Hills J. 1996. Calibration of the towed underwater TV technique for use in stock assessment of *Nephrops norvegicus*. 1996. *European Commission Final Report, DG XIV, 94/069. 155 pp.*

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 LANGOLF. Investigation des incertitudes.

Notations :

i = sexe [$i=m,f$]

h = strate [$h=1,\dots,ns$] (dans notre cas : $ns=5$)

j = station dans la strate h [$j=1, \dots, n_h$]

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 [$l=l_{\min}, \dots, l_{\max}$] 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 :

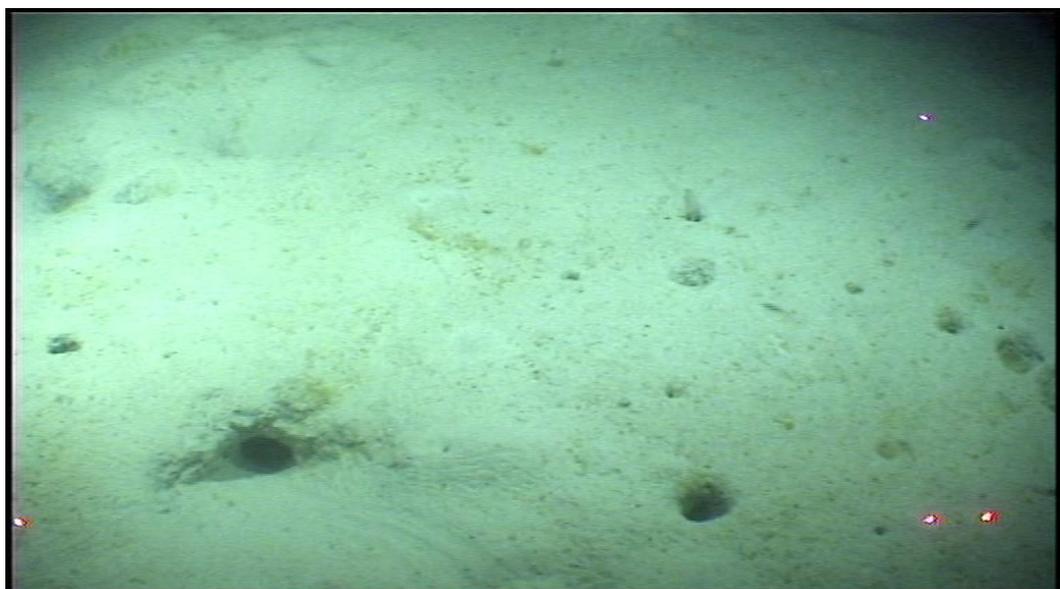
La variance de l'indice global par sexe, $V[Y_i]$, est calculée selon :

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

avec :

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

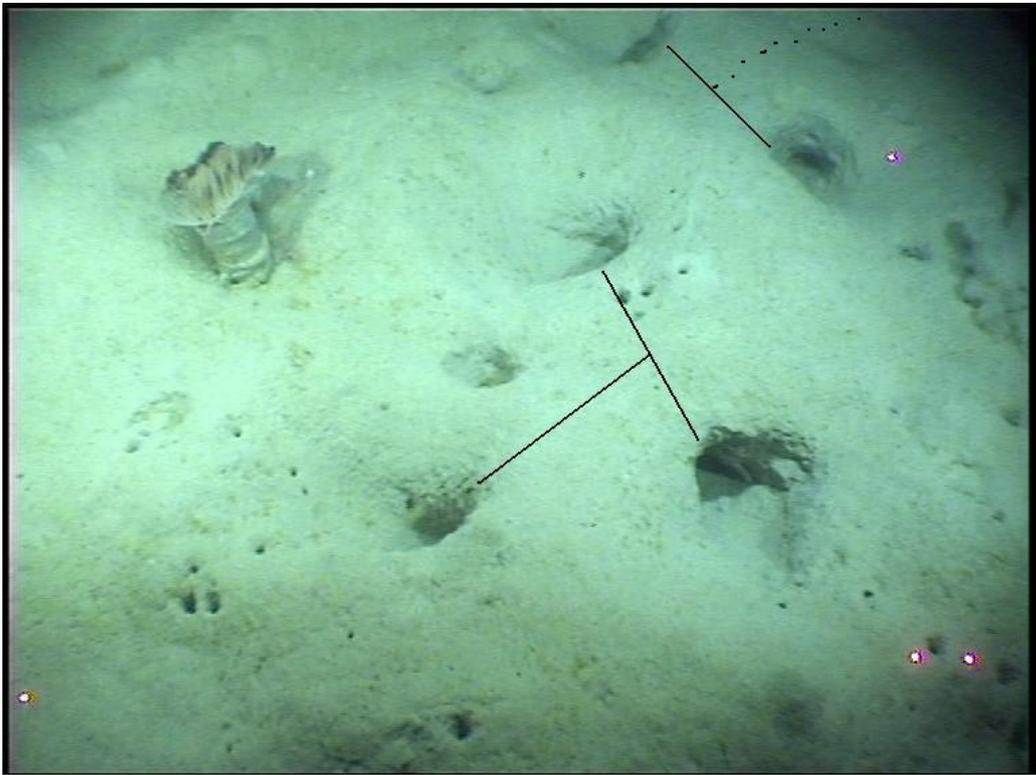
ANNEXE II : Signatures de langoustine



Sédiment repoussé, trou en forme de croissant, entrée en pente douce marquée de griffures= terrier de Langoustine.



Langoustine dans son terrier.



Terrier de langoustine à trois entrées ; celles-ci convergent vers un centre surélevé.