



Evolution de l'abondance de *P. caeruleostictus* en Guinée / Guinée-Bissau

Mohamed Soumah ¹, Ousmane Tagbé Camara ¹, Ibrahim Diallo ¹, Didier Jouffre ², Jeremias Francisco Intchama ³, Josepha Pinto ³, Beyah Meissa ⁴, Florian Quemper ⁵, Didier Gascuel ⁵ et Jérôme Guitton ⁵

¹ Centre National des Sciences Halieutiques de Boussoura (CNSHB), Conakry, République de Guinée.

² IRD (Institut de Recherche pour le Développement), MARBEC/ France.

³ Centre d'Investigation des Pêches Appliquées (CIPA), Bissau, Guinea-Bissau.

⁴ Institut Mauritanien de Recherches Océanographiques et de Pêches (IMROP), Nouakchott, Mauritanie.

⁵ UMR DECOD (Dynamique et Durabilité des Ecosystèmes), INRAE, Institut Agro Rennes-Angers, IFREMER, Rennes, France

Rapport réalisé dans le cadre du projet Européen DEMERSTEM



Table des matières

Résumé exécutif.....	3
1. Introduction	4
1.1. Méthode delta-GLM	4
1.2. Biologie de l'espèce	5
2. Analyse des données des campagnes scientifiques	6
2.1. Description de la donnée scientifique.....	6
2.2. Construction du modèle d'abondance	8
2.2.1. Modèle de présence/absence.....	8
2.2.2. Modèle des densités positives (IA+)	10
2.2.3. Couplage des modèles de présence/absence et des densités positives.....	12
3. Analyse des données de pêche artisanale (Guinée).....	14
3.1. Description de la donnée commerciale (PA)	14
3.2. Construction du modèle d'abondance	15
3.2.1. Modèle de présence/absence.....	15
3.2.2. Modèle des densités positives (IA+)	17
3.2.3. Couplage des modèles de présence/absence et des densités positives.....	19
4. Analyse des données de pêche industrielle (Guinée)	20
4.1 Description de la donnée commerciale (PI).....	20
4.2. Construction du modèle d'abondance	22
4.2.1. Modèle de présence/absence.....	22
4.2.2. Modèle des densités positives (IA+)	23
4.2.3. Couplage des modèles de présence/absence et des densités positives.....	24
5. Agrégation des indices d'abondance	25
5.1. Standardisation et dérivées de puissances des pêches	25
5.2. Indices d'abondances finaux.....	28
Références bibliographiques	29
ANNEXES	31

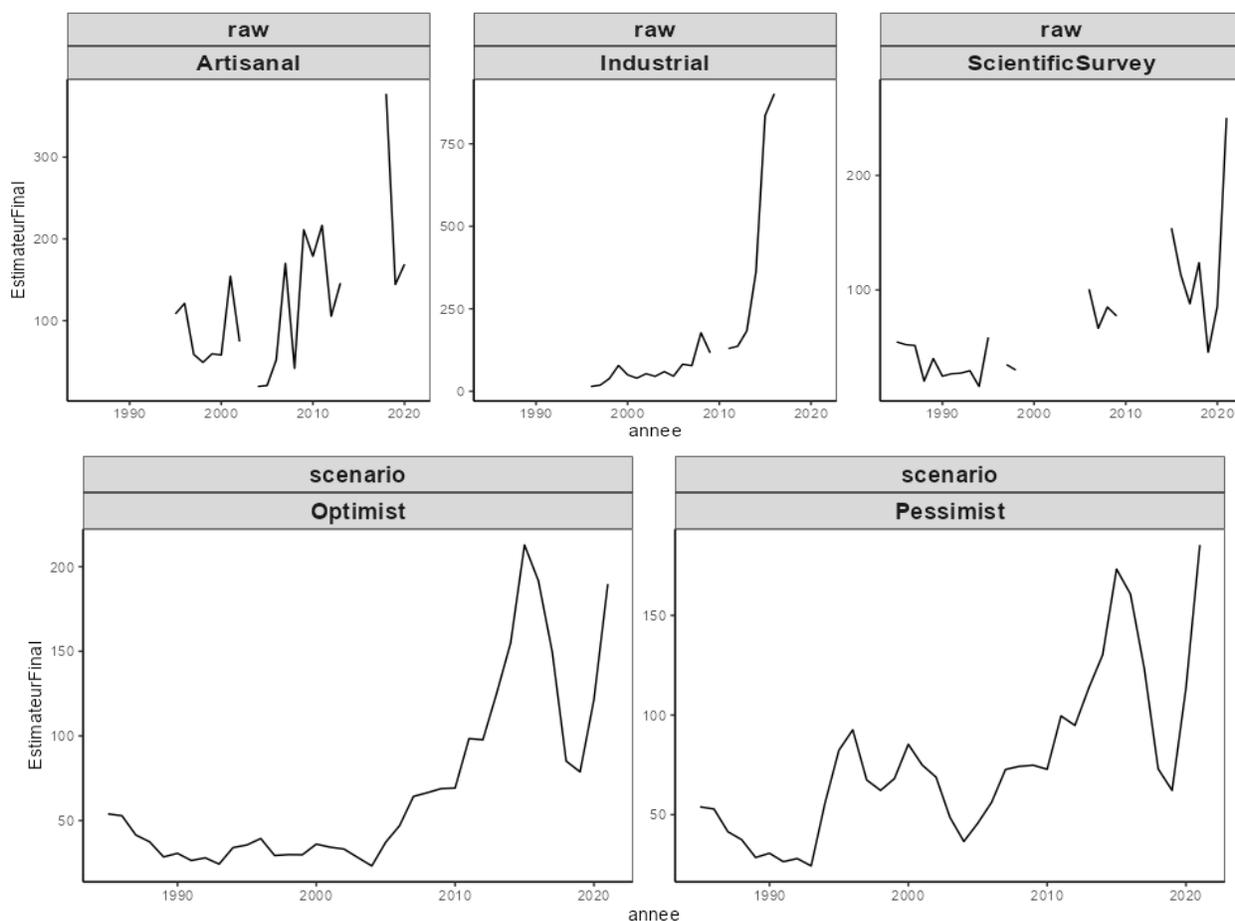
Résumé exécutif

Le présent document décrit l'utilisation des modèles linéaires généralisés (GLM) pour la création d'indices d'abondance du stock de dorade rose (*Pagrus caeruleostictus*) dans la zone Guinée/Guinée-Bissau. Les modèles GLM permettent de prendre en compte les variations de protocole d'échantillonnage dans l'observation des captures des flottilles de pêche concernées. Les données utilisées proviennent, d'une part des campagnes scientifique démersales réalisées en Guinée et Guinée-Bissau depuis les années 1980, et d'autre part des données de captures et d'effort des pêcheries artisanales et industrielles maritimes collectés depuis 1995 en Guinée.

Le document décrit la démarche utilisée pour identifier les strates d'échantillonnage les plus pertinentes à intégrer aux modèles selon :

- Des critères statistiques de pourcentage de variance expliqué par la strate
- Une expertise des scientifiques locaux pour identifier les populations statistiques (engin par exemple pour les flottilles artisanales) qui sont les plus à même de refléter l'abondance réelle du stock.

Une fois le modèle défini, nous avons pu produire 5 indices d'abondance : 3 indices bruts issus des données scientifiques, industrielles et artisanales et 2 séries combinant ces indices 'bruts' selon des scénarios de dérive de puissance des pêches (optimiste ou pessimiste).



L'ensemble des séries obtenues sont disponibles ici : <https://doi.org/10.57745/ZSUM9B>

1. Introduction

1.1. Méthode delta-GLM

Les indices d'abondances sont généralement estimés à partir des données d'observations issues des campagnes scientifiques, ou à partir des statistiques de pêches issues des flottilles commerciales. Dans un cas comme dans l'autre, estimer des indices d'abondance reste cependant une tâche relativement complexe, compte tenu notamment de plan d'échantillonnage souvent fortement déséquilibrés. Dès lors, force est de constater que bien souvent les méthodes utilisées ne sont pas statistiquement optimales, ce qui peut conduire à des estimations biaisées et/ou à des incertitudes très fortes (Meissa et al, 2008).

Dans le présent travail une méthode statistique basée sur les Modèles Linéaires Généralisés (GLM) est présentée. Elle est mise en œuvre pour estimer une série annuelle d'indices d'abondance standardisés, à partir des captures par unités d'effort (CPUE) des flottilles commerciales, ou à partir des indices d'abondances issus des campagnes scientifiques.

Les GLM sont une extension du Modèle linéaire (LM) dont l'utilisation est limitée à certaines conditions, notamment la normalité des résidus, condition rarement respectée dans l'analyse des données halieutiques. Cependant, le principe reste le même que celui de l'analyse par modèle LM et consiste à faire le lien entre des variables à expliquer (réponses) et des variables explicatives (Meissa et al, 2008).

La modélisation des CPUE permet de prendre en compte les variations spatio-temporelles de la disponibilité de la ressource. Pour les CPUE commerciales, cela permet aussi de considérer les différences de puissance de pêche des catégories de navires qui peuvent avoir des effets significatifs sur la CPUE (e.g. puissance motrice du navire, type de conservation, licence de pêche...).

Le nombre important d'observations nulles dans les CPUE (e.g. « zero-inflated data ») empêche souvent l'utilisation d'un modèle de type LM pour modéliser les effets des différents facteurs (année, engin, zone, type de navire...). Pour y remédier, une solution est de réaliser un modèle de type Delta (Stefansson 1996, Le Pape et al. 2003). Ce modèle est obtenu en combinant deux sous-modèles : i) un premier modèle pour modéliser l'absence et la présence de l'espèce dans les traits de chalut ; ii) l'autre pour modéliser les valeurs positives des CPUE (Meissa et al, 2013).

Sous modèle 1 : Distribution binomiale de présence-absence

Un sous-modèle de présence/absence permet l'estimation de la probabilité de présence de l'espèce dans chaque trait de chalut. Le GLM sous hypothèse d'une distribution binomiale s'écrit :

$$Z_{t,j,k,l} = \text{logit}(p_{t,j,k,l}^{>0}) \quad (1.a)$$

avec

$$Z_{t,j,k,l} = \mu_0 + \phi_t + \beta_j + \gamma_k + \delta_l \quad (1.b)$$

où $p_{t,j,k,l}$ est l'espérance de la probabilité de présence de l'espèce considérée, t, j, k, l étant utilisés pour indiquer les niveaux de chaque variable (année t , region j , strate bathymétrique k , saison l). Ce modèle peut être élargi à d'autres variables explicatives. La prédiction de la probabilité de présence est obtenue par transformation inverse logit :

$$p_{t,j,k,l}^{>0} = \frac{e^{Z_{t,j,k,l}}}{1 + e^{Z_{t,j,k,l}}} \quad (2)$$

Sous modèle 2 : Distribution gaussienne du log des CPUE pour les observations non nulles

Ce sous-modèle permet l'analyse des observations non-nulles (correspondant à une CPUE positive, noté IA^+). Dans un premier temps, une transformation logarithmique est appliquée sur les données afin d'homogénéiser les variances et de tenir compte de la nature multiplicative des effets étudiés. On suppose que la réponse $\log(IA)$ suit un modèle linéaire du type :

$$U_{t,j,k,l} = \log(IA_{t,j,k,l}^+) = \mu_0 + \phi_t + \beta_j + \gamma_k + \delta_l \quad (3)$$

où $p_{t,j,k,l}$ est la capture par unité d'effort. Afin de revenir à l'échelle initiale des CPUE, une transformation logarithmique inverse est effectuée en tenant compte de la correction de Laurent (1963) qui permet d'obtenir des valeurs non biaisées de l'espérance de l'indice d'abondance (IA) :

$$IA_{t,j,k,l}^+ = \exp\left(\hat{U}_{t,j,k,l} + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (4)$$

Combinaison des deux sous-modèles

Les indices d'abondances annuels prédits par le modèle delta (IA) sont obtenus en moyennant le produit des probabilités de présences et des CPUE prédites pour les observations non nulles :

$$IA_t = \overline{\sum_{j,k,l} (p_{t,j,k,l}^{>0} \cdot IA_{t,j,k,l}^+)} \quad (5)$$

1.2. Biologie de l'espèce

Le *Pagrus caeruleostictus*, aussi appelé *Sparus caeruleostictus* ou dorade rose, fait partie de la communauté des sparidés. Cette communauté à sparidés du golfe de Guinée a également été décrite par Longhurst (1963 et 1969). Domain (1980), Caverivière (1982) et Chabanne (1987) complètent ces travaux dans la zone s'étendant de la Mauritanie à la Guinée. Cette communauté se constitue d'espèces plutôt d'affinité d'eaux froides et vivant généralement sur les fonds durs sableux ou sabla-vaseux de la partie intermédiaire du plateau continental, en dessous de la thermocline.

En Guinée celle-ci est peu marquée et la température de l'eau de mer décroît régulièrement de 26 à 15°C entre 15 et 80 mètres environ. D'une façon générale les variations saisonnières de la salinité à ces profondeurs sont faibles, ce qui entraîne très peu de modifications de la zone d'extension de cette communauté au cours de l'année. *Pagrus caeruleostictus* ou dorade rose, dont la biologie a été étudiée au Sénégal par Giret (1974) et au Ghana par Rijavec (1973) est présente sur la plus grande partie du plateau continental, au-delà de 15 m de profondeur. Elle est surtout abondante entre 15 et 25 m où des rendements moyens de 16 Kg par 30' de pêche ont été obtenus lors des campagnes. Au-delà, l'abondance diminue progressivement avec la profondeur pour devenir insignifiante à partir de 45 m, mais sa présence est relevée jusqu'à 80 m de profondeur.

La gamme des tailles rencontrées est comprise entre 4 et 40 cm. Les jeunes individus se rencontrent toute l'année dans la partie la plus côtière de l'aire de distribution de l'espèce qui chevauche alors la partie la plus profonde de la communauté à sciaenidés. Ils peuvent y supporter

des salinités inférieures à 32°/00. Les adultes quant à eux, fuient les eaux dessalées et se trouvent plus au large. On observe d'ailleurs que, à la fin de la saison des pluies, les grands individus se trouvent essentiellement au large et dans le sud, loin des eaux dessalées. La dorade rose appelée "sinapa" en Guinée-Bissau est exploitée dans ce pays à la fois par la pêche industrielle et par la pêche artisanale dont elle constitue l'une des principales espèces cibles (Chavance et al., 1994).

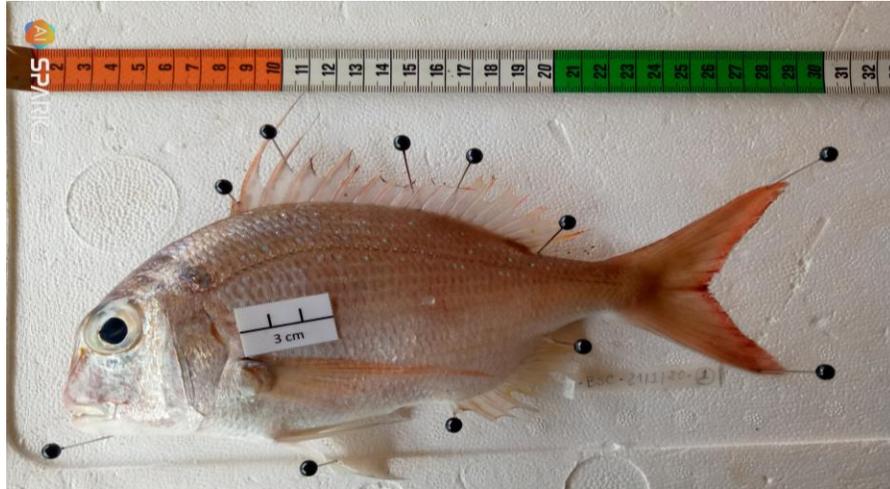


Figure 1 - Photo de *Pagrus caeruleostictus* collectée durant le projet DEMERSTEM à Cacheu (Guinée Bissau)

Cette étude vise à étudier l'état du stock de *P. caeruleostictus* en Guinée et Guinée-Bissau. Néanmoins, les données issues de la Guinée-Bissau étant incomplètes, elles ne permettent pas de distinguer une analyse par pays (GIN et GNB). Nous réalisons ce travail selon l'hypothèse d'un stock commun sur la zone Guinée/Guinée-Bissau et utilisons les données de GNB quand cela est possible. Pour chaque type de données, (scientifique, Pêche Artisanale, Pêche Industrielle) une première phase de l'étude a été de sélectionner les variables parmi toutes celles disponibles afin d'appliquer une procédure d'optimisation statistique (procédure stepAIC) sur les variables les plus pertinentes. Plusieurs modèles ont en amont été testés, notamment pour différentes stratifications et, à termes, nous présentons uniquement la démarche avec le modèle conservé.

2. Analyse des données des campagnes scientifiques

2.1. Description de la donnée scientifique

Les données scientifiques proviennent des campagnes en mer de trois navires océanographiques : André Nizery, Antea et GLC opérant respectivement de 1985 à 1995, 1997 à 1998 et 2004 à 2021.

Il n'existe pas d'intercalibration entre les navires réalisant les campagnes d'échantillonnages scientifique. Ainsi, les campagnes trop anciennes sont retirées du jeu de donnée (1963-1964) et on pose l'hypothèse que le coefficient d'intercalibration est de 1 pour les plus récentes (Domain et al, 2000). Chaque navire a un engin différent des autres dont les caractéristiques techniques se trouvent dans la base de données trawlbase (Nizery et Antea) et PRESH-UEMOA (Nizery, Antea et GLC). Il n'y a pas eu de campagne en 2005 mais quelques stations réalisées début janvier 2005 appartiennent à la campagne débutée en décembre 2004. Dans le cadre de cette analyse, ces échantillonnages sont rattachés à l'année 2004. Les campagnes scientifiques réalisées en Guinée-Bissau en 1984, 1985 (AN), 2006 et 2012 (GLC) sont conservées.

Les codes campagnes ont été regroupés en fonction de l'initial de chacun des navires de recherche utilisé pour la mise en œuvre des évaluations directes des stocks. Ce sont :

- André Nizery, code campagne = AN ;
- Antea, code campagne = AT ;
- Général Lansana Conté (GLC), code campagne = GL pour les campagnes financées par la Guinée, l'UEMOA et PRAO-Guinée.

Une description des séries de campagnes scientifiques et des caractéristiques techniques sont présentés dans les Tableau 1 et Annexe 1.

Tableau 1 - Descriptif des périodes d'activités des navires scientifiques

Navire	Annee	Nombre de campagne	Nombre de trait
Andre Nizery	1985 - 1995	23	1995
Antéa	1997 - 1998	3	296
GLC	2004 - 2021	13	1432

Une première analyse a porté sur la stratification des variables en différentes modalités. Ces modalités sont sélectionnées et filtrées selon leur pertinence et en s'assurant qu'elles sont constituées d'un nombre suffisant d'observations. En particulier, concernant le facteur **bathymétrie**, nous retirons les valeurs inférieures à 5 m, les navires scientifiques ne se rendant pas dans de telles zones.

La Figure 2 permet de représenter le nombre d'observations pour chaque modalité - en distinguant les présences et les absences -.



Figure 2 - Nombre d'observations par modalités - Campagnes Scientifiques

2.2. Construction du modèle d'abondance

2.2.1. Modèle de présence/absence.

Une procédure statistique stepAIC est réalisée à partir des variables (**annee**, **saison**, **strate_bathymetrique** et **zone**) et le modèle sélectionné par optimisation statistique est :

$$\text{presence} \sim \text{bathy} + \text{annee} + \text{zone} + \text{saison} + \text{annee:saison} + \text{bathy:annee} + \text{zone:bathy}$$

Nous sélectionnons les variables expliquant une part significative de la variabilité en se basant sur les sorties d'une ANOVA.

Tableau 2 - Analyse de la variance (ANOVA) du modèle de présence/absence issu de la procédure stepAIC

Effect	Df	% variance	% of explained (36.5%)	P-value	signif.
bathy	3	20.0	55	< 0.001	***
zone	2	8.5	23	< 0.001	***
annee	25	2.8	8	< 0.001	***
saison	1	0.3	1	< 0.001	***
bathy:annee	67	2.8	8	< 0.001	***
bathy:zone	6	1.4	4	< 0.001	***
annee:saison	10	0.7	2	< 0.001	***
zone:saison	2	0.2	0	< 0.01	**
Residuals	3,623	63.5			

Ainsi, nous conservons les effets **strate_bathymetrique**, **zone** et **annee** qui sont significatifs et expliquent respectivement 20%, 8.5% et 2.8% de la variance.

Les interactions expliquant une part importante de la variance sont ensuite étudiées. Dans ce cas, les interactions n'expliquent que très peu de la variance, nous étudions tout de même les interactions **annee:bathy** et **bathy:zone**.

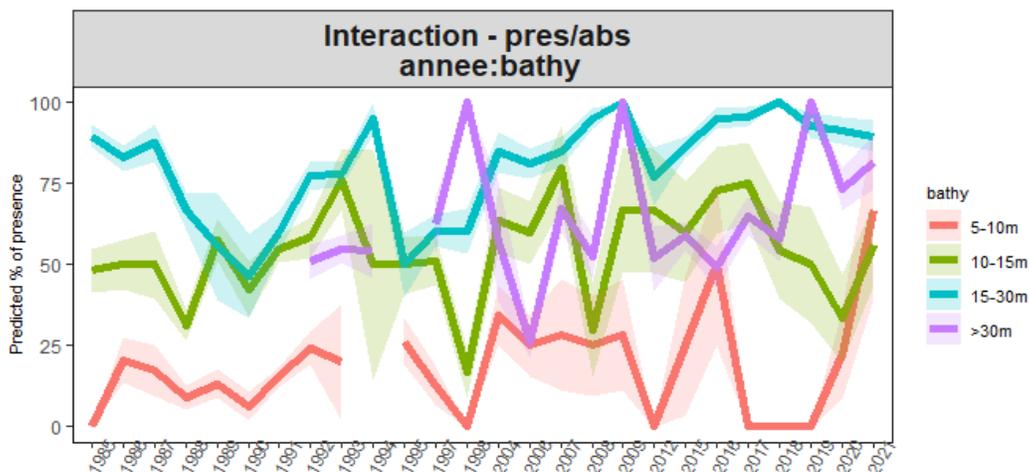


Figure 3 - Interaction annee:bathy du modèle de présence-absence

On observe sur la Figure 3 que pour un nombre important d'années, au moins une strate bathymétrique n'est pas échantillonnée. De plus, aucun changement dans les tendances n'est interprétable. Cette interaction n'est pas conservée.

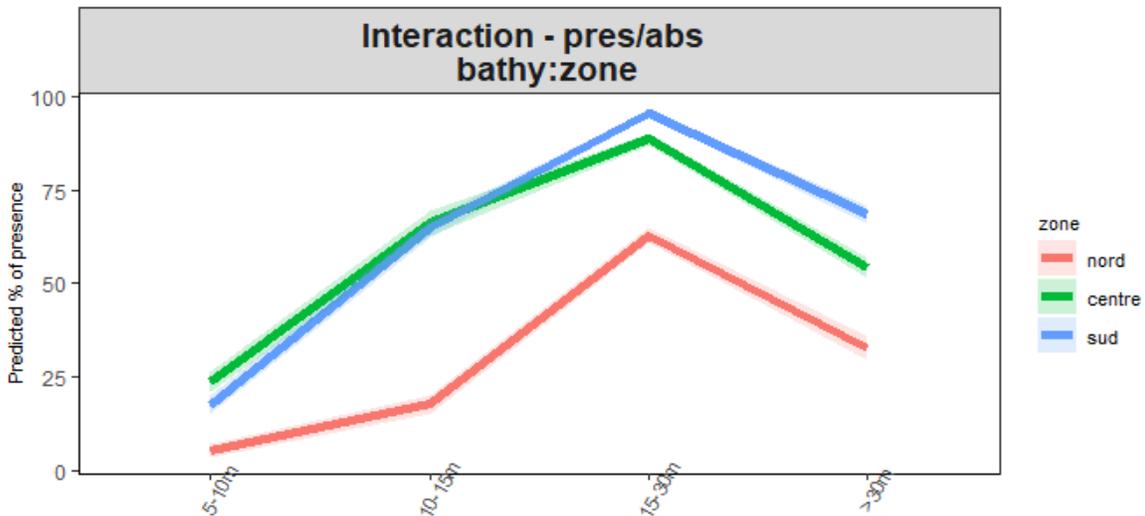


Figure 4 - Interaction zone:bathy du modèle de présence-absence

On observe un schéma de répartition qui varie légèrement selon la zone, avec des pourcentages de présence plus faible pour la strate bathymétrique 10 - 15 m au Nord. Cette interaction explique environ 5 % de la variabilité relative et diminue l'AIC de 20 points. Nous conservons donc cette interaction et le modèle devient :

$$\text{presence} \sim \text{bathy} + \text{annee} + \text{zone} + \text{bathy:zone}$$

Le Tableau 3 fournit les sorties statistiques de ce modèle. Les prédictions annuelles sont présentées en Figure 5. Il en ressort que les probabilités de présence semblent être légèrement plus élevées depuis les années 2000 (période correspondant à l'échantillonnage réalisé par GLC). Par ailleurs, les probabilités de présence de *P. caeruleostictus* sont plus élevées au Sud pour des profondeurs de 15 – 30 m (Annexe 3)

Tableau 3 - ANOVA du modèle pres/abs final

Effect	Df	% variance	% of explained (32.4%)	P-value	signif.
bathy	3	20.0	62	< 0.001	***
annee	25	3.2	10	< 0.001	***
zone	2	8.0	25	< 0.001	***
bathy:zone	6	1.3	4	< 0.001	***
Residuals	3,703	67.6			

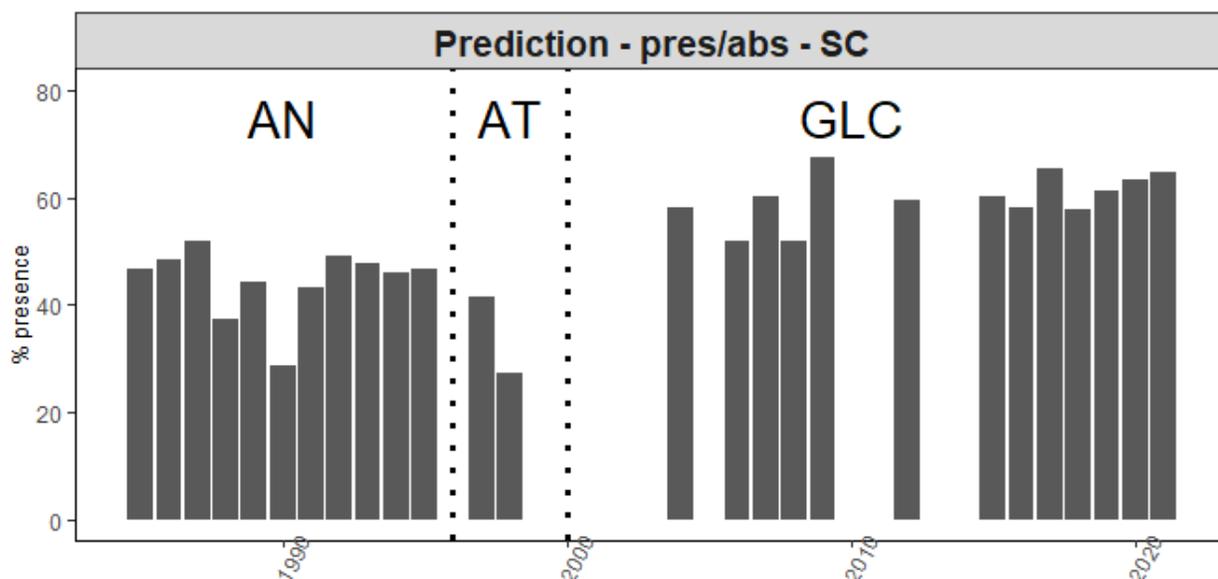


Figure 5 - Prédictions de la probabilité de présence par année

2.2.2. Modèle des densités positives (IA+)

En sélectionnant les facteurs (**annee**, **zone**, **saison**, **strate_bathymetrique**), le modèle retenu par optimisation statistique (procédure stepAIC) puis sélection des variables significatives (Tableau 4) est le suivant :

$$\log(\text{densite}) \sim \text{annee} + \text{bathy} + \text{zone} + \text{annee:saison} + \text{zone:bathy}$$

Tableau 4 - ANOVA du modèle des densités positives (IA+) issu de la procédure stepAIC

Effect	Df	% variance	% of explained (22.9%)	P-value	signif.
annee	25	12.5	55	< 0.001	***
zone	2	1.9	8	< 0.001	***
saison	1	0.0	0	< 1	
bathy	3	5.9	26	< 0.001	***
annee:saison	10	1.1	5	< 0.001	***
zone:saison	2	0.3	1	< 0.05	*
zone:bathy	6	1.1	5	< 0.001	***
Residuals	2,087	77.1			

L'analyse de l'interaction **annee:saison** indique un plan d'échantillonnage fortement déséquilibré et incomplet. Aucune tendance dans l'évolution des abondances qui diffère avec la saison n'est identifiée (Figure 6).

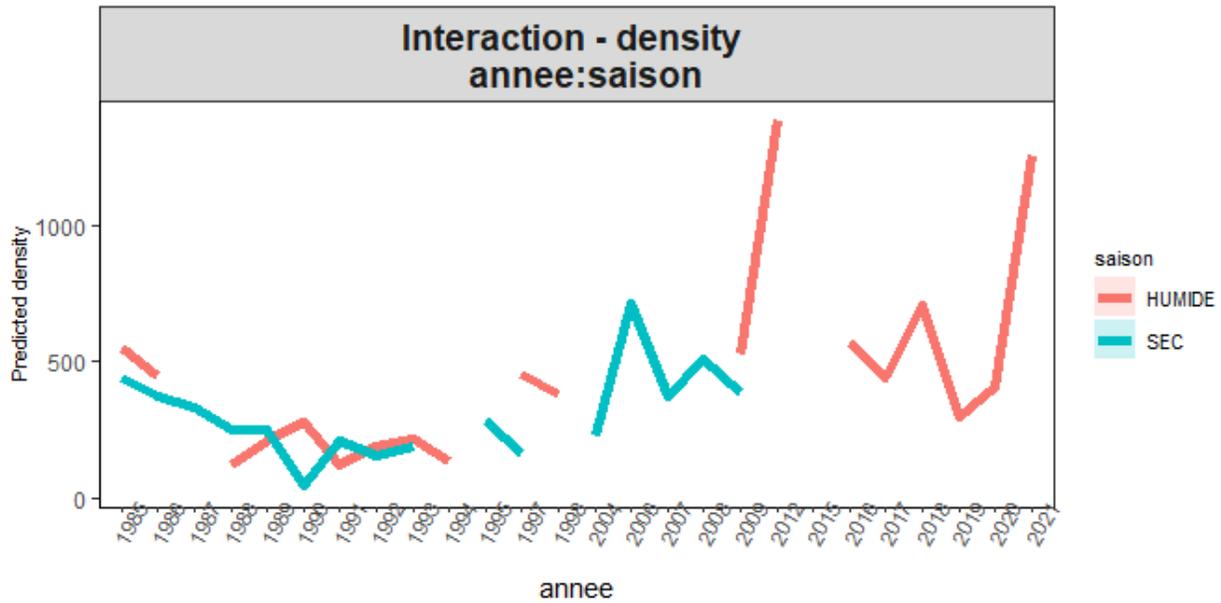


Figure 6 - Interaction annee:saison du modèle des densités positives (AI+)

Concernant l'interaction **bathy:zone**, on observe sur la Figure 7 une augmentation des densités pour la strate bathymétrique la plus profonde (> 30 m) au Nord, alors qu'elle diminue dans les zones Centre et Sud. Cette interaction, déjà identifiée dans le cas du modèle de présence-absence, est également conservée pour les mêmes raisons (diminution de l'AIC et part de variabilité expliquée suffisante).

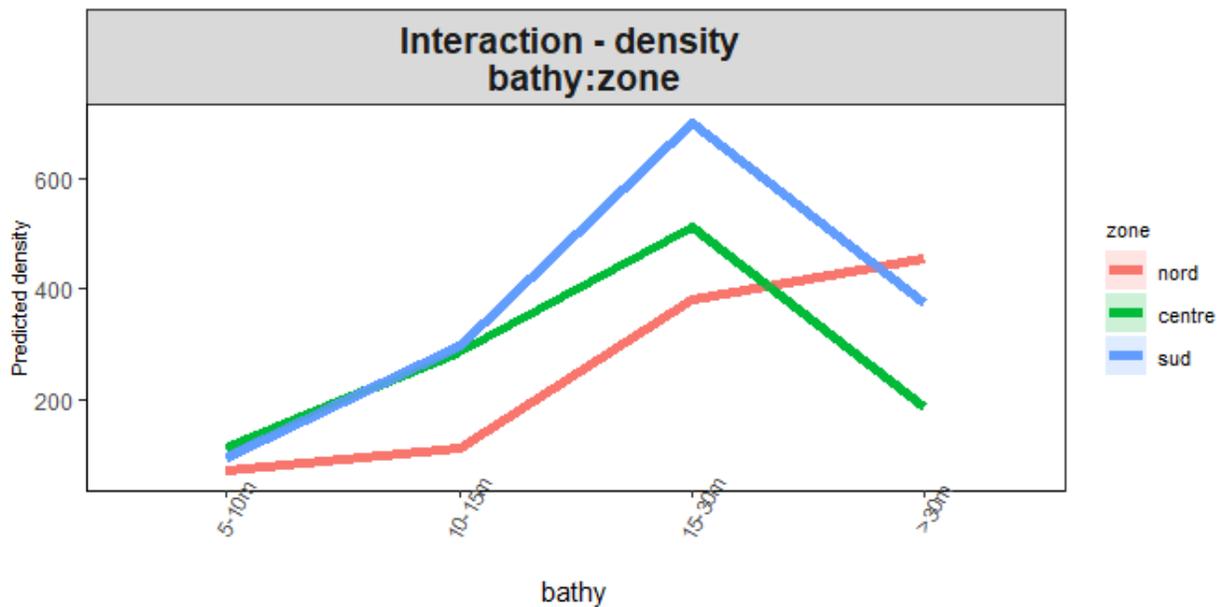


Figure 7 - Interaction annee:saison du modèle des densités positives (AI+)

Après analyse des interactions, le modèle final des densités positives est :

$$\log(\text{densite}) \sim \text{annee} + \text{bathy} + \text{zone} + \text{zone: bathy}$$

Le Tableau 5 récapitule les sorties statistiques et la Figure 8 présente les prédictions des densités par année. On observe une légère diminution des densités entre 1985 et 1995 qui est suivie d'une augmentation graduelle qui se finalise par des pics de densités en 2012 et 2021.

Tableau 5 - ANOVA du modèle des densités positives (IA+) final

Effect	Df	% variance	% of explained (21.5%)	P-value	signif.
annee	25	12.5	58	< 0.001	***
bathy	3	4.8	22	< 0.001	***
zone	2	3.0	14	< 0.001	***
bathy:zone	6	1.2	6	< 0.001	***
Residuals	2,100	78.5			

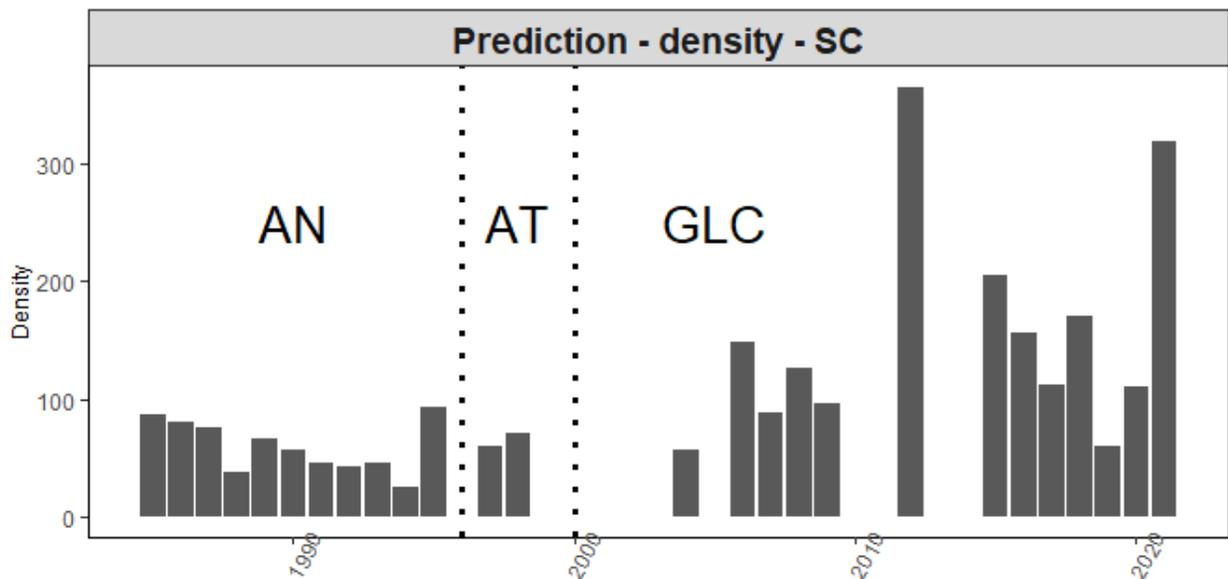


Figure 8 - Prédications des densités par année

2.2.3. Couplage des modèles de présence/absence et des densités positives

Le modèle delta-GLM d'abondance est obtenu en combinant les deux sous-modèles précédemment construits (présence-absence et densités positives) et permet d'obtenir une série temporelle d'IA (par année). Le Tableau 6 récapitule les différents modèles construits. La figure 9 représente les probabilités de présence et les densités prédites au cours du temps. Dans les 2 cas on identifie une hausse après les années 2000.

Tableau 6 - Récapitulatif des sous-modèles sélectionnés

Modele	Expression
Presence/absence	presence ~ bathy + annee + zone + bathy:zone
Densités positives	log(densite) ~ bathy + annee + zone + bathy:zone

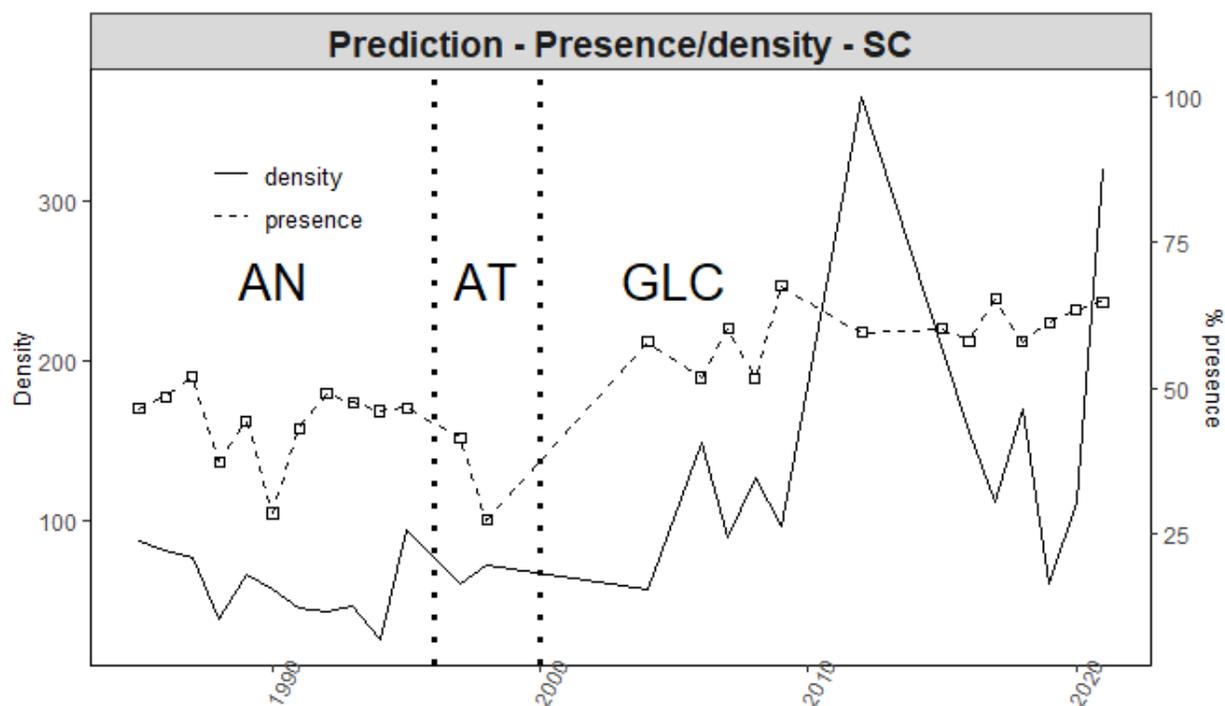


Figure 9 - Tendence des deux sous-modèles basé sur les données de campagnes scientifiques (% de présence et densités)

Les probabilités de présence et les densités sont prédites pour chaque combinaison de modalités puis pondérées par les surfaces de chaque classe bathymétrique dans les différentes zones (Tableau 7). Les indices d'abondances sont ensuite calculés pour chaque combinaison de modalités - multiplication de la probabilité de présence et de la densité -, puis moyennés par année (Figure 10).

Tableau 7 - Surfaces par classe de bathymétrie dans les différentes zones

Zone	Strate bathymetrique	Surface (km ²)
sud	5-10m	661.5
	10-15m	1,009.3
	15-30m	2,872.3
centre	5-10m	626.6
	10-15m	1,014.0
	15-30m	3,069.0
nord	5-10m	2,522.0
	10-15m	1,389.0
	15-30m	5,536.0

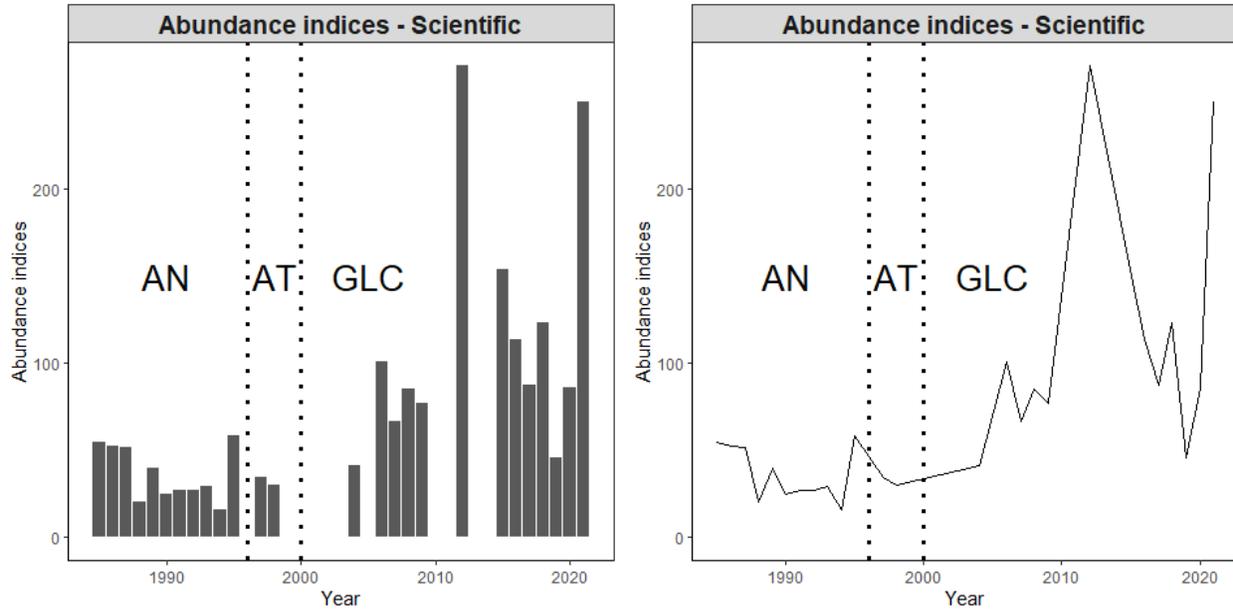


Figure 10 - Indices d'abondance issus du modèle delta-GLM - Données scientifiques

On retrouve bien les tendances décrites par les prédictions des probabilités de présence et densités avec un indice d'abondance qui diminue légèrement jusqu'en 1995. S'en suit une période d'augmentation ponctuée de fortes abondances certaines années (2012 et 2021).

3. Analyse des données de pêche artisanale (Guinée)

3.1. Description de la donnée commerciale (PA)

Les données de la pêche artisanale maritime sont extraites de la base de données du système d'enquêtes statistiques du CNSHB. Dans le cadre de ce modèle d'évaluation, ces données de la pêche artisanale sont utilisées avec une série longue de 1995 à 2020. Dans le cadre de cette étude portant sur *P. caeruleostictus* (dorade rose) seules les pirogues de type salan (SA) sont utilisées. Les années 1999, 2003, 2015 et 2016 sont retirées de l'analyse (nombre d'observations trop faible et présence de données aberrantes). La combinaison (Ligne + Palangre) dans **HA** et les Filets Maillants Calés (**FMC**) qui sont les engins les plus représentatifs des captures de Pagrus ont été retenus pour cette analyse.

Les ports sont réunis pour former 3 grandes zones géographiques, Sud (Conakry, Dubreka-Coyah et Forecariah), Centre (Boffa) et Nord (Boke) au niveau desquels il est reconnu que les pêcheurs concentrent leur activité de pêche et débarquent leur capture de dorade rose. Les zones Nord et Centre sont ensuite rassemblées en les considérant comme un seul ensemble homogène pour palier au faible nombre d'observations.

Ainsi, les variables testées sont : **annee**, **engin**, **zone** et **mois**

3.2. Construction du modèle d'abondance

3.2.1. Modèle de présence/absence

De même que pour la donnée issue des campagnes d'échantillonnage scientifique, une première analyse a porté sur la stratification des variables en différentes modalités. La Figure 11 permet de représenter le nombre d'observations pour chaque modalité - en distinguant les présences et les absences -. En particulier, on remarque des proportions identiques sur les séries 2008-2010 d'une part et 2012-2013 d'autre part. Pour autant, les captures en poids mesurées sont différentes sur ces années (voir modèle de densités positives). Ces observations sont donc conservées en l'état pour le modèle de présence/absence. La forte diminution du nombre d'observations au mois d'Août correspond à une diminution du nombre d'échantillonnage réalisée (période de congés des observateurs).

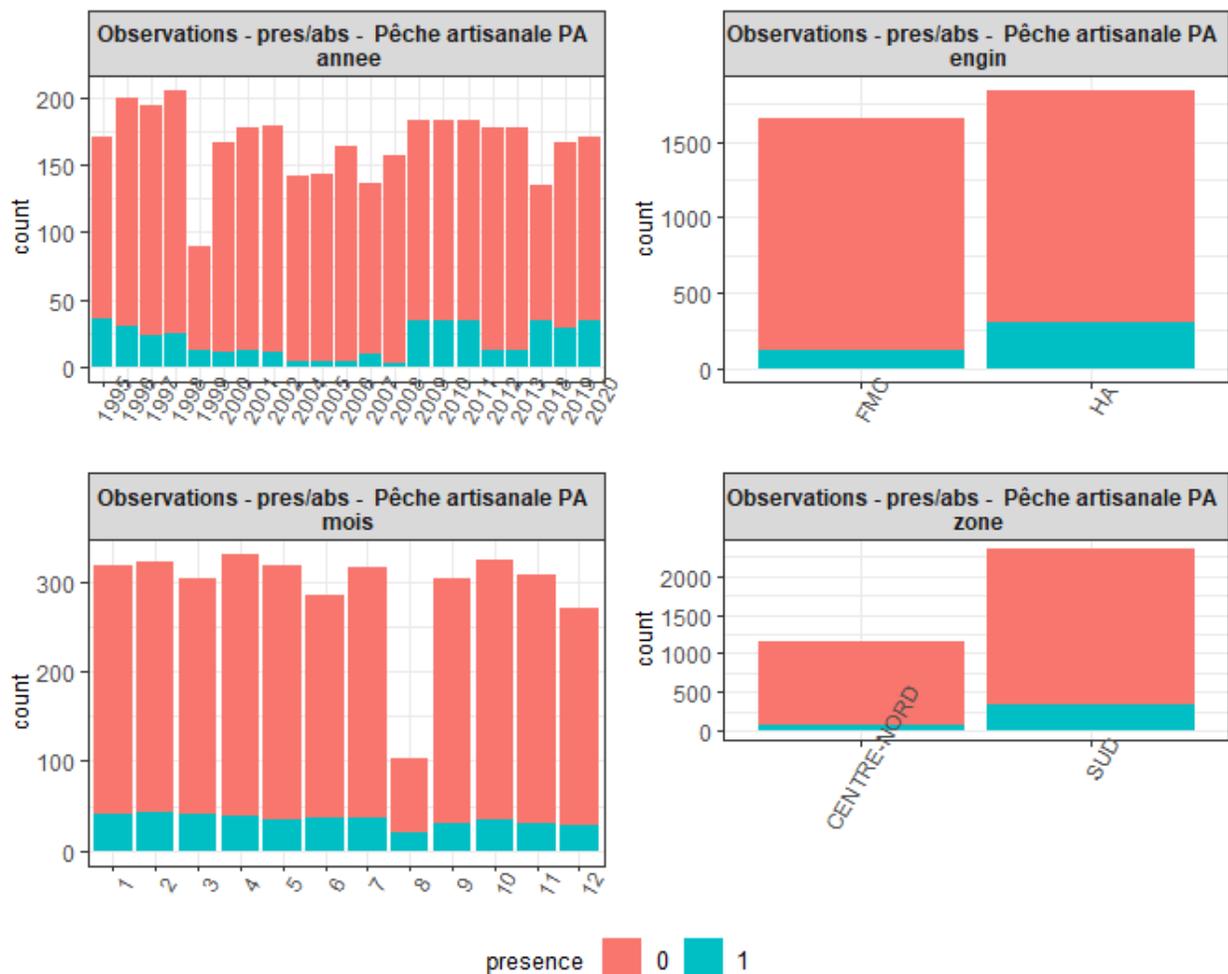


Figure 11 - Nombre d'observations par modalités - Pêche Artisanale

Une procédure statistique stepAIC est réalisée à partir des variables (**annee**, **mois**, **engin** et **zone**) et le modèle sélectionné par optimisation statistique est :

$$\text{presence} \sim \text{annee} + \text{engin} + \text{zone} + \text{annee: engin} + \text{engin: zone}$$

Nous sélectionnons les variables expliquant une part significative de la variabilité en se basant sur les sorties d'une ANOVA.

Tableau 8 - ANOVA du modèle de présence/absence issu de la procédure stepAIC

Effect	Df	% variance	% of explained (15.2%)	P-value	signif.
annee	20	4.6	30	< 0.001	***
engin	1	2.6	17	< 0.001	***
zone	1	1.5	10	< 0.001	***
annee:engin	20	2.4	16	< 0.001	***
engin:zone	1	4.2	28	< 0.001	***
Residuals	3,455	84.8			

Seule l'interaction **annee:engin** est conservée par le modèle issu de la procédure stepAIC (Figure 12).

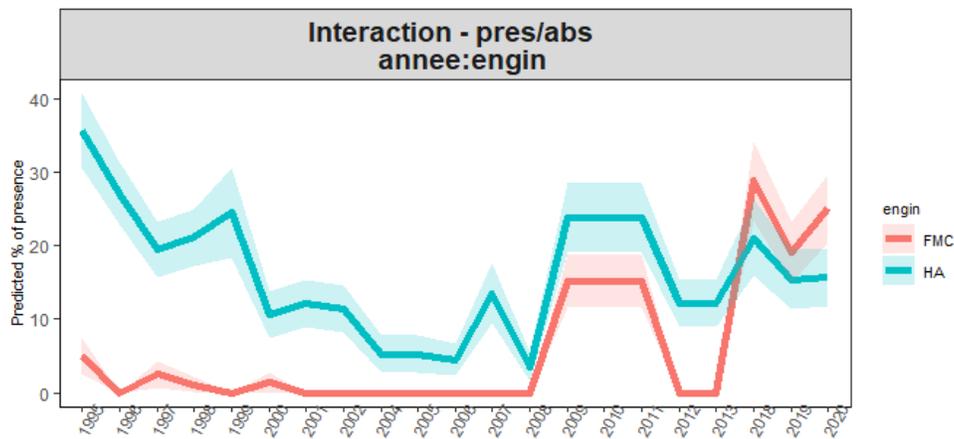


Figure 12 - Interaction annee:engin du modèle de présence-absence

On identifie une inversion des tendances suite à l'actualisation du système d'information halieutique (2016-2017). On écarte donc cette interaction. Il est intéressant de noter l'absence de pagrus dans les captures des filets maillants calés durant les périodes 2001-2008 et 2012-2013.

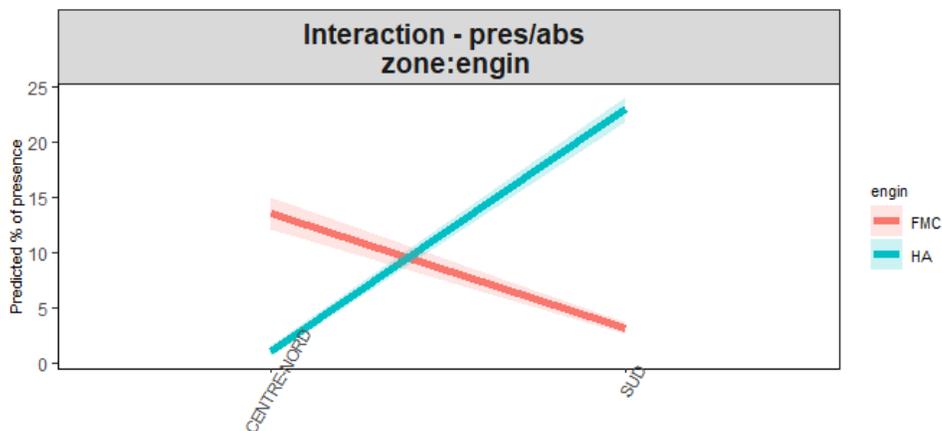


Figure 13 - Interaction annee:engin du modèle de présence-absence

On observe que les prédictions d'observations des engins selon la région varient de manière opposée, pour cette raison nous conservons cette interaction dans le modèle final.

presence ~ annee + engin + zone + engin: zone

Tableau 9 - ANOVA du modèle pres/abs final

Effect	Df	% variance	% of explained (13.7%)	P-value	signif.
annee	20	4.6	34	< 0.001	***
engin	1	2.6	19	< 0.001	***
zone	1	1.5	11	< 0.001	***
engin:zone	1	5.1	37	< 0.001	***
Residuals	3,475	86.3			

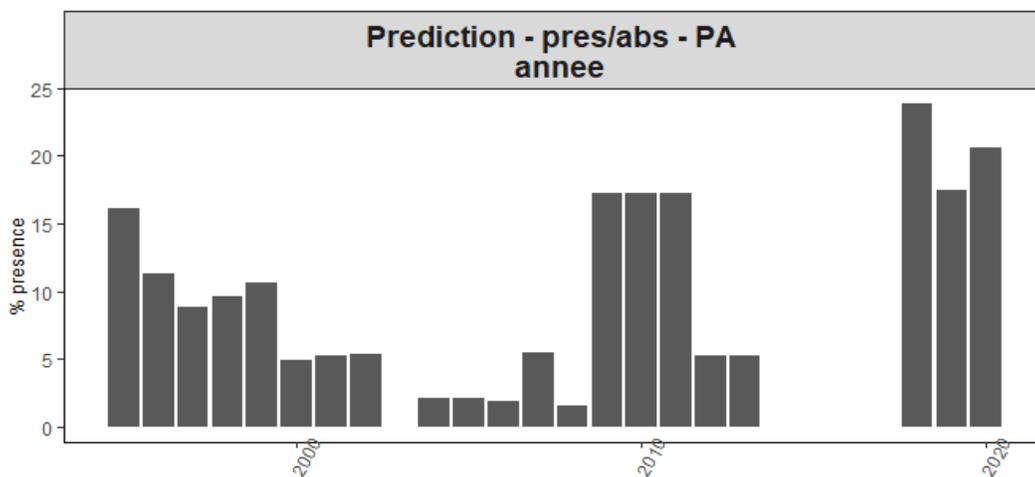


Figure 14 - Prédications de la probabilité de présence par année - PA

Les probabilités de présence diminuent jusqu'en 2006 avant de réaugmenter pour atteindre des valeurs maximales sur les dernières années.

3.2.2. Modèle des densités positives (IA+)

En sélectionnant les facteurs (**annee**, **engin**, **mois** et **zone**), le modèle retenu par optimisation statistique (procédure stepAIC) puis sélection des variables significatives est le suivant :

log(densite) ~ annee + engin + zone + annee: engin

Tableau 10 - ANOVA du modèle des densités positives (IA+) issu de la procédure stepAIC

Effect	Df	% variance	% of explained (47.1%)	P-value	signif.
engin	1	33.9	72	< 0.001	***
zone	1	4.7	10	< 0.001	***
annee	20	5.7	12	< 0.01	**
engin:annee	9	2.8	6	< 0.05	*
Residuals	381	52.9			

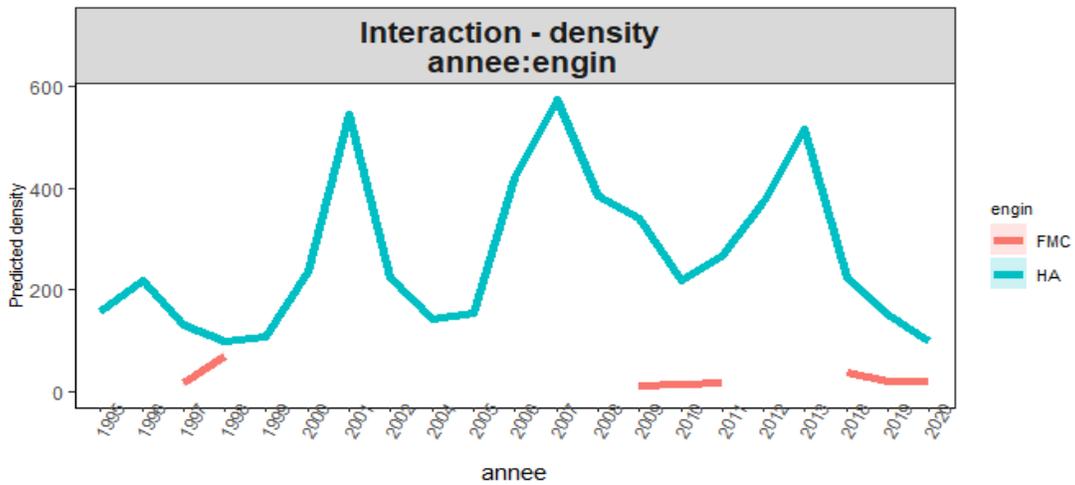


Figure 15 - Interaction annee:engin du modèle des densités positives (IA+)

L'analyse de l'interaction **annee:engin** indique que pour de nombreuses années nous ne disposons d'aucune informations sur les captures des filets maillants calés (FMC), ce qui avait effectivement été observé dans le modèle de présence-absence. Cette interaction n'est donc pas conservée dans le modèle final de densités positives :

$$\log(\text{densite}) \sim \text{annee} + \text{engin} + \text{zone}$$

Tableau 11 - ANOVA du modèle des densités positives (IA+) final

Effect	Df	% variance	% of explained (44.3%)	P-value	signif.
annee	20	15.7	36	< 0.001	***
engin	1	23.6	53	< 0.001	***
zone	1	5.0	11	< 0.001	***
Residuals	390	55.7			

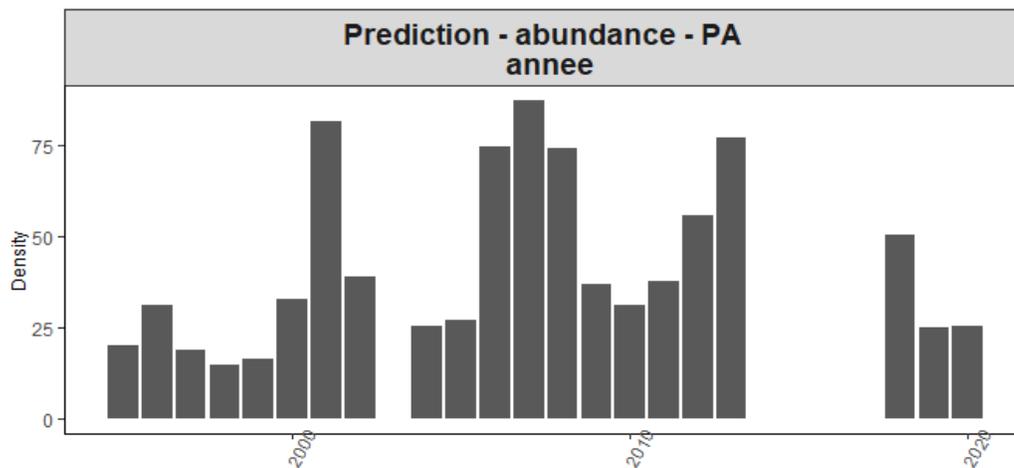


Figure 16 - Prédictions des densités par année

Les densités fluctuent fortement au cours de la période avec des périodes de creux et des pics successifs qui correspondent aux observations des Hameçons (HA en Figure 16 et Annexe 7)

3.2.3. Couplage des modèles de présence/absence et des densités positives

Les deux sous-modèles sont couplés selon la méthode précédemment décrite (cf 1.2.3) et fournissent les indices d'abondances à partir de la donnée artisanale. Le Tableau 12 récapitule les différents sous-modèles construits. La Figure 17 représente les probabilités de présence et les densités prédites au cours du temps.

Tableau 12 - Récapitulatif des sous-modèles sélectionnés

Modele	Expression
Presence/absence	presence ~ annee + engin + zone + engin:zone
Densités positives	log(densite) ~ annee + engin + zone

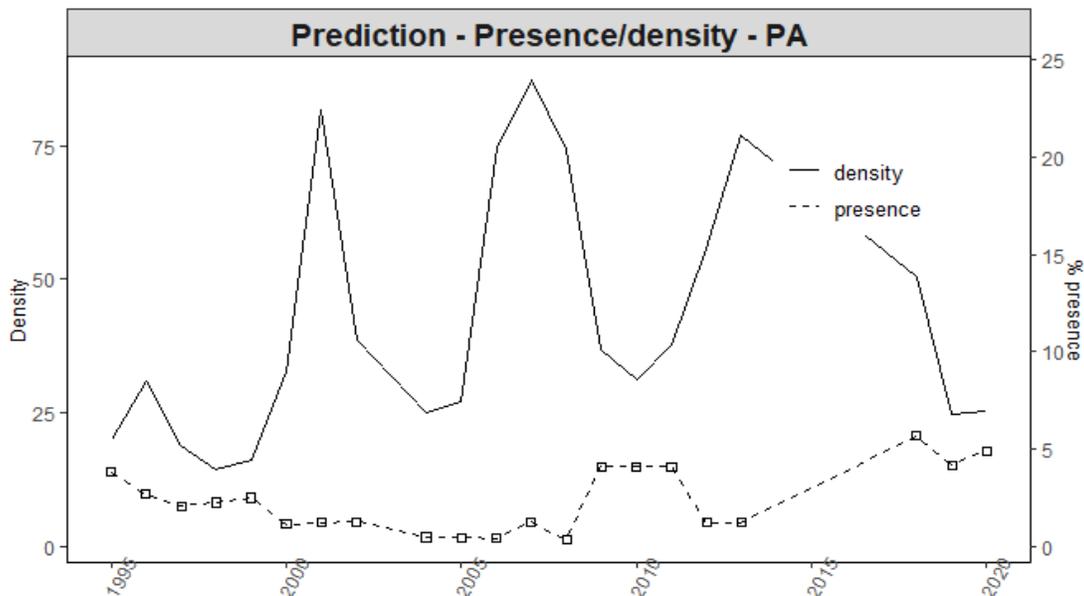


Figure 17 - Tendence des deux sous-modèles basés sur les données de pêche artisanale (% de présence et densités)

La Figure 18 présente l'IA issue de la PA. On identifie les mêmes phases que dans le modèle des densités positives, avec des fortes variations et une tendance globale qui correspond à celle observée avec les prédictions de probabilités de présence : diminution des IA, suivie d'une augmentation à partir de 2005.

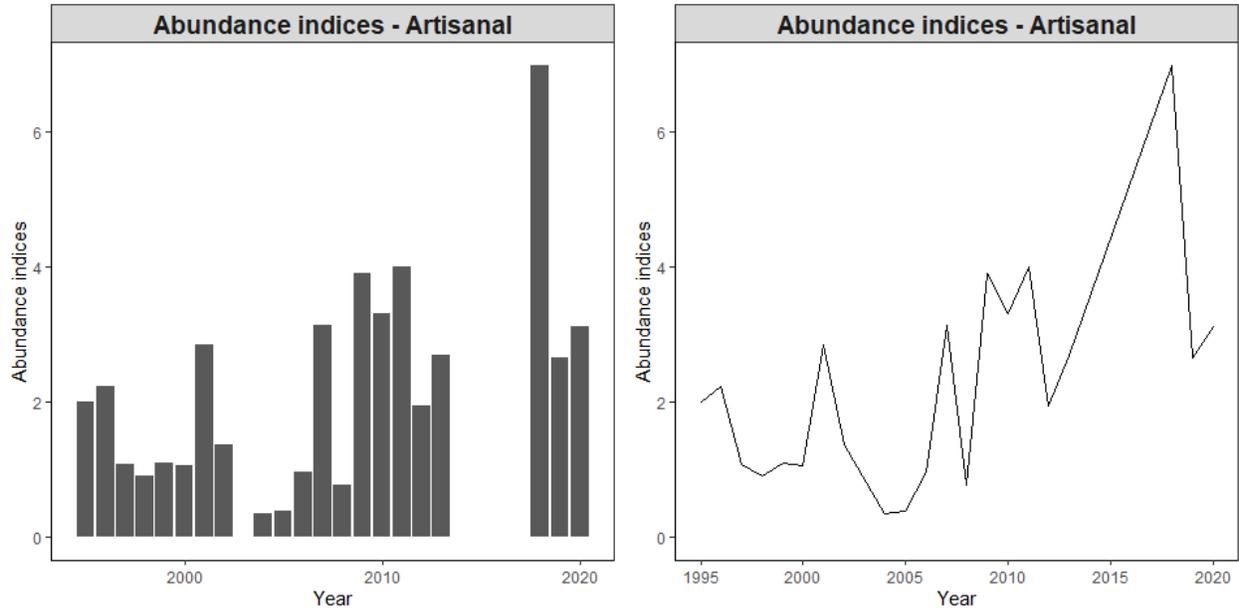


Figure 18 - Indices d'abondance issus du modèle delta-GLM - Données pêche artisanales (1995 - 2020)

4. Analyse des données de pêche industrielle (Guinée)

4.1 Description de la donnée commerciale (PI)

Après analyses des données et de différents modèles, nous conservons 2 licences de pêche qui présentent des captures importantes de *P. caeruleostictus* : Les licences **Demersales** et **Céphalopodières**. Par ailleurs, les variables **annee**, **puissance**, **zone bathymétrie**, **tjb**, **longueur**, et **mois** sont sélectionnées pour expliquer l'abondance de *P. caeruleostictus*. Les classes définies sont présentées dans le Tableau 12

Une analyse est réalisée en amont pour déterminer quelle variable sera utilisée pour exprimer la 'puissance' des navires. Au terme de celle-ci, la variable **puissance** est sélectionnée.

Tableau 13 - Description des stratifications utilisées et testées pour la donnée industrielle

Variable	TJB	Puissance	Longueur	Bathymetrie	Zone
Classes	< 150	< 1000	< 39	0 - 20	zonation < 13.30 ~ Sud
	150 - 250	1000 - 1500	39 - 44	20 - 30	13.30 < zonation < 13.85 ~ Centre
	250 - 500	> 1500	> 44	> 30	zonation < 13.85 ~ Nord
	> 500				

La Figure 19 permet de représenter le nombre d'observations pour chaque modalité - en distinguant les présences et les absences -.

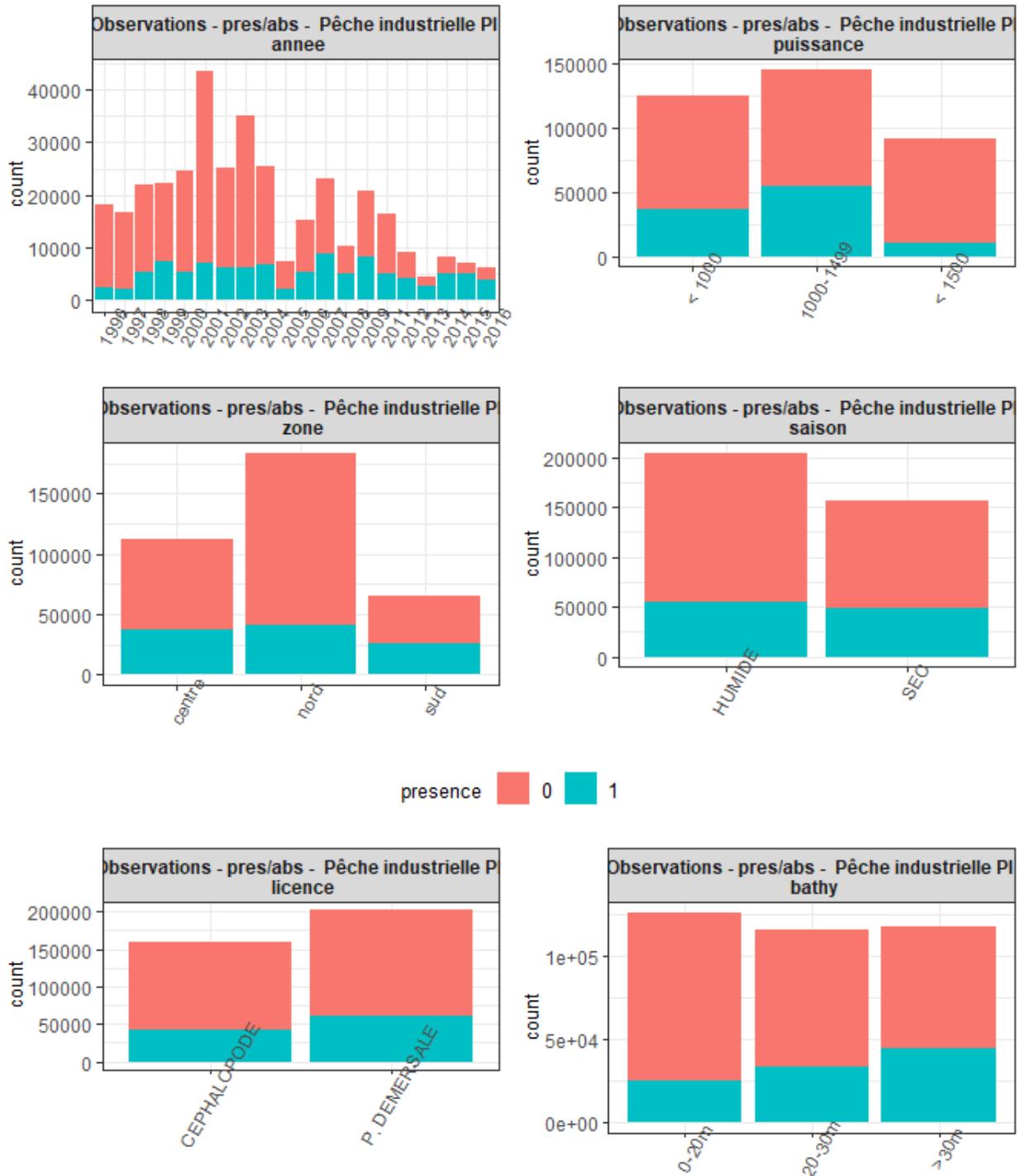


Figure 19 - Nombre d'observations par modalités - Pêche Industrielle

4.2. Construction du modèle d'abondance

La complexification des modèles, du fait du nombre élevé de variables et de données nous restreint dans l'utilisation de la procédure stepAIC qui peut devenir trop longue. Plusieurs analyses sont réalisées pour identifier les interactions expliquant une part importante de la variance : en particulier, les variables sont testées avec des modèles de tailles restreintes et via une analyse par décennie -au lieu d'annuelle-. Les principaux résultats sont présentés.

4.2.1. Modèle de présence/absence

Les principales interactions qui ont été étudiées sont ici présentées avant de décrire le modèle de présence/absence final.

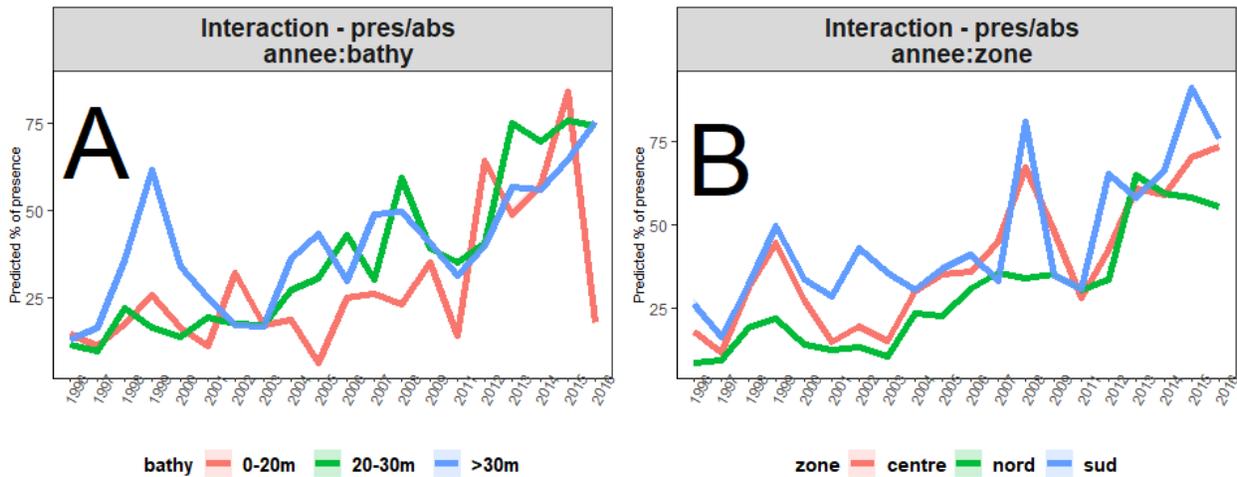


Figure 20 - Interaction annee:bathy (A) et annee:zone (B) du modèle de présence-absence

Dans les 2 graphiques, les courbes semblent suivre les mêmes tendances, les significativités sont dues à du bruit. Elles ne sont donc pas prises en compte et le modèle final de présence/absence est le suivant :

$$\text{presence} \sim \text{annee} + \text{puissance} + \text{zone}$$

Le tableau suivant fournit les sorties statistiques de ce modèle et les prédictions annuelles sont présentées dans la Figure 20. On observe une diminution des estimations de probabilités de présence depuis le début de la série temporelle, ponctuée de pics de présence.

Tableau 14 - ANOVA du modèle pres/abs final

Effect	Df	% variance	% of explained (15.4%)	P-value	signif.
annee	19	9.3	60	< 0.001	***
puissance	2	4.0	26	< 0.001	***
zone	2	2.1	14	< 0.001	***
Residuals	360,587	84.6			

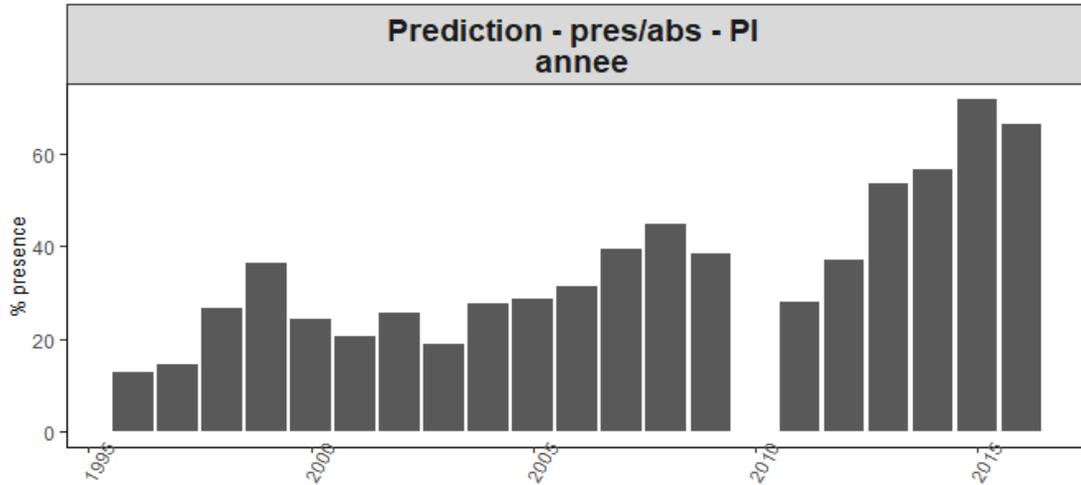


Figure 21 - Prédications de la probabilité de présence par année

On observe une nette augmentation des probabilités de présence avec de légères fluctuations au cours de la période.

4.2.2. Modèle des densités positives (IA+)

On applique la même méthode que précédemment. Les principales interactions sont conservées à titre d'exemple.

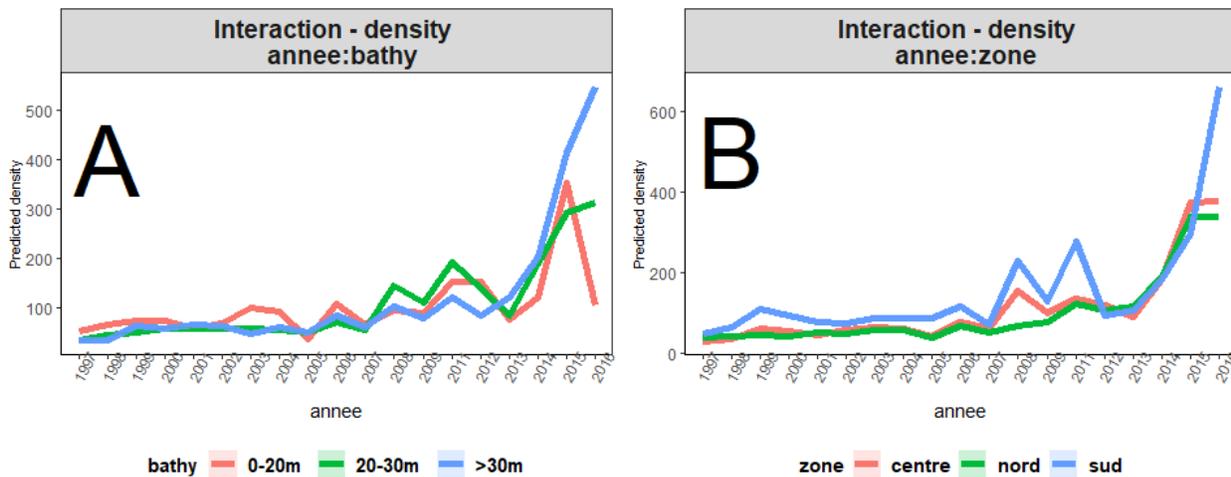


Figure 22 - Interaction annee:bathy (A) et annee:zone (B) du modèle des densités positives

Les évolutions de densités au cours du temps selon la bathymétrie et la zone décrivent des tendances semblables quelques soit la profondeur/zone. Elles ne sont donc pas conservées dans le modèle final :

$$\log(\text{densite}) \sim \text{annee} + \text{puissance} + \text{zone}$$

Tableau 15 - ANOVA du modèle des densités positives (IA+) final

Effect	Df	% variance	% of explained (29.8%)	P-value	signif.
annee	19	27.1	91	< 0.001	***
zone	2	2.2	7	< 0.001	***
puissance	2	0.5	2	< 0.001	***
Residuals	103,192	70.2			

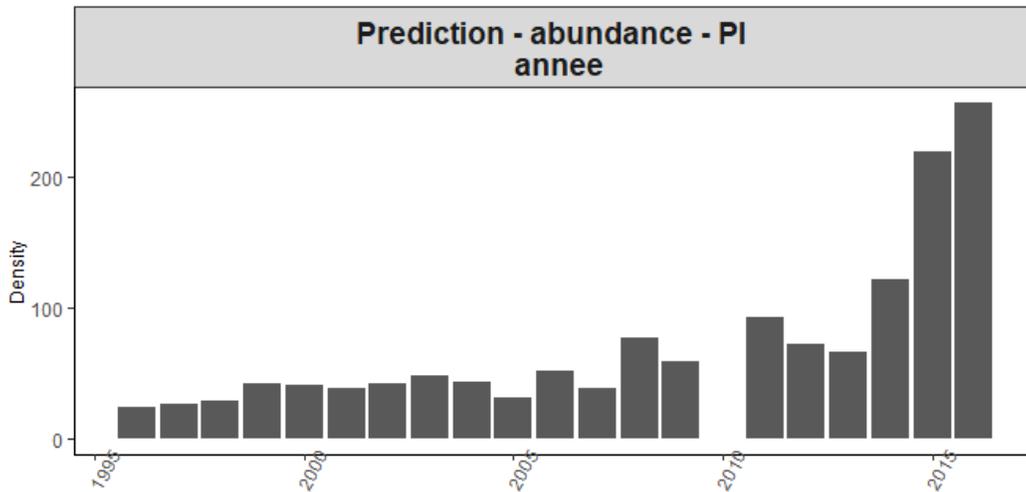


Figure 23 - Prédications des densités par année

Les densités prédites augmentent progressivement puis fortement en fin de période (2015-2016).

4.2.3. Couplage des modèles de présence/absence et des densités positives

Les deux sous-modèles sont couplés selon la méthode précédemment décrite (cf 1.2.3) et fournissent les indices d'abondances à partir de la donnée industrielle. Le tableau 16 récapitule les différents sous-modèles construits. La Figure 23 représente les probabilités de présence et les densités prédites au cours du temps. Les 2 courbes augmentent au cours du temps et atteignent des maximums en 2015-2016 (données les plus récentes)

Tableau 16 - Récapitulatif des sous-modèles sélectionnés

Modele	Expression
Presence/absence	presence ~ annee + puissance + zone
Densités positives	log(densite) ~ annee + zone

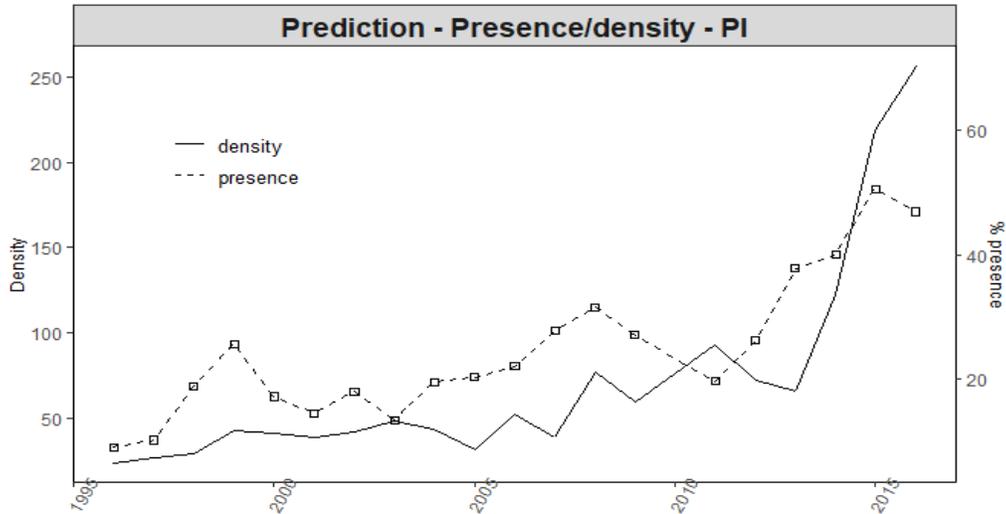


Figure 24 - Tendence des deux sous-modèles basé sur les données de pêche industrielle (% de présence et densités)

La Figure 24 présente l'IA issue de la PA. Logiquement, on retrouve une augmentation graduelle puis nette à partir de 2014 avec les maximums atteints en 2015-2016.

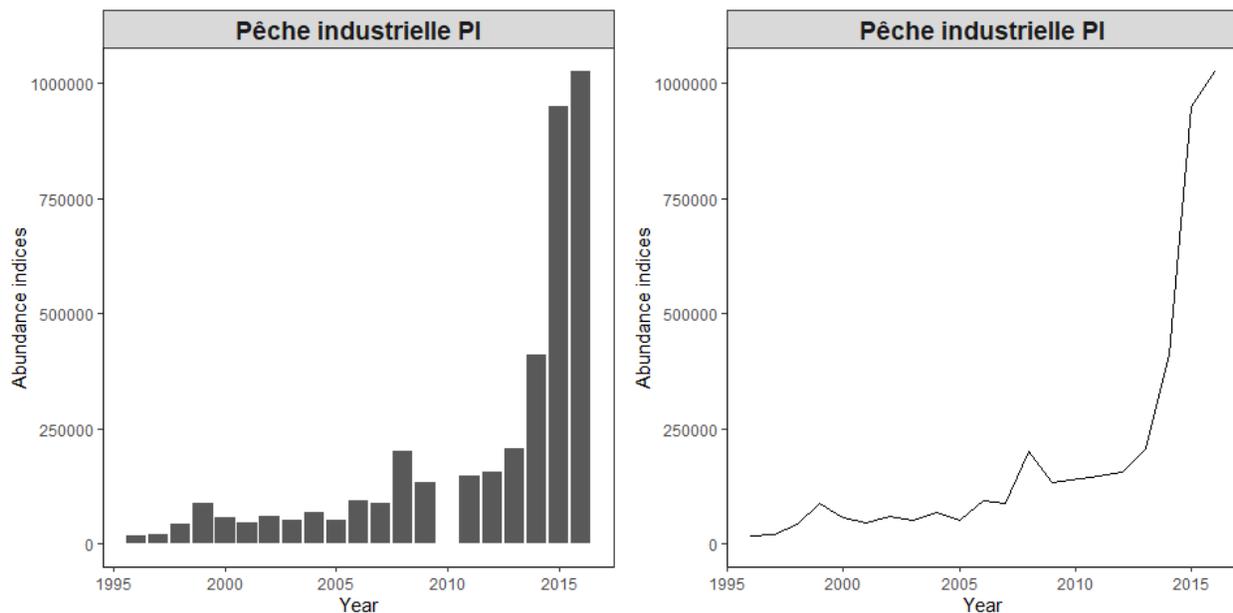


Figure 25 - Indices d'abondance issus du modèle delta-GLM - Données pêche industrielle (1996 - 2016)

5. Agrégation des indices d'abondance

5.1. Standardisation et dérivées de puissances des pêches

Les Indices d'Abondance (IA) estimés issus des différentes sources de données (SC, PA et PI) sont agrégés pour construire une seule série d'indices d'abondance. Ils sont dans un premier

temps standardisés par rapport à une référence - IA des campagnes scientifiques - et sur les années communes selon la formule :

$$IA_{com}^{st} = \frac{\text{mean}(IA_{survey})^{\text{common years}}}{\text{mean}(IA_{com})^{\text{common years}}} \cdot IA_{com} \quad (6)$$

Les IA standardisés issus de chaque type de données sont présentés dans la Figure 26.

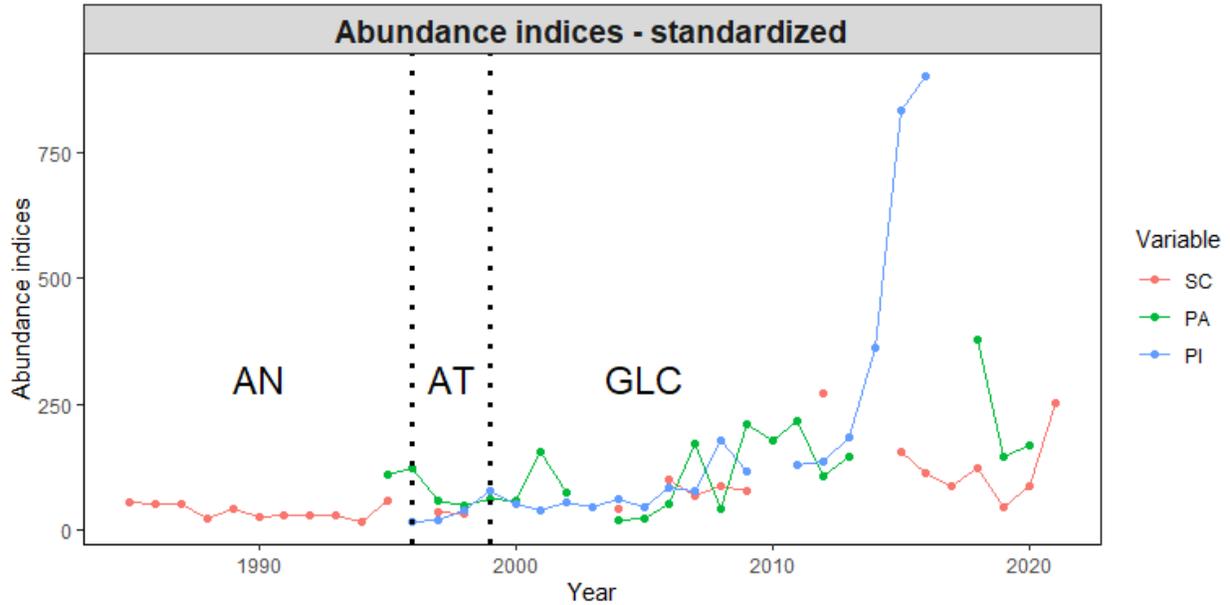


Figure 26 - Indices d'abondances standardisés

On observe une certaine cohérence entre les IA issues de la SC et la PI qui semblent décrire toutes les deux une augmentation des abondances au cours du temps. En revanche, la PA décrit de fortes variations tout au long de la période.

Après standardisation, une dérive de puissance des pêches est appliquée - i.e. uniquement aux IA issues des données commerciales -. Cette prise en compte de la dérive des puissances de pêche permet d'inclure une intensification de l'effort de pêche par amélioration des techniques (e.g. expérience des pêcheurs, organisation du travail...) et/ou des technologies (e.g. evolution des engins, amélioration de l'équipement, motorisation...) menant à une augmentation de l'efficacité de l'unité d'effort nominal (Millischer et Gascuel, 1997). Nous posons ainsi l'hypothèse que l'IA de l'année t peut s'exprimer comme suit :

$$IA_t^{corr} = IA_t \cdot (1 + \alpha)^{t-t_0} \quad (7)$$

Trois scénarios sont décrits au cours de cette étude :

- Scénario optimiste : Dérive des puissances de pêche fixée à 1%
- Scénario moyen : Dérive des puissances de pêche calculée à partir de l'équation décrite par Palomares et Pauly (2019) :

$$\alpha_{com} = 13.8 \cdot (Y_N - Y_{t_0})^{-0.511} \quad (8)$$

$Y_N - Y_{t_0}$: le nombre d'années

Soit $\alpha_{PA} = 2.66\%$ et $\alpha_{PI} = 2.99\%$

- Scénario pessimiste : Dérive des puissances de pêche fixée à partir du scénario moyen selon $\alpha_{pessimiste} = 2 * \alpha_{Moyen} - 1$, arrondi à l'entier. D'où $\alpha_{pessimiste} = 5\%$. Un récapitulatif est présenté en Tableau 16.

Tableau 17 - Valeur de alpha (coefficient empirique d'accroissement annuel des puissances de pêche), selon 3 hypothèses (optimiste, pessimiste et moyenne)

Hypothese	Coefficient de derive de puissance des peches	
	PA	PI
Optimiste	1 %	1 %
Moyen	2.66 %	2.99 %
Pessimiste	5 %	5 %

Enfin, les indices d'abondance sont lissés en calculant une moyenne mobile sur 3 ans, de façon à souligner les tendances à plus long terme (Figure 27).

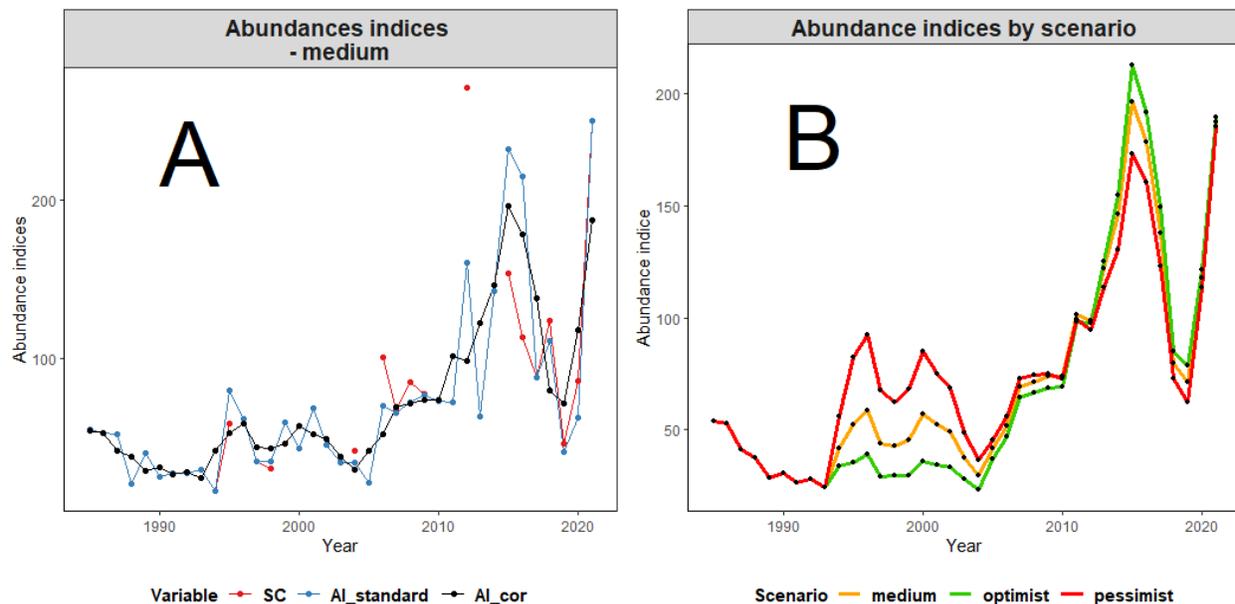


Figure 27 - A. Evolution des indices d'abondances standardisés, corrigés (dérive de pêche) et lissés (moyenne sur 3 ans) - Scénario moyen. B. Evolution des indices d'abondance par scénario

On observe sur la Figure 27.A que la forte variabilité indiquée par la PA et le nombre trop restreint d'années avec plusieurs types d'IA rend compte d'une image très erratique. Une solution pourrait être de laisser de côté la PA. Il est intéressant de remarquer une cyclicité dans les variations d'abondance. En effet, on observe un schéma récurrent sur une période de 5 à 8 ans : Pic d'abondance, suivit d'un creux 2 à 3 ans plus tard et d'un nouveau pic 3 à 5 ans après. On identifie que la prise en compte d'une dérive de pêche entraîne nécessairement un pic des abondances en 1995, année à partir de laquelle les observations sur la pêche artisanale débutent, ce qui

contribue à renforcer la variabilité observée, en augmentant d'autant plus les indices d'abondances les plus anciens et réduisant les récents que la dérive de pêche est forte.

5.2. Indices d'abondances finaux

Au terme de ce travail nous disposons de 2 séries d'indices d'abondances pour 3 scénarios différents. Nous considérerons pour la suite uniquement les scénarios "optimiste" et "pessimiste".

La Figure 28 présente les indices d'abondance finaux pour les scénarios précédemment décrits.

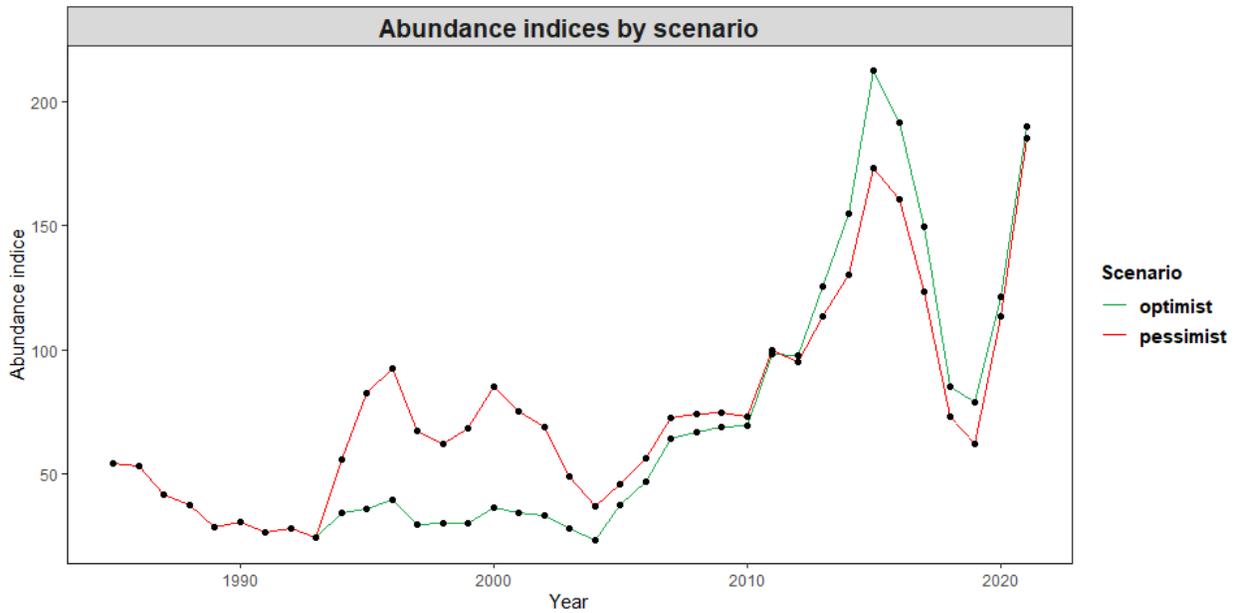


Figure 28 - Evolution des indices d'abondance finaux par scénario

Références bibliographiques

- Chavance P, Bangoura C, Damiano A, Oiallo A (1994). La pêche artisanale maritime guinéenne en 1992. Description, type d'engins et type de pêche. Doc. Scient. Cent. Rech. Hslieut. Boussours, Conskry, (25) : 70 p.
- Chabanne J, (1987). Le peuplement des fonds durs et sableux du plateau continental sénégalais, Etude de sa pêcherie chalutière, biologie et dynamique d'une espèce caractéristique : le rouget (*Pseudupeneus prayeris*). Paris, ORSTOM, Etudes et Thèses, 355 p.
- Caverivière A, (1982).- Les espèces démersales du plateau continental ivoirien - Biologie et exploitation. Thèse Doct. Etat, Univ. AixMarseille, 415 p.
- Domain F, (1980). Contribution à la connaissance de l'écologie des poissons démersaux du plateau continental sénégal-mauritanien - Les ressources démersales dans le contexte général du golfe de Guinée. Thèse Doct. Etat, Univ. Paris-VI, Tome I, 342 p.
- Domain F (1989). Rapport des campagnes de chalutage du N/O André Nizery dans les eaux de la Guinée de 1985 à 1988. Doc. Scient. CNSHB, 81 p.
- Domain F, Chavance P, Diallo I (1999). La pêche côtière en Guinée : ressources et exploitation CNSHB/IRD
- Giret M, (1974) - Biologie et pêche de *Pagrus crhenbergi* sur les côtes du Sénégal . Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. DakarThiaroyc, 57, 29 p.
- Meissa B, Gascuel D, Rivot E (2013). Assessing stocks in data-poor African fisheries: a case study on the white grouper (*Epinephelus aeneus*) of Mauritania. *Afr J Mar Sci* 35: 253–267.
- Meissa B, Rivot E, Gascuel D (2008). Analysis of CPUE data series through Generalized Linear Models and Delta method to derive annual series of abundance indices. Scientific report, ISTAM project. P 18.
- Millischer L, Gascuel D (1997). Estimation des puissances de pêche : Etude des flottilles industrielles de Bretagne sud, Troisième Forum Halieumétrique.
- Laurent AG (1963.). The lognormal distribution and the translation method: description and estimation problems. *Journal of the American Statistical Association* 58: 231–235.
- Le Pape O, Chauvet F, Mahévas S, Lazure P, Guérault D, Désaunay Y (2003) Quantitative description of habitat suitability for the juvenile common sole (*Solea solea*, L.) in the Bay of Biscay (France) and the contribution of different habitats to the adult population. *Journal of Sea Research* 50: 139–149
- Longhurst AR, (1963). The bionomics of the fishery resources of the eastern tropical Atlantic. *Col. Otiice Fish. Pubs.*, 20,65 p
- Palomares MLD, Pauly D (2019) On the creeping increase of vessels' fishing power. *Ecology and Society* 24(3):31
- Rijavec L, (1973). Biology and dynamics of *Paseus coupei* (Dieuz. 1960), *Pagrus ehrenberg*, (Val. 1830) et *Denex canariensis* (Poli 1954) in Ghana waters. Doc. Scient. Centre Rech. Ocesnog r. Abidjan, 4(3) : 43-97

Sidibe A (2003) Les ressources halieutiques côtières de la Guinée : Exploitation, biologie et dynamique des principales espèces de la communauté à Scianidés, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Renne (ENSAR), France.

Stefansson G (1996). Analysis of groundfish survey abundance data: combining the GLM and delta approaches. ICES Journal of Marine Science 53: 577–588.

ANNEXES

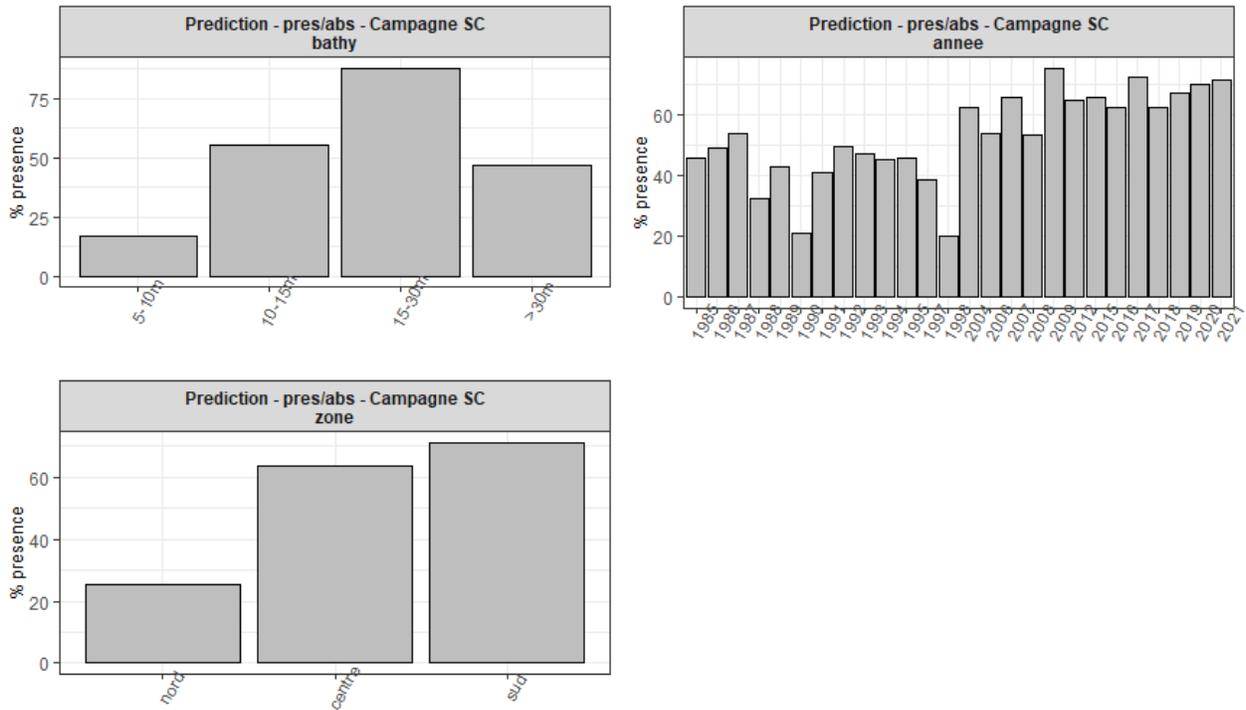
Annexe 1 : Caractéristiques techniques des navires et des engins de pêche utilisés

Navire	Caractéristique du navire	Caractéristiques du chalut	References
Andre Nizery	<ul style="list-style-type: none"> - Chalutier de type pêche arriere - Puissance : 400 CV - Longueur : 24 m - Vitesse de chalutage : 2,8 nœuds - Duree du chalutage : 30 minutes - Methode : Aire Balayee 	<ul style="list-style-type: none"> - Chalut de fond de type Le DREZEN - Maillage du cul : 45 mm - Ouverture moyenne : 13,1 m 	Domain et al., 1999
Antéa	<ul style="list-style-type: none"> - Chalutier de type pêche arriere - Puissance : - Longueur hors tout : 34.95 m - Tirant d'eau : 3.323 m - Vitesse de chalutage : 2,8 nœuds - Durée du chalutage : 30 minutes - Méthode : Aire Balayee 	<ul style="list-style-type: none"> - Chalut de fond : GOV 2 faces - Maillage du cul : - Ouverture moyenne : 	Domain, 2002
GLC	<ul style="list-style-type: none"> - Chalutier de type pêche arriere - Longueur : 29,93 m - Tirant d'eau à l'arriere : 3,75 m - Puissance : 750 CV - Tonnage brut : 198 TJB - Vitesse de chalutage : 3,5 nœuds - Durée du chalutage : 30 minutes - Méthode : Aire Balayee 	<ul style="list-style-type: none"> - Longueur totale : 39,88 m - Corde de dos : 33,1 m - Maillage du cul : 25 mm (maille étirée) 	Diallo et al., 2015

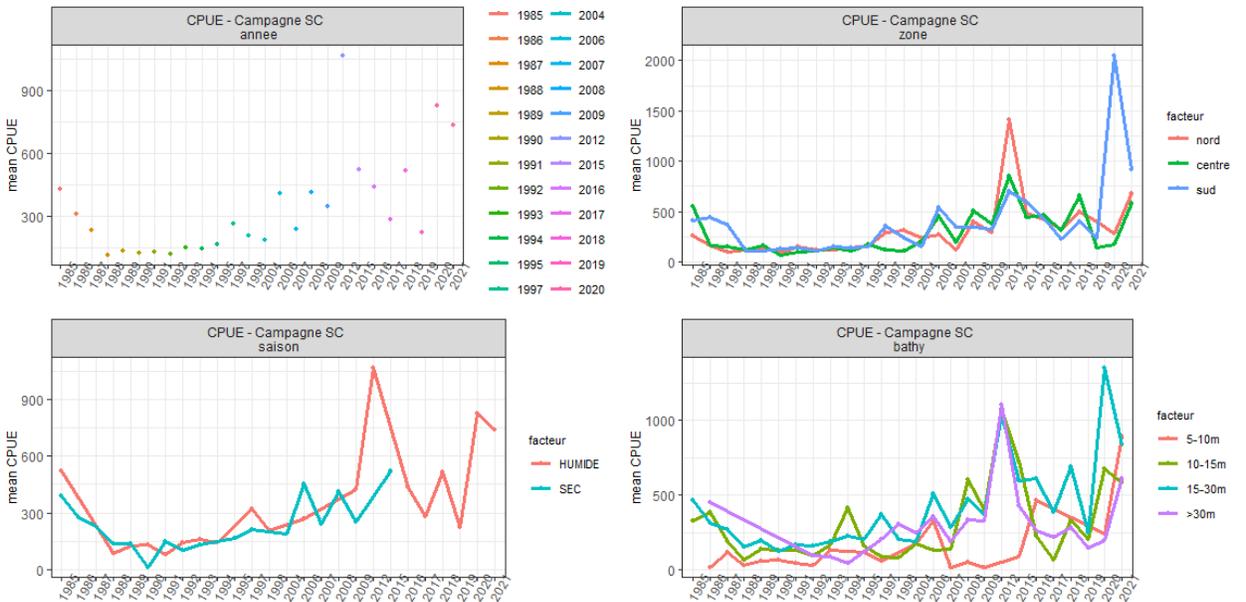
Annexe 2 : Types et codes des engins de la pêche artisanale maritime

CODENGIN _CNSHB	CODE NGIN	CODE_En gin_GR	CODE_C SITEP	REF_FAO	NOM_FR	NOMLOC AL_FR
FMCg	FMC		07.1.0.2		filets maillants calés	Gbalakassa
FMCgm	FMCgm		07.1.0		filets maillants calés (ancrés) GM	Sèrèki yèlè
FMCI	FMCPm	FMC	07.1.0	filets maillants calés (ancrés)	filets maillants calés (ancrés) PM	Légotine
FMCTgm	FMCTgm		07.1.0		filets maillants calés (ancrés) TGM	Kuta yèlè
FMCy	FMCy		07.1.0.1		filets maillants calés (ancrés) PM	Yamgban
FMDf	FMD					Founfounyi
FMDk	FMDk	FMD	07.2.0	filets maillants dérivants	filets maillants dérivants	Makreni
FMDs	FMDs					SoryFouta
FMEE	FMEE				filets maillants encerclant à ethmalose	Bonga yèlè
FMEg	FME	FME	07.3.0	filets maillants encerclant	filets maillants encerclant	Gboya
FMEM	FMEM				filets maillants encerclant à mulet	Séki yèlè
FMEO	FMEO				filets maillants encerclant à otolithe	Fanty
FMF	FMF	FMF	07.4.0	filets maillants fixes (sur perche)	filets maillants fixes (sur perche)	Bamba yèlè
FT	FT	FT	01.2.0	sans coulisse (filet lamparo)	filet tournantsans coulisse (filet lamparo)	Reggae
LI	LI	LI	09.1.0	Lignes à main et cannes (manœuvre. main)	Lignes à main	Konyi
PA	PA	PA	09.3.0	palangres calées	palangres calées	Dalban

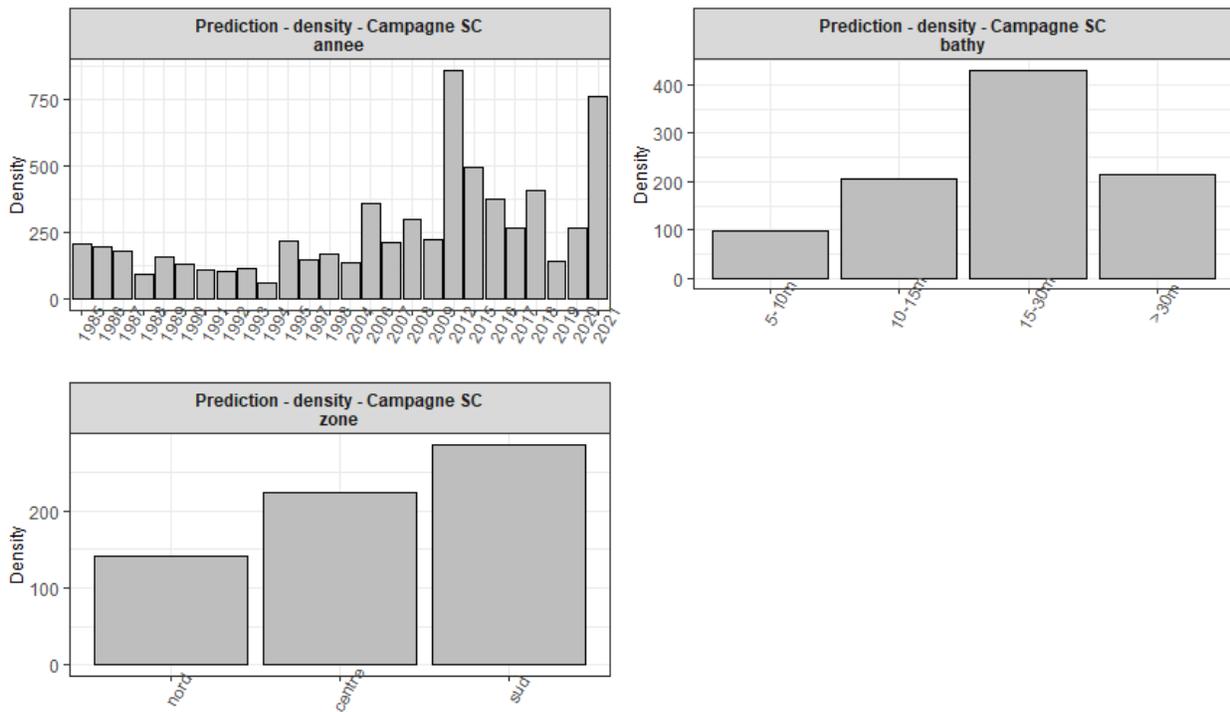
Annexe 3 : Prédictions de la probabilité de présence pour chaque modalité - SC



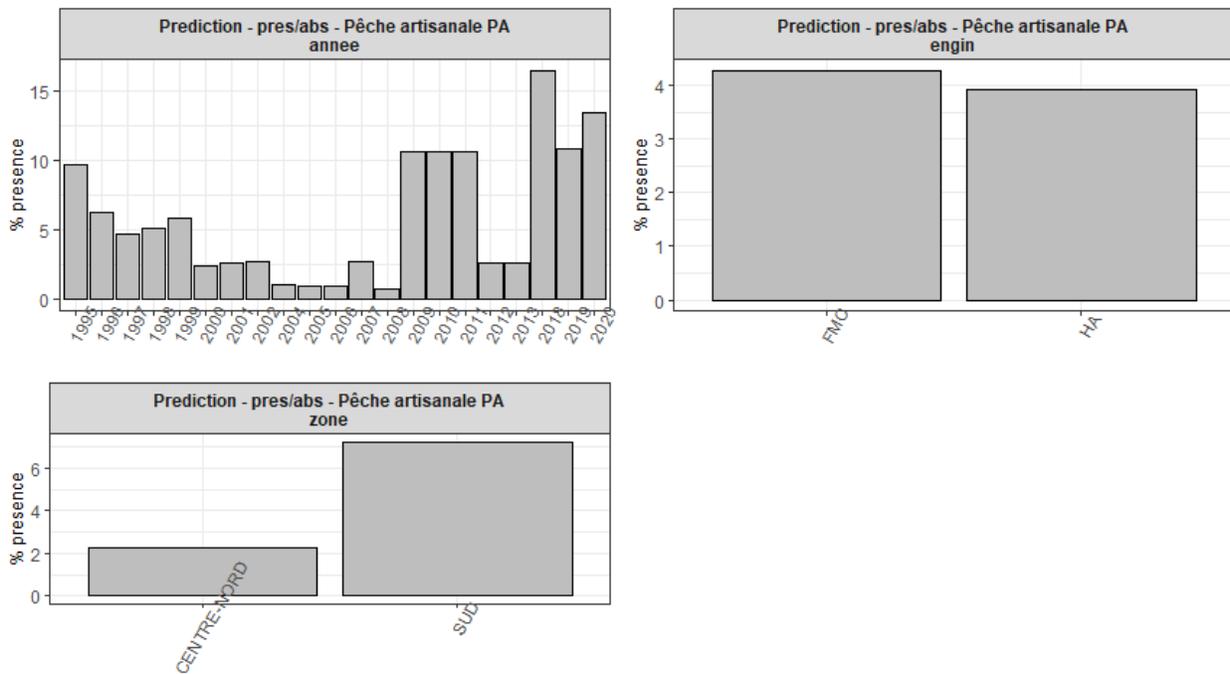
Annexe 4 : CPUE par modalité - SC



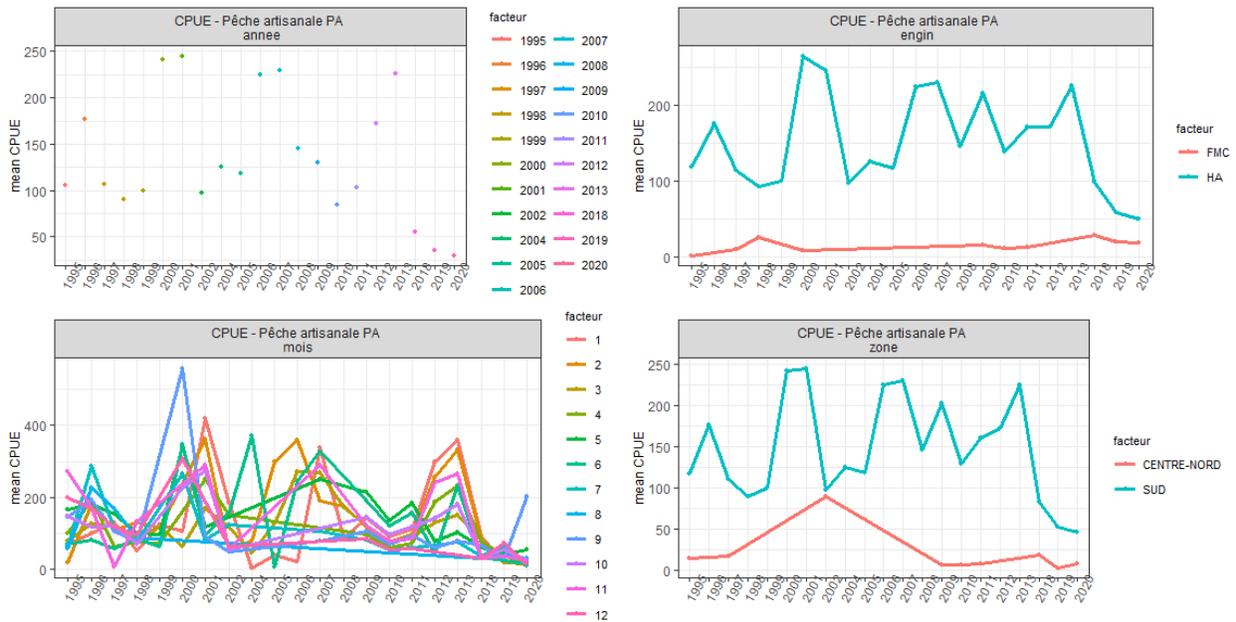
Annexe 5 : Prédictions des densités pour chaque modalité - SC



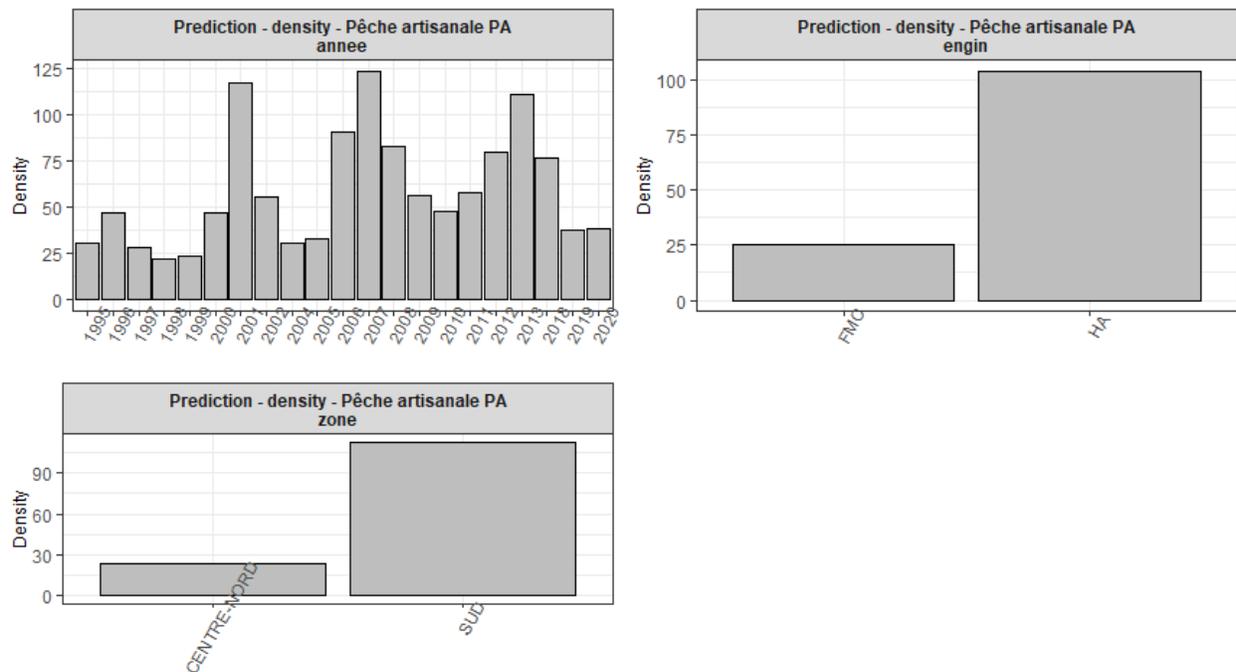
Annexe 6 : Prédictions de la probabilité de présence pour chaque modalité - PA



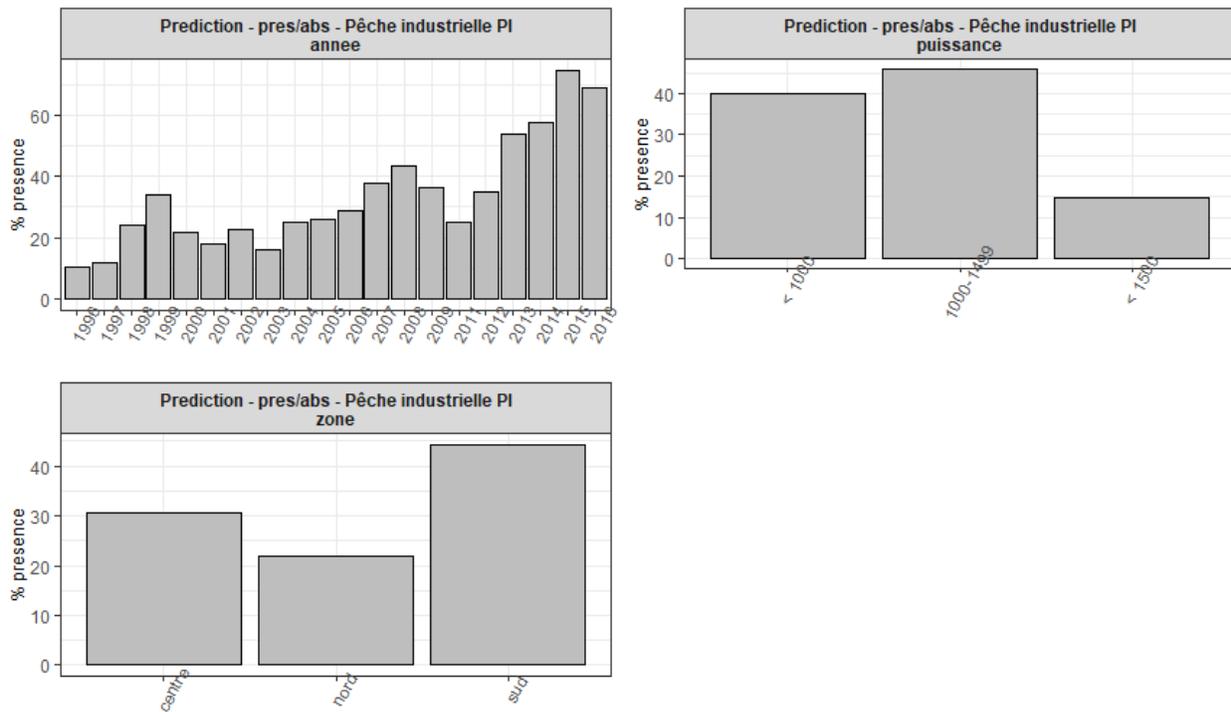
Annexe 7 : CPUE par modalité - PA



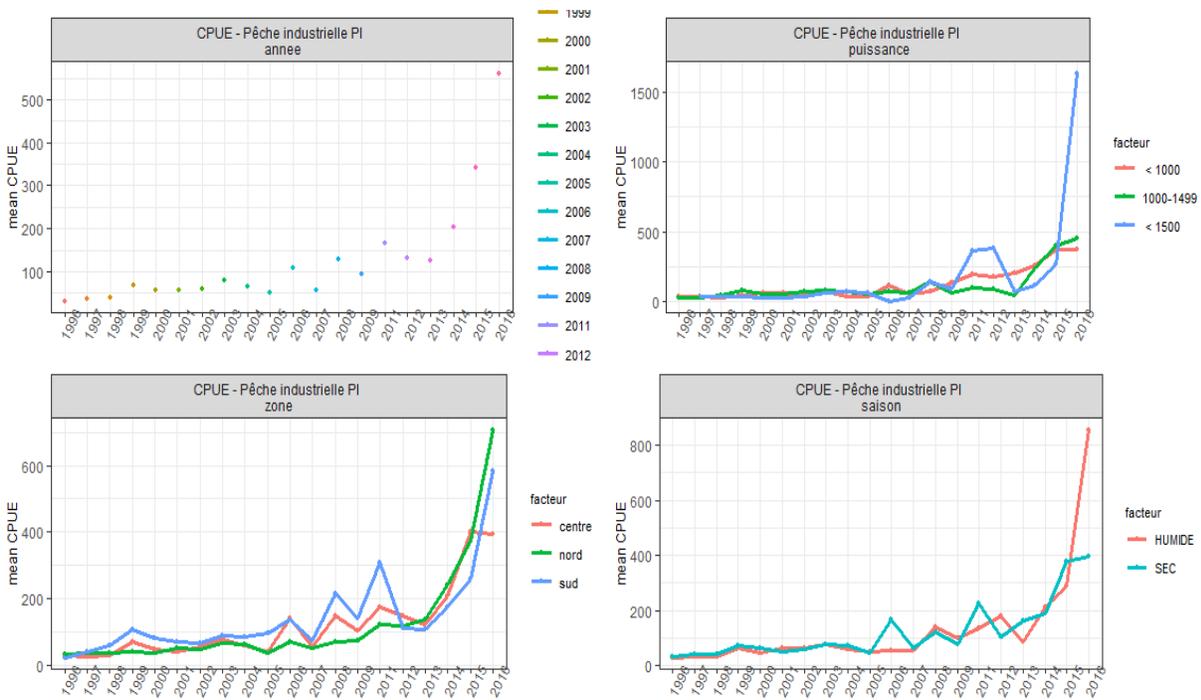
Annexe 8 : Prédictions des densités pour chaque modalité - PA

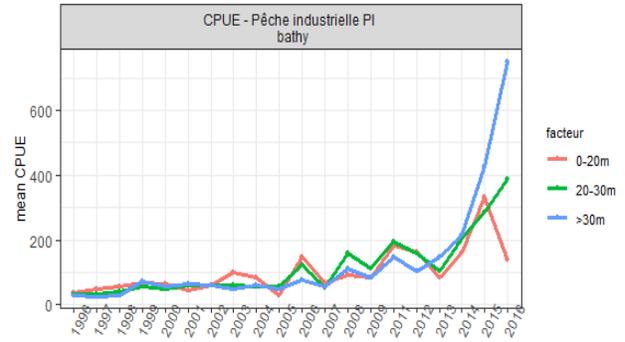
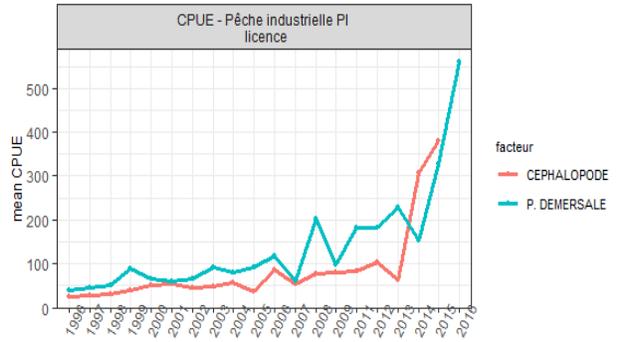


Annexe 9 : Prédictions de la probabilité de présence pour chaque modalité - PI



Annexe 10 : CPUE par modalité - PI





Annexe 11 : Prédications des densités pour chaque modalité - PI

