

VERON Matthieu

Développement d'un modèle opérationnel d'évaluation écosystémique de la sardine Atlantique



Rencontre Amédée
Juillet 2018

Thèse encadrée par:

BERTIGNAC Michel, PAWLOWSKI Lionel, DUHAMEL Erwan, HURET Martin



Sardina pilchardus



❑ Aire de distribution importante

❑ Petit pélagique (Clupéidé)

- Niveau trophique intermédiaire : Transfert de biomasse depuis le plancton vers les prédateurs
- Dépendance à l'environnement forte
- Affinité vis-à-vis de la température à des moments clés du cycle de vie
- Températures de croissance optimales pour reproduction ou croissance

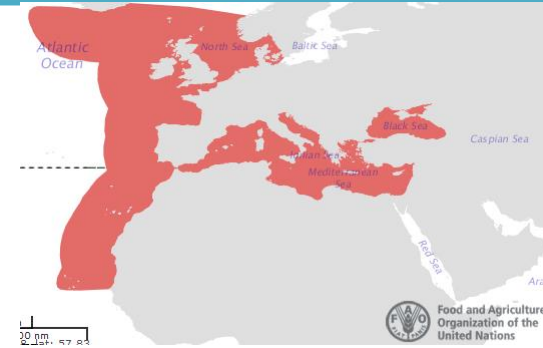
❑ Sardine en Europe : Pêcheries importantes : Méditerranée, Manche ou Golfe de Gascogne

❑ En fonction des zones:

- Condition plus ou moins bonne
- Raréfaction des individus (Golfe du Lion Brosset et al., 2015a)

❑ Déplacement des populations en Mer du Nord

- Réchauffement des eaux?? (Albeit et al., 2012)



FAO

Cas d'étude

La sardine Atlantique (*sardina pilchardus*, zone CIEM VIII a-b-d)





Quel modèle opérationnel d'évaluation écosystémique pour représenter la dynamique de population de la sardine Atlantique ?



Vers un modèle opérationnel d'évaluation écosystémique

Quels signaux temporels observe-t-on ?

Quelle échelle Spatio-temporelle ?

Quel modèle pour la sardine ?

Que disent les résultats ?

Comment ont évolués les paramètres biologiques de la sardine ?

Quels mécanismes sont à l'origine de ces évolutions ?

Comment améliorer le modèle existant à partir de ces nouvelles connaissances ?

Quelles conséquences sur les scénarios de gestion ?

Comprendre la dynamique de population de la sardine en lien avec son environnement

Paramétrer le modèle d'évaluation de stock pour fournir un avis analytique

Cas d'étude

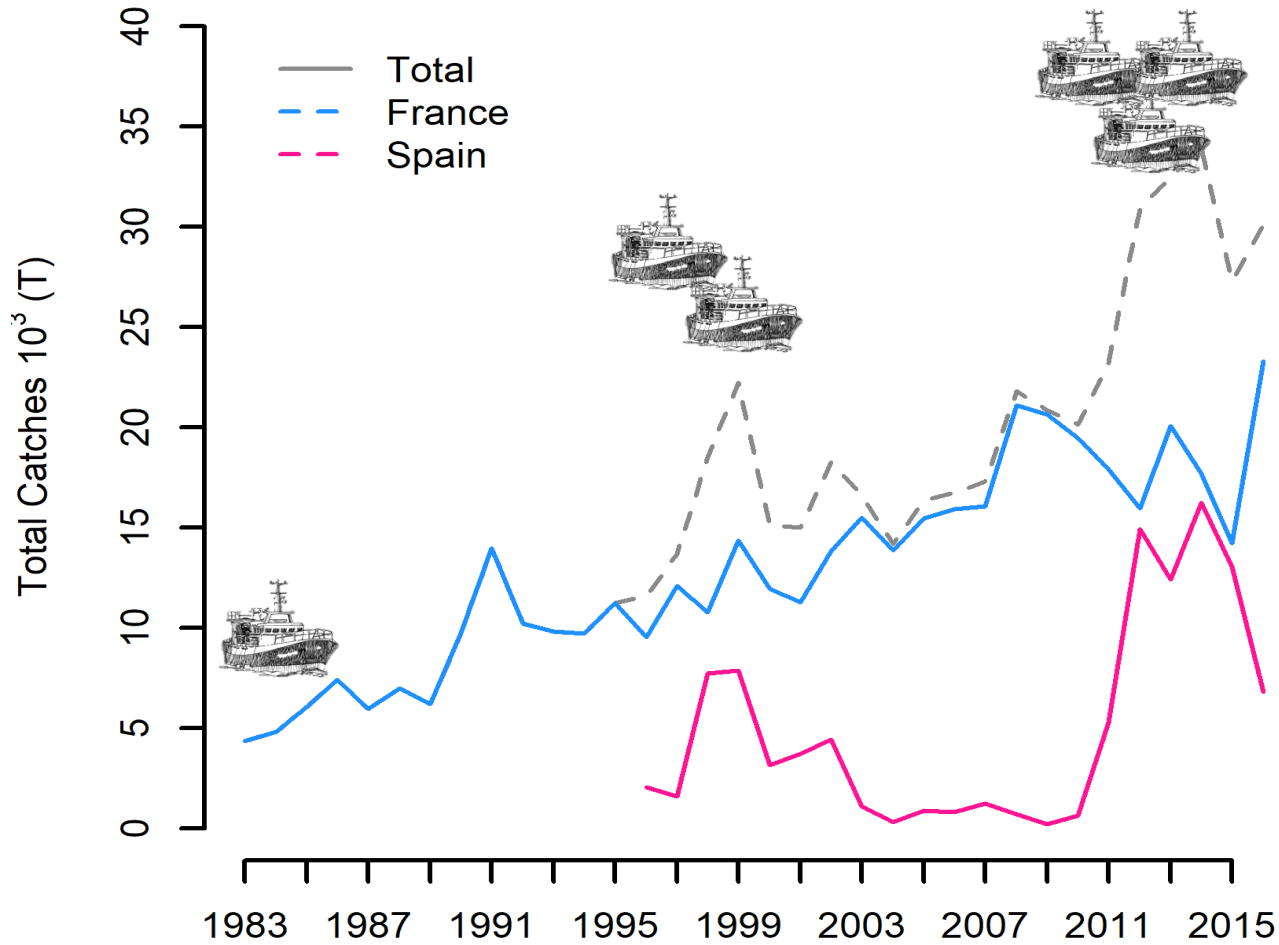
La sardine Atlantique (*sardina pilchardus*, zone CIEM VIII a-b-d)



Une espèce économiquement importante



❑ Deux principaux acteurs :

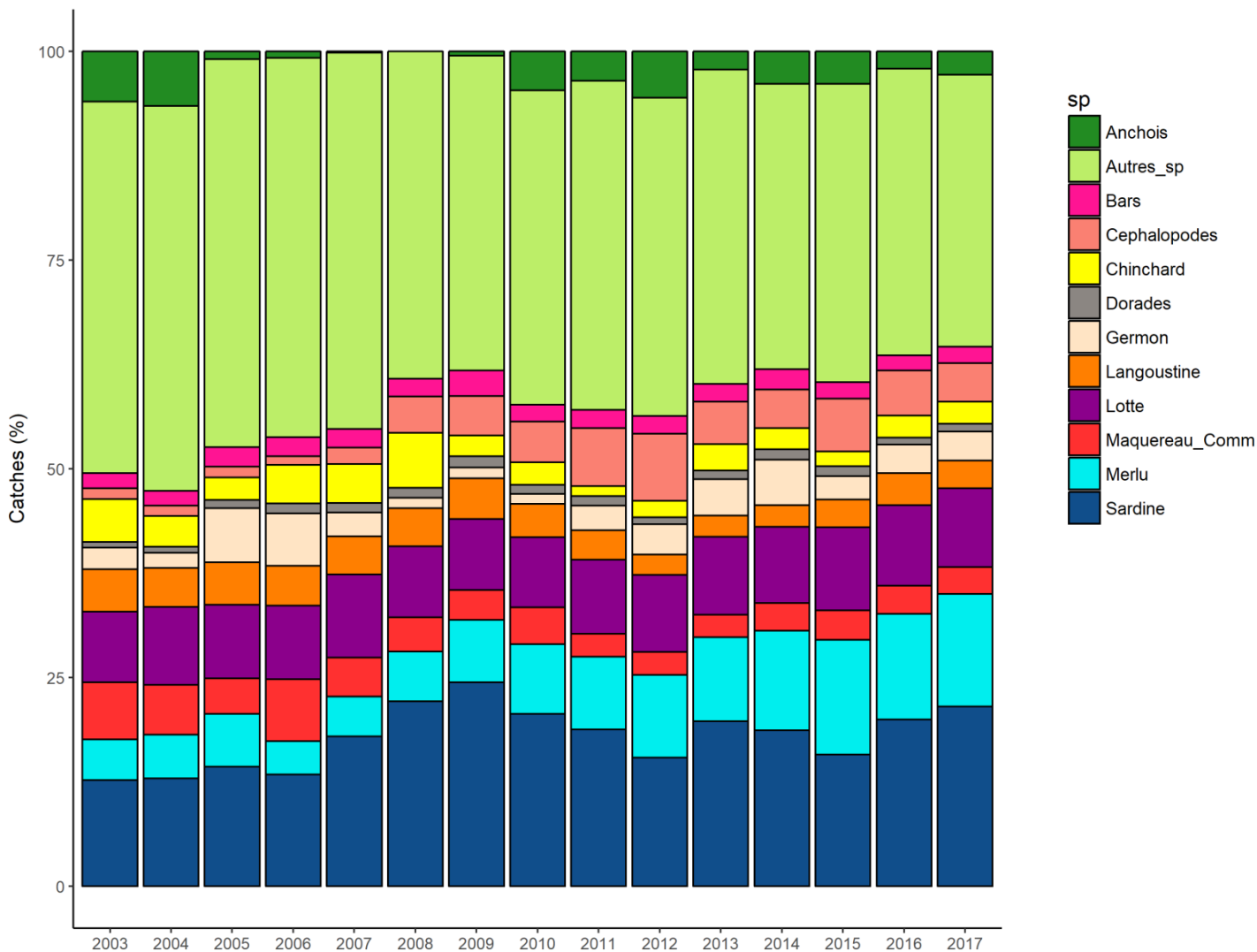


Débarquements conséquents



❑ Espèce importante :

~ 20% des débarquements sur la façade Atlantique (2017 : ~ 24 000T)



Contexte socio-économique

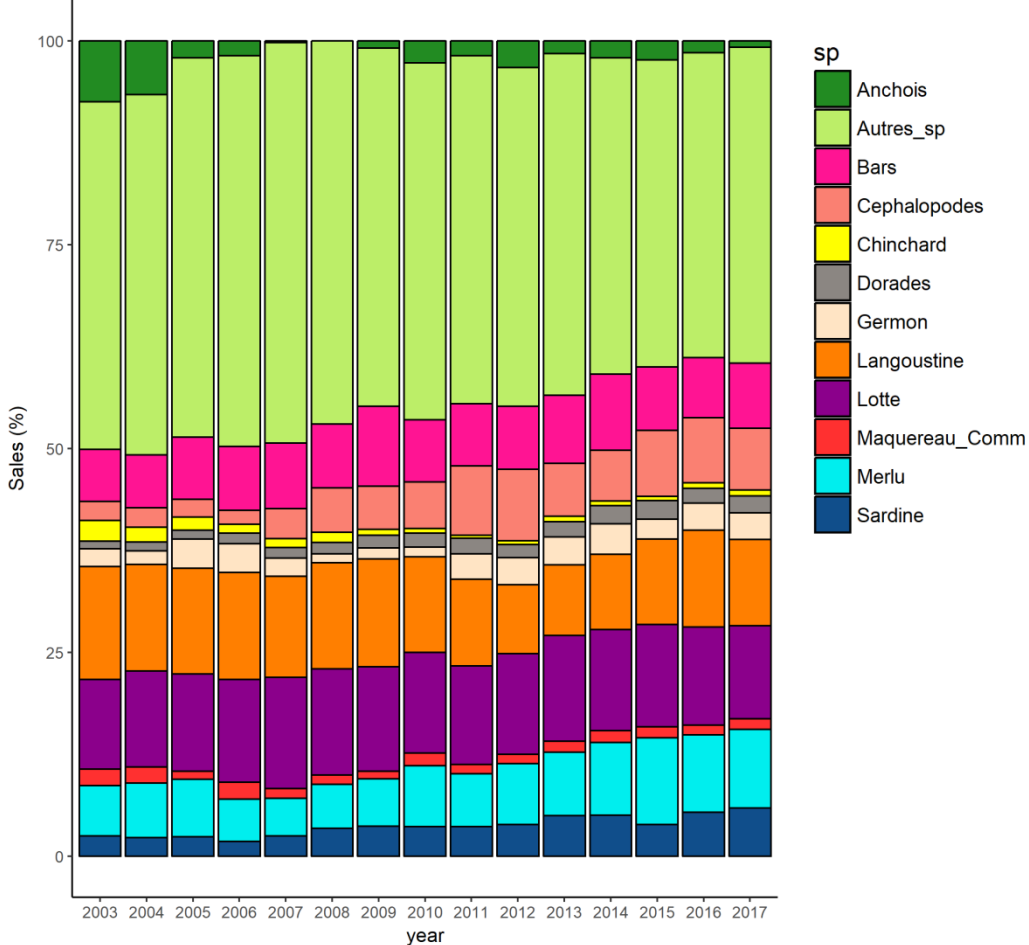


❑ Espèce importante

Prix moyen au Kg en 2017 : 0.92 € (FranceAgriMer, 2017)

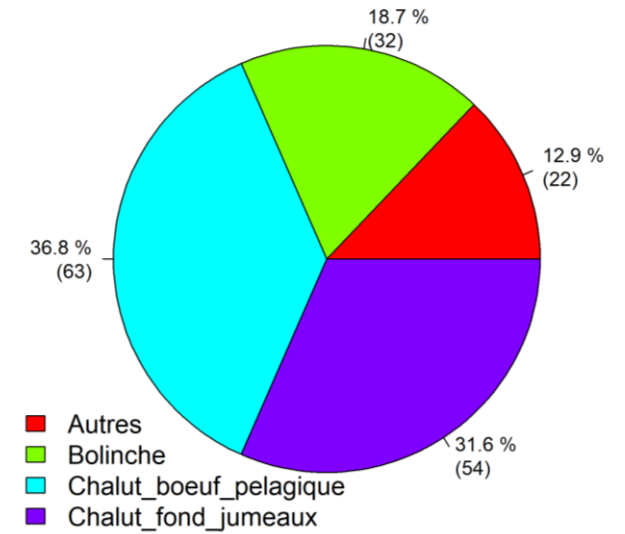
❑ Faible valeur ajoutée Vs concentration d'emplois

B Sales in proportion by species



138 navires sur les cinq dernières années débarquent plus de 100Kg à la marée

Nombre de navires par métier



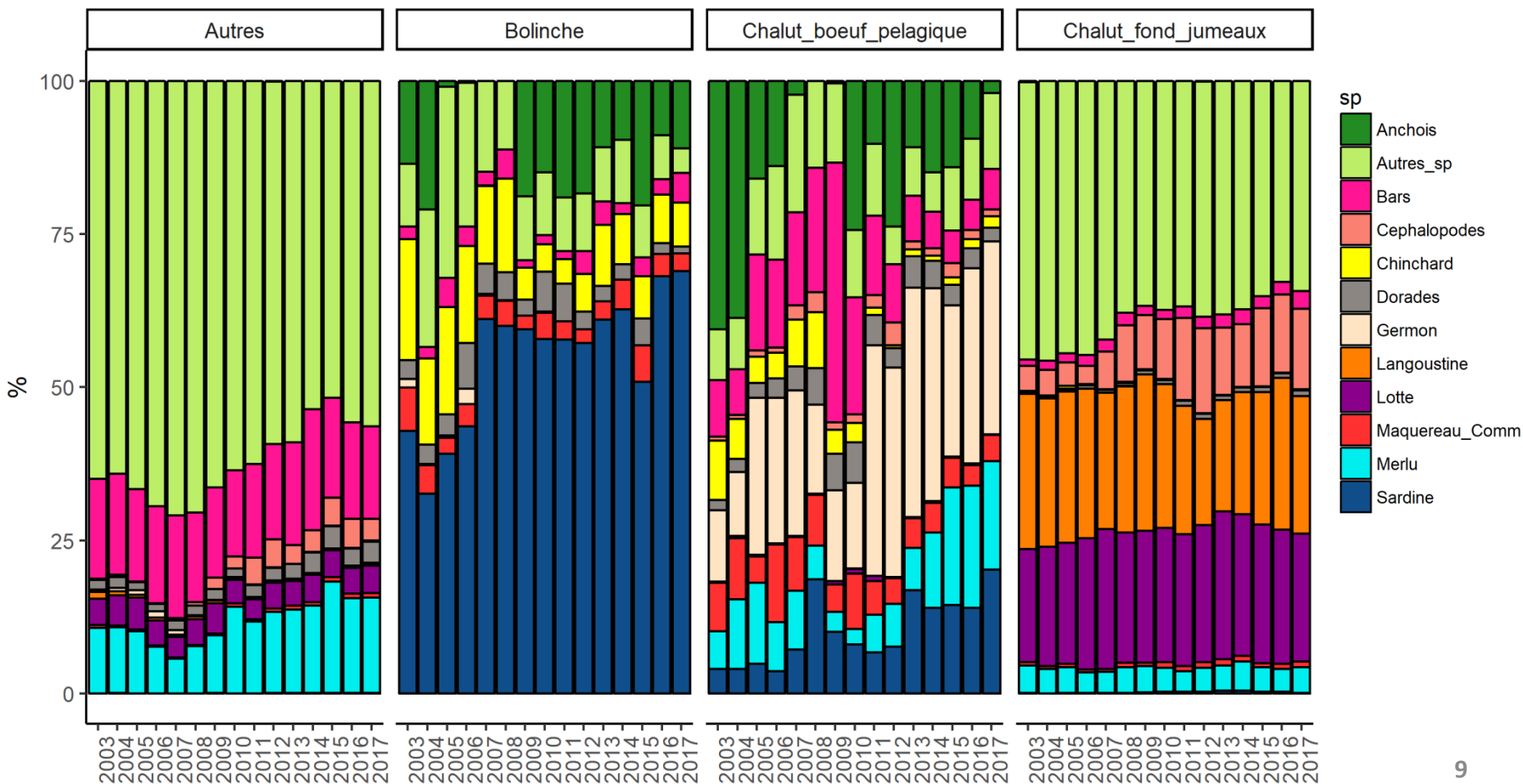
Diverses flottilles



❑ Espèce importante

❑ Importance de la Bolinche dans la pêche

❑ Faible valeur ajoutée Vs concentration d'emplois



Cas d'étude

La sardine Atlantique (*sardina pilchardus*, zone CIEM VIII a-b-d)



Une saisonnalité à différents niveaux

La croissance

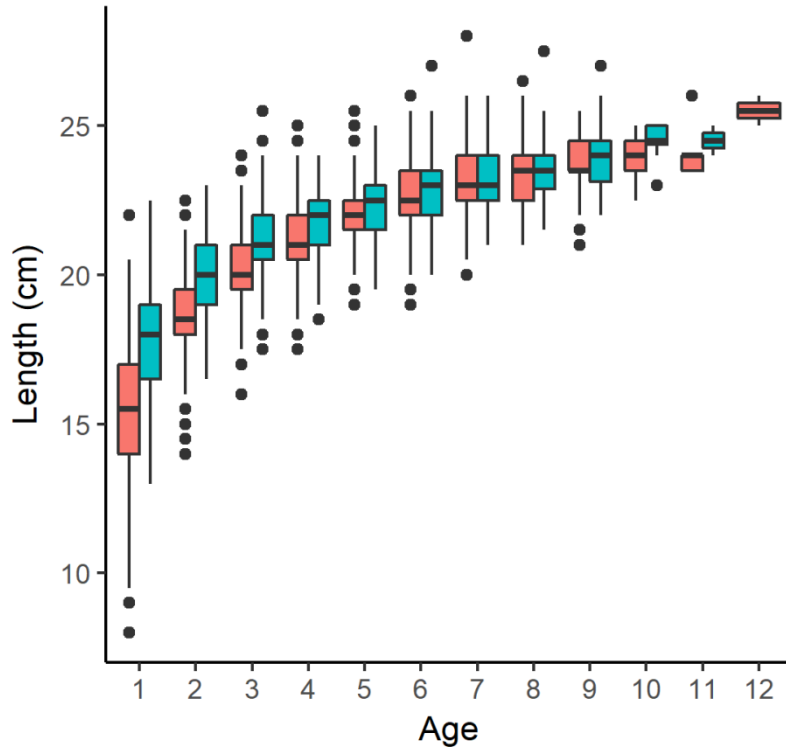


❑ Espèce dite à « vie courte »

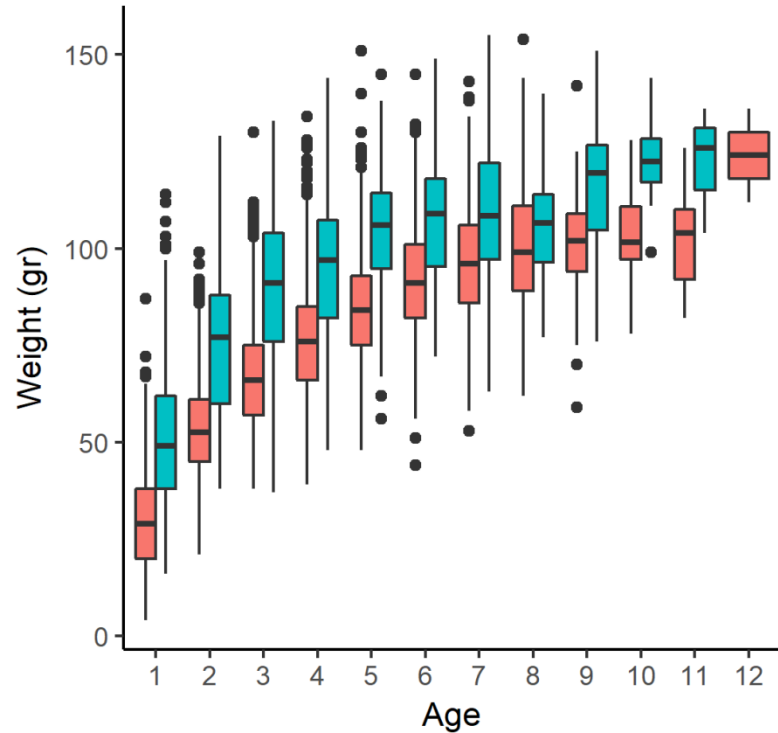
❑ Schéma différent entre saison

❑ Rapide : essentiel réalisé à 3-4 ans

❑ Lien avec l'environnement ...



spring
autumn



La phénologie de reproduction



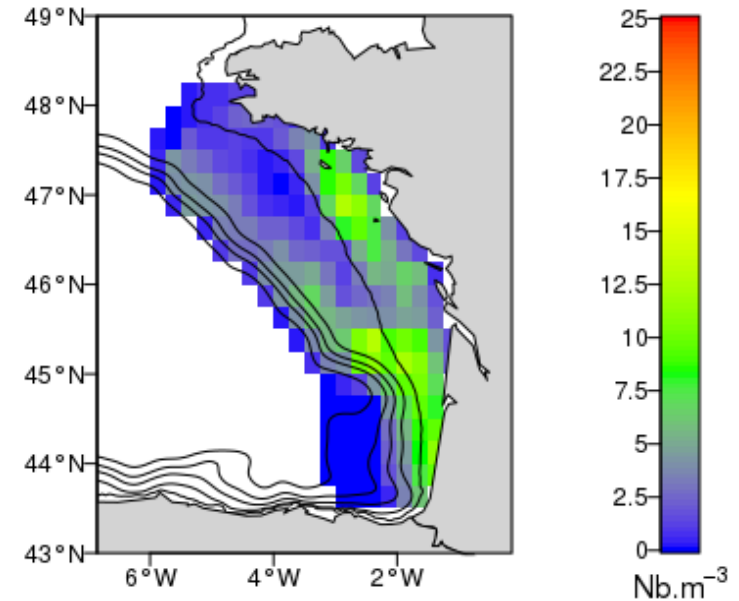
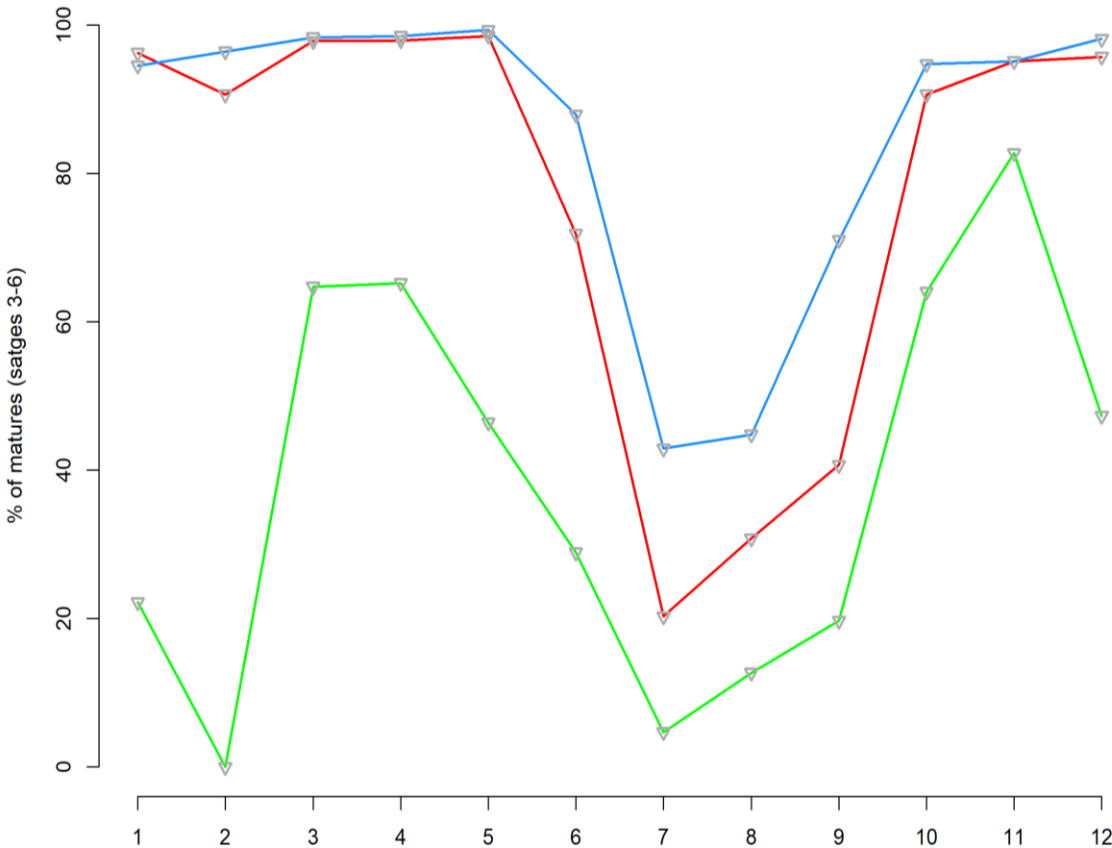
❑ Maturité sexuelle atteinte à 1 an

❑ Phénologie de ponte contrôlée par la température

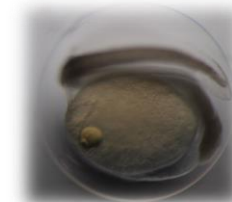
(Coombs et al., 2006; Planque et al., 2007; Stratoudakis et al., 2007)

❑ Large période de ponte dépendante de l'âge

❑ « Multiple egg batch spawner »



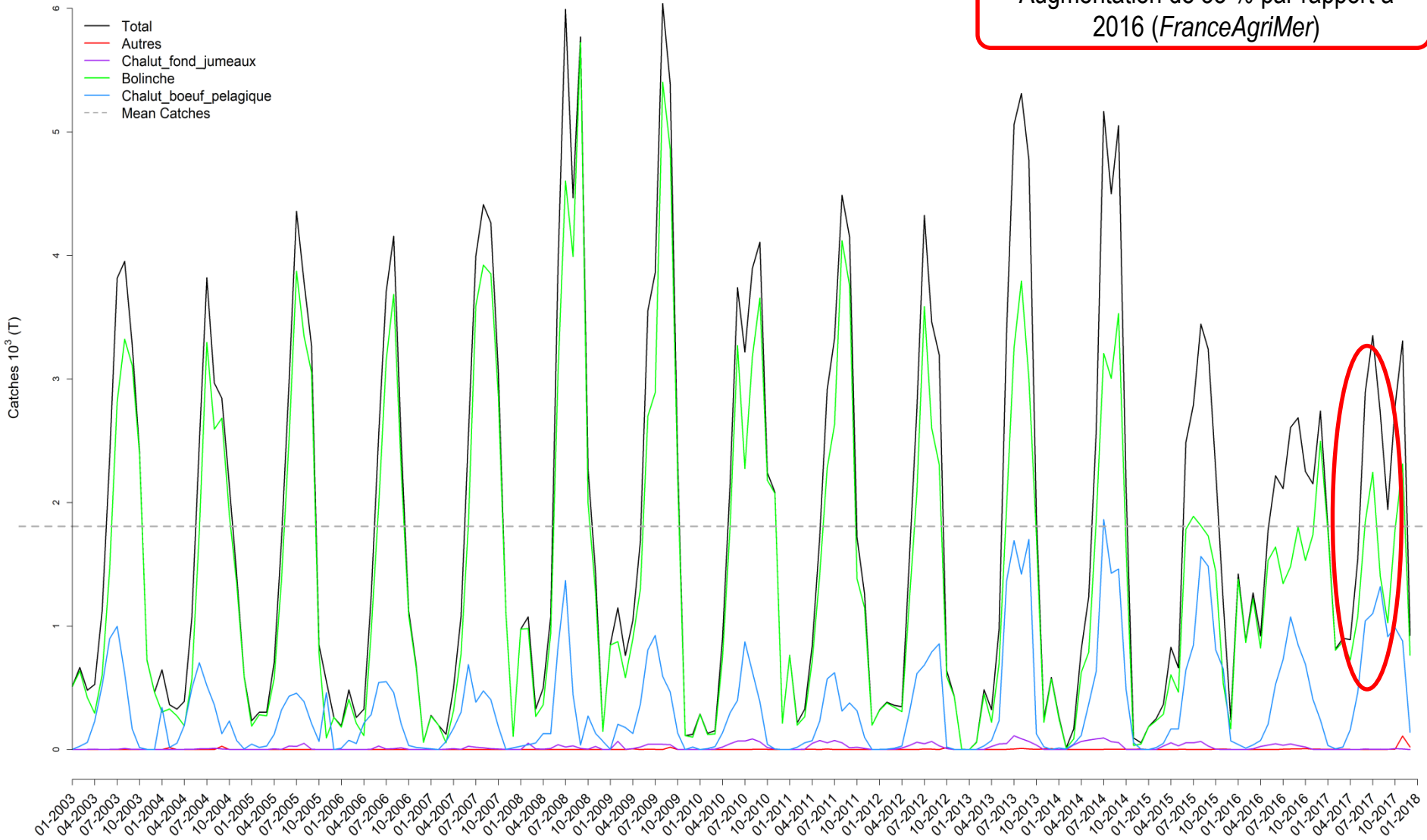
Huret et al., 2018



Les captures (Façade atlantique)



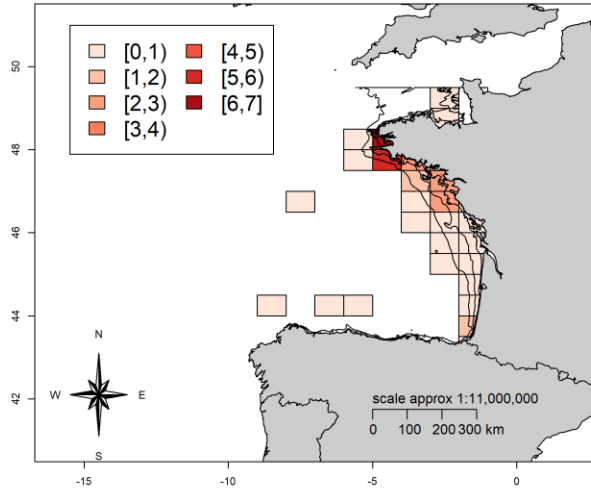
Augmentation de 33 % par rapport à 2016 (FranceAgriMer)



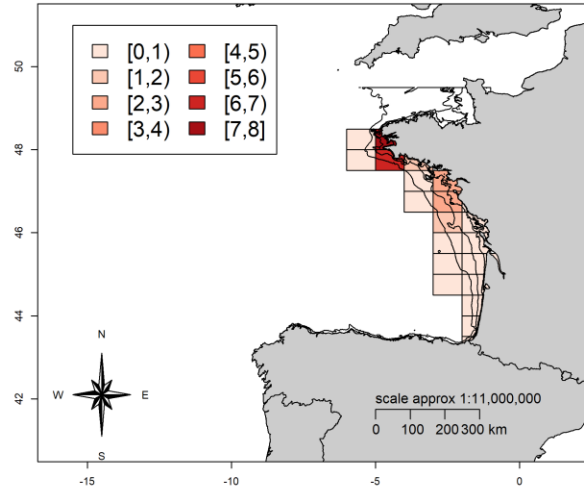
... et leur répartition spatiale



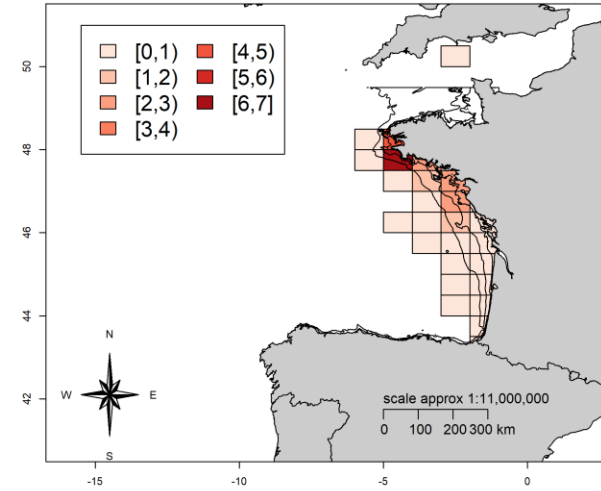
Sardine catches (1E6) kg in 2013



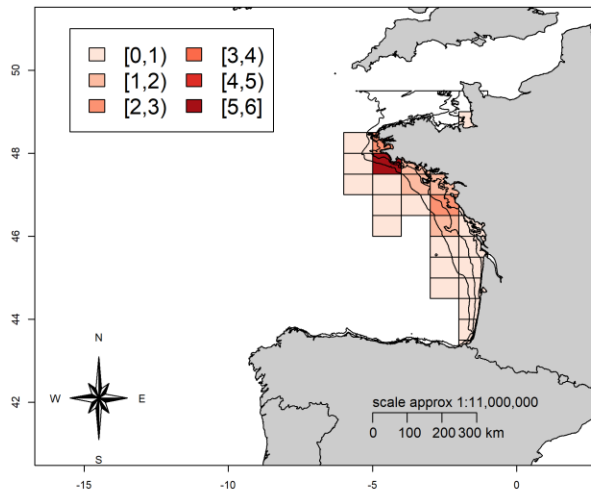
Sardine catches (1E6) kg in 2014



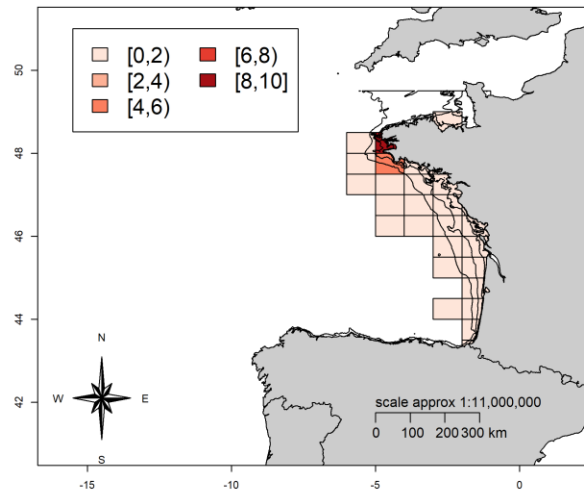
Sardine catches (1E6) kg in 2015



Sardine catches (1E6) kg in 2016



Sardine catches (1E6) kg in 2017



Majorité des captures effectuées en Sud Bretagne

Cas d'étude

La sardine Atlantique (*sardina pilchardus*, zone CIEM VIII a-b-d)

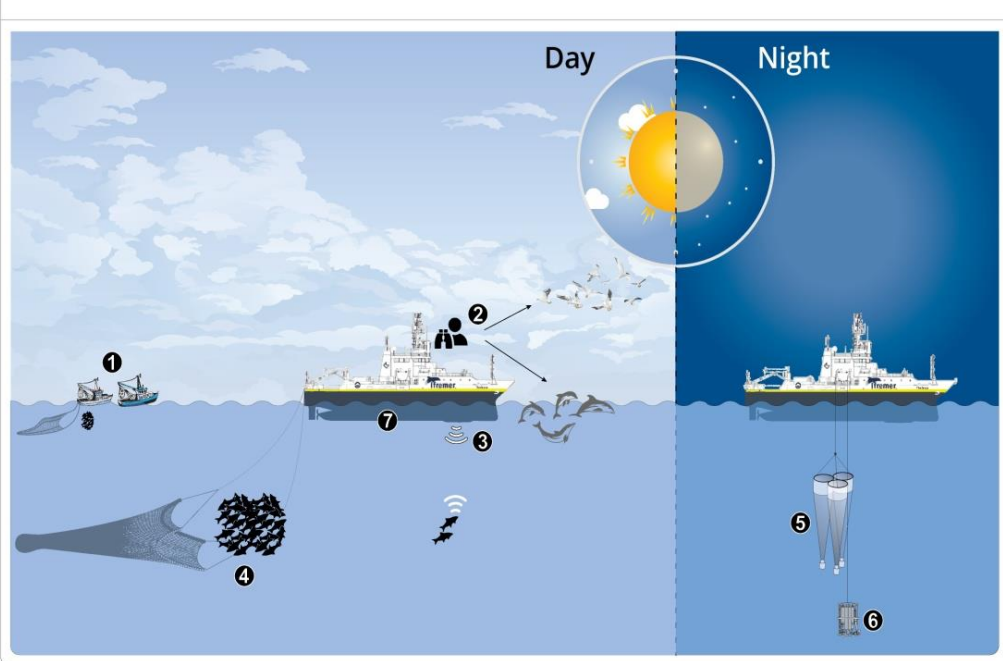


Une évaluation de stock au CIEM

La campagne PELGAS



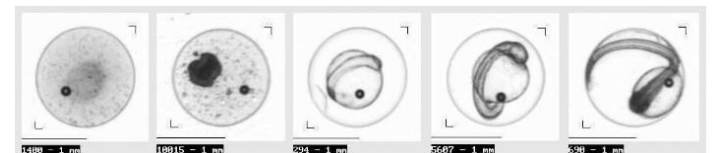
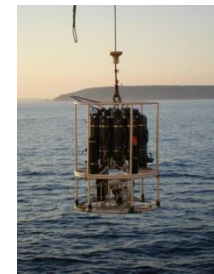
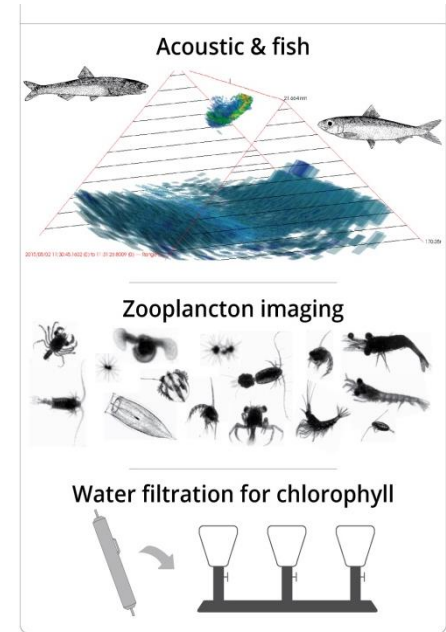
❑ Une campagne écosystémique



✓ Divers indicateurs utilisés...

- La directive cadre Stratégie sur le Milieu Marin (DCSMM)
- Activité de recherche écosystémique

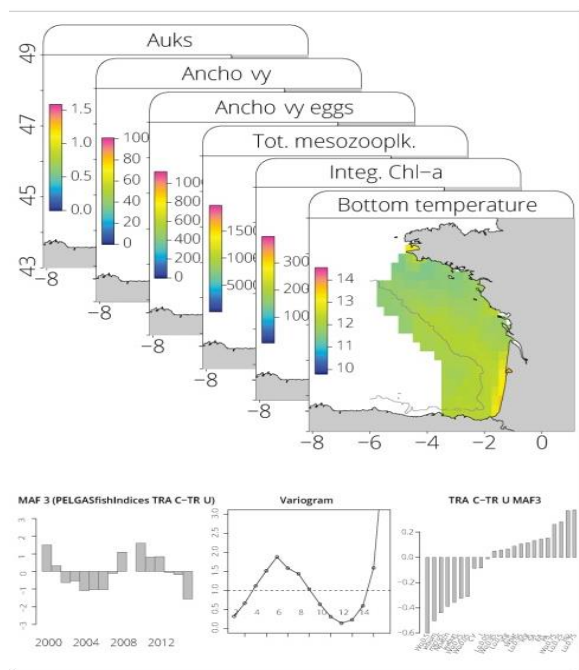
✓ Des données écosystémiques



La campagne PELGAS ... et ses produits

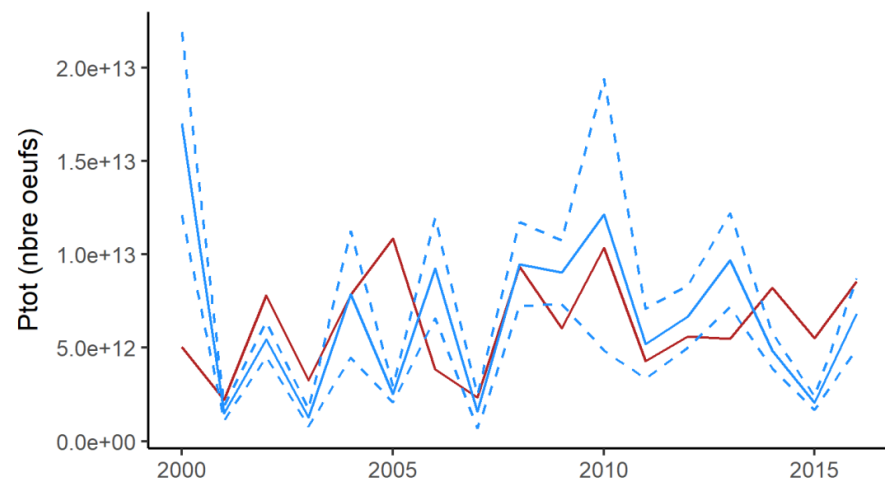
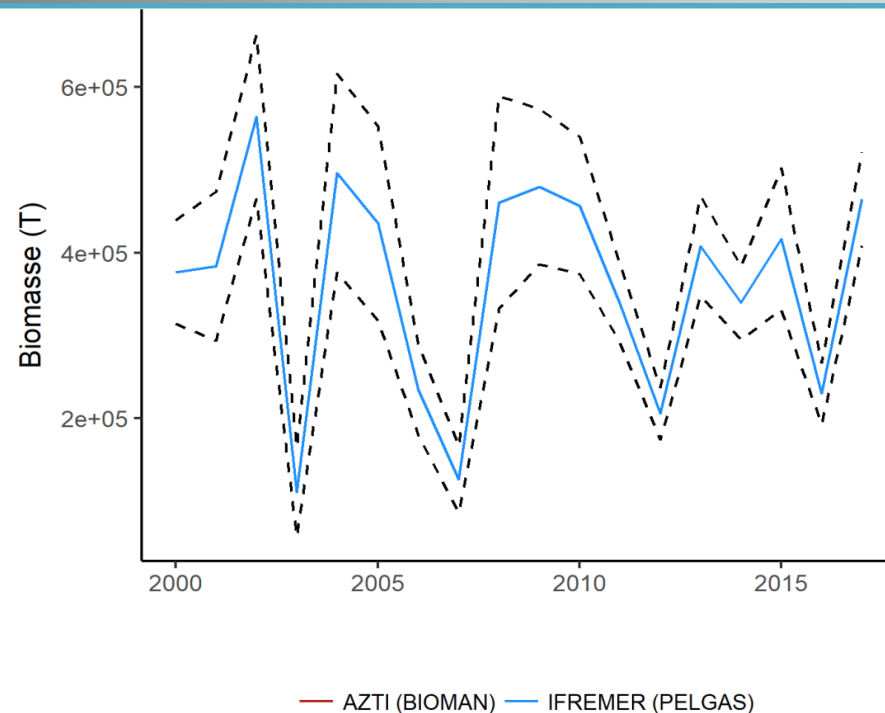


Un ensemble d'indicateurs



Divers indicateurs utilisés...

- La directive cadre Stratégie sur le Milieu Marin (**DCSMM**)
- Activité de recherche écosystémique
- **L'évaluation de stock (WGHANSA)**



L'évaluation de stock

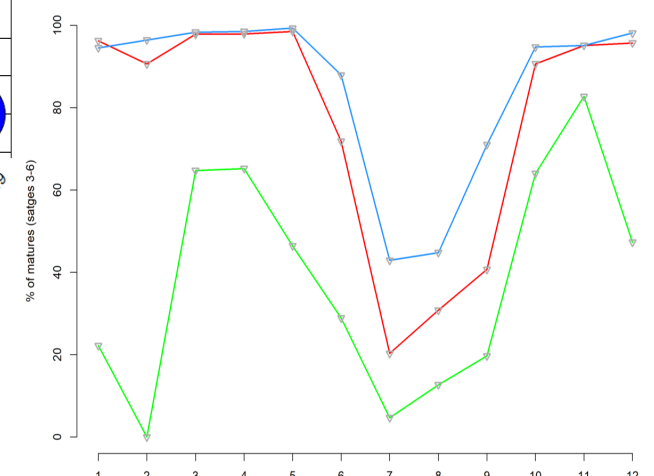
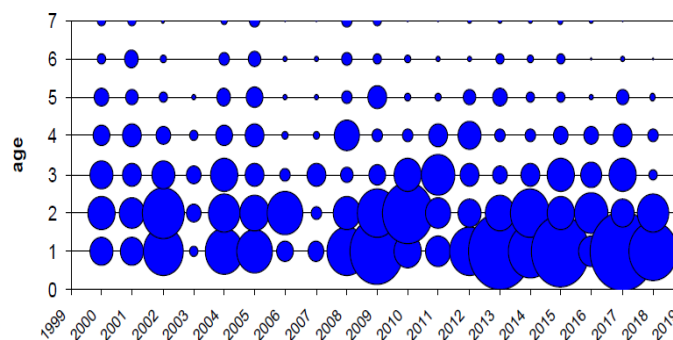
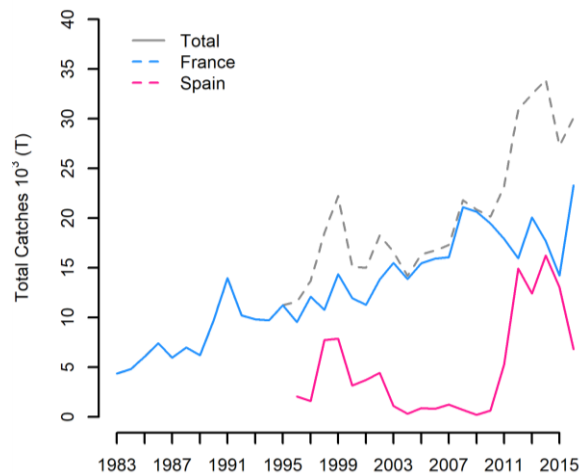
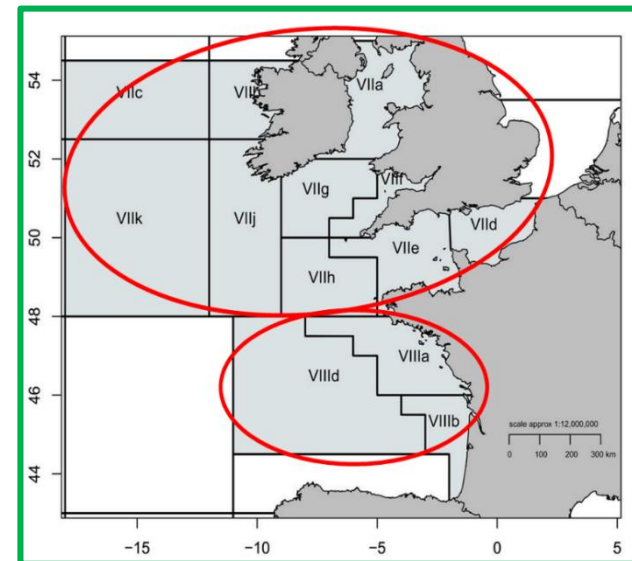


❑ Avant 2016

- ✓ Une seule unité de stock
- ✓ Absence de modèle analytique

❑ Benchmark (2016) à aujourd'hui

- ✓ 2 unités de stocks : Golfe de Gascogne / Manche
- ✓ **Stock Synthesis**

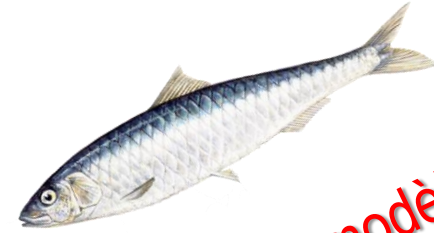


L'évaluation de stock 2018 ...

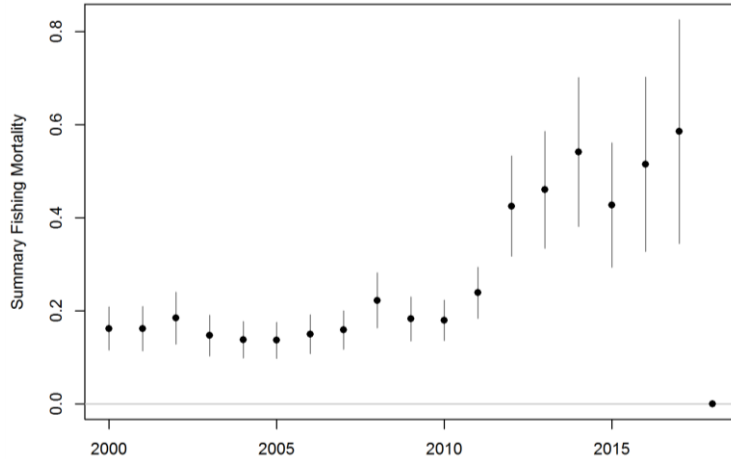


Stock en catégorie 2

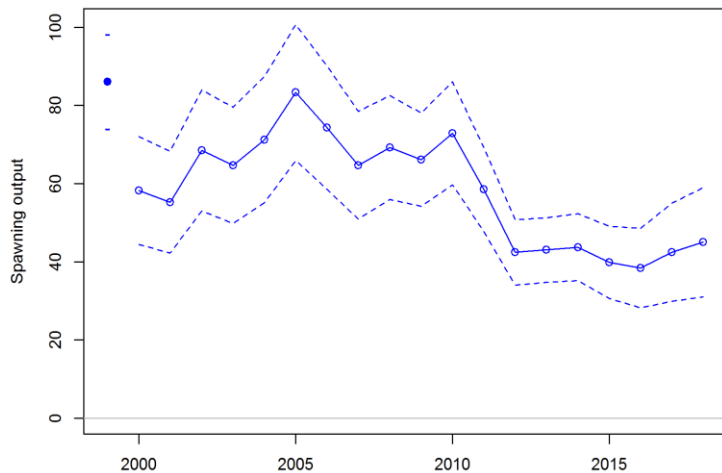
=> Analyse de tendances à partir d'une évaluation analytique



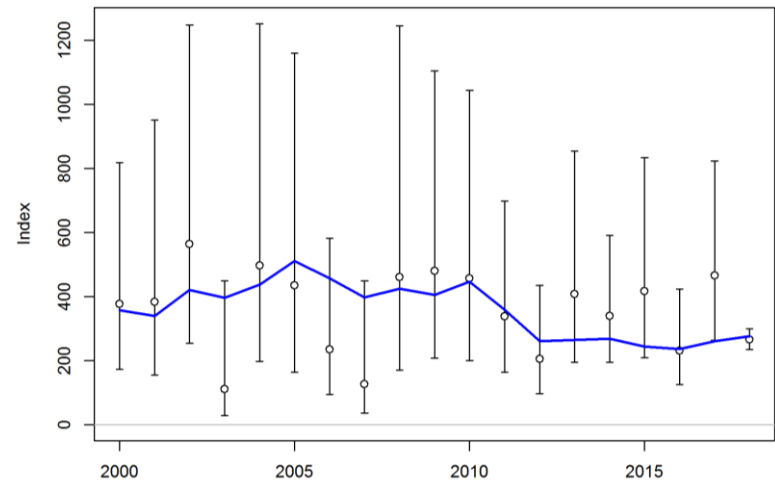
Absence de modèle
d'évaluation de stock
analytique



Spawning output with ~95% asymptotic intervals



Index Biomass_Pelgas_survey



Quel niveau d'exploitation actuel ?



Absence de modèle
d'évaluation de stock
analytique



❑ Stock à enjeux multiples

- ✓ Commission Européenne
- ✓ Professionnels de la pêche
- ✓ Industries de transformation (conserveries)

Enjeux Bio-économiques
⇒ Mise en place d'un plan de gestion

Enjeux économiques

❑ Un financement double

- ✓ La région Bretagne
- ✓ Fédération française des Industries d'Aliments Conservés (FIAC)





Quel modèle opérationnel d'évaluation écosystémique pour représenter la dynamique de population de la sardine Atlantique ?



Vers un modèle opérationnel d'évaluation écosystémique

Quels signaux temporels observe-t-on ?

Quelle échelle Spatio-temporelle ?

Quel modèle pour la sardine ?

Que disent les résultats ?

Comment ont évolués les paramètres biologiques de la sardine ?

Quels mécanismes sont à l'origine de ces évolutions ?

Comment améliorer le modèle existant à partir de ces nouvelles connaissances ?

Quelles conséquences sur les scénarios de gestion ?

Comprendre la dynamique de population de la sardine en lien avec son environnement

Paramétrer le modèle d'évaluation de stock pour fournir un avis analytique

Evolution des traits d'histoire de vie



☐ Matériels:

✓ Paramètres biologiques: Data Collection Framework (**DCF**) :

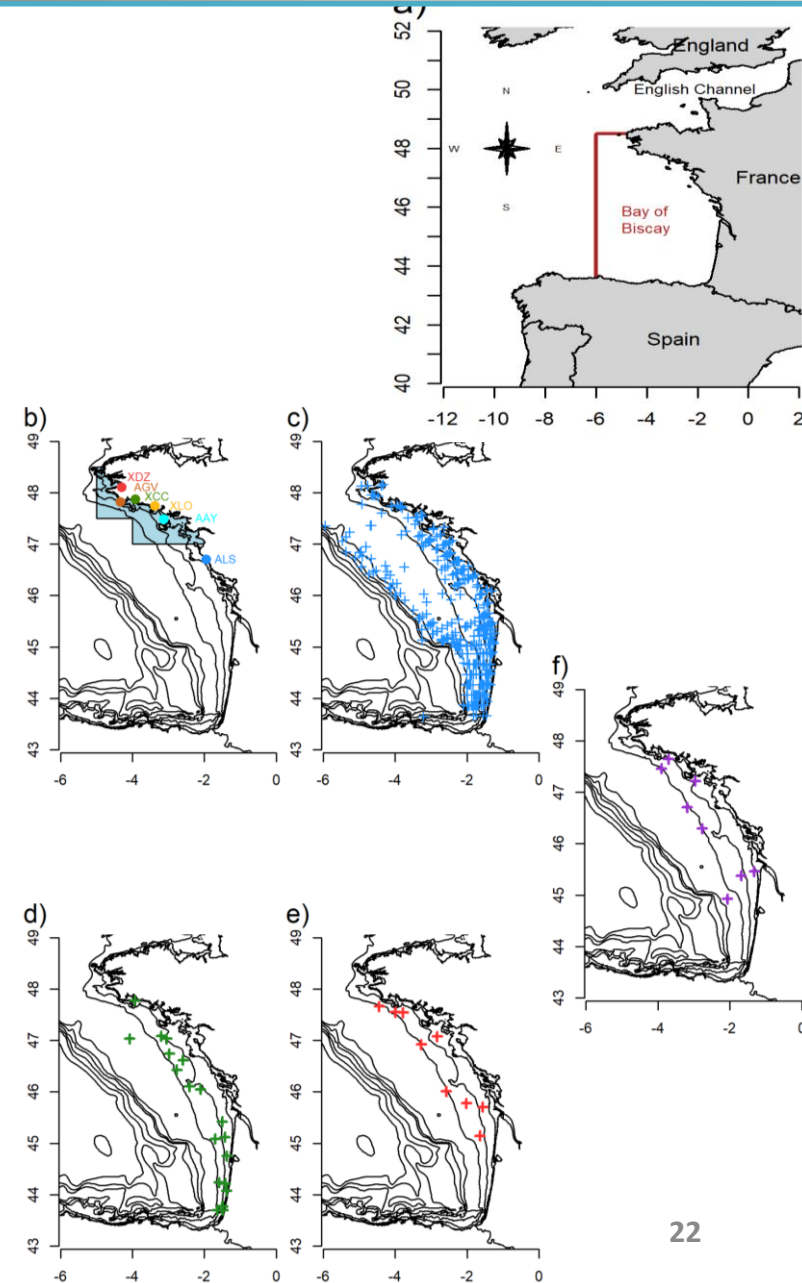
- 2003 => 2017
- Données de prélèvements en criées
- Données de campagnes scientifiques (PELGAS, EVHOE, Sentinelles, JUVAGA)

○ Données individuelles

- Age
- Taille
- Poids
- Sexe
- Maturité

✓ Données environnementales (**DYNECO**)

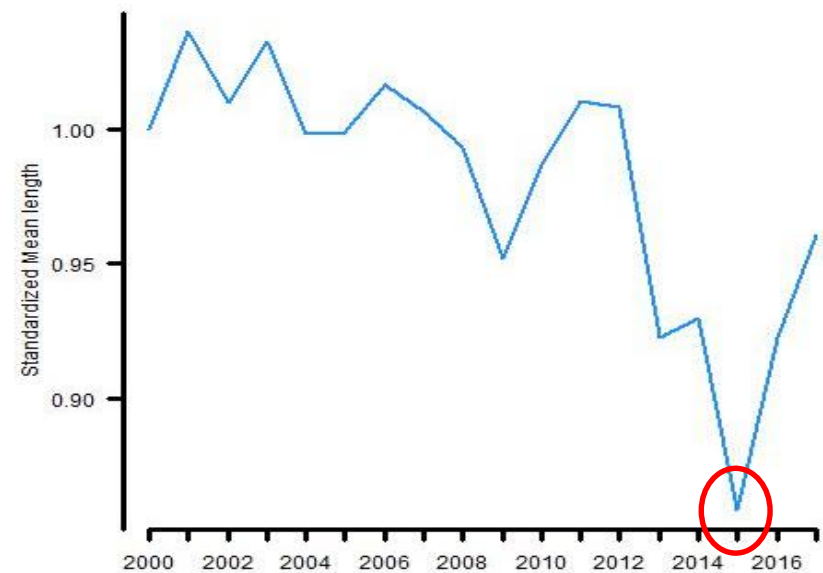
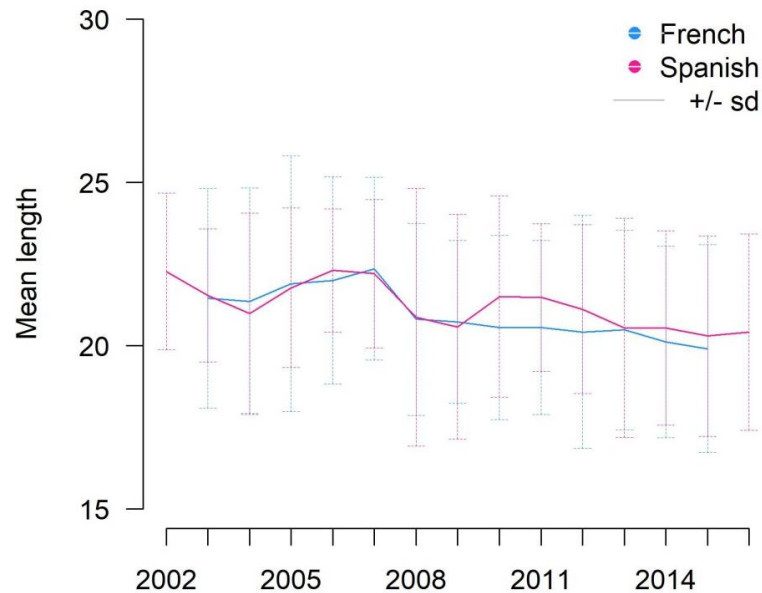
- Chlorophylle
- SST





□ 1^{er} objectif:

- ✓ Quelles évolutions des tailles et des poids aux âges ?



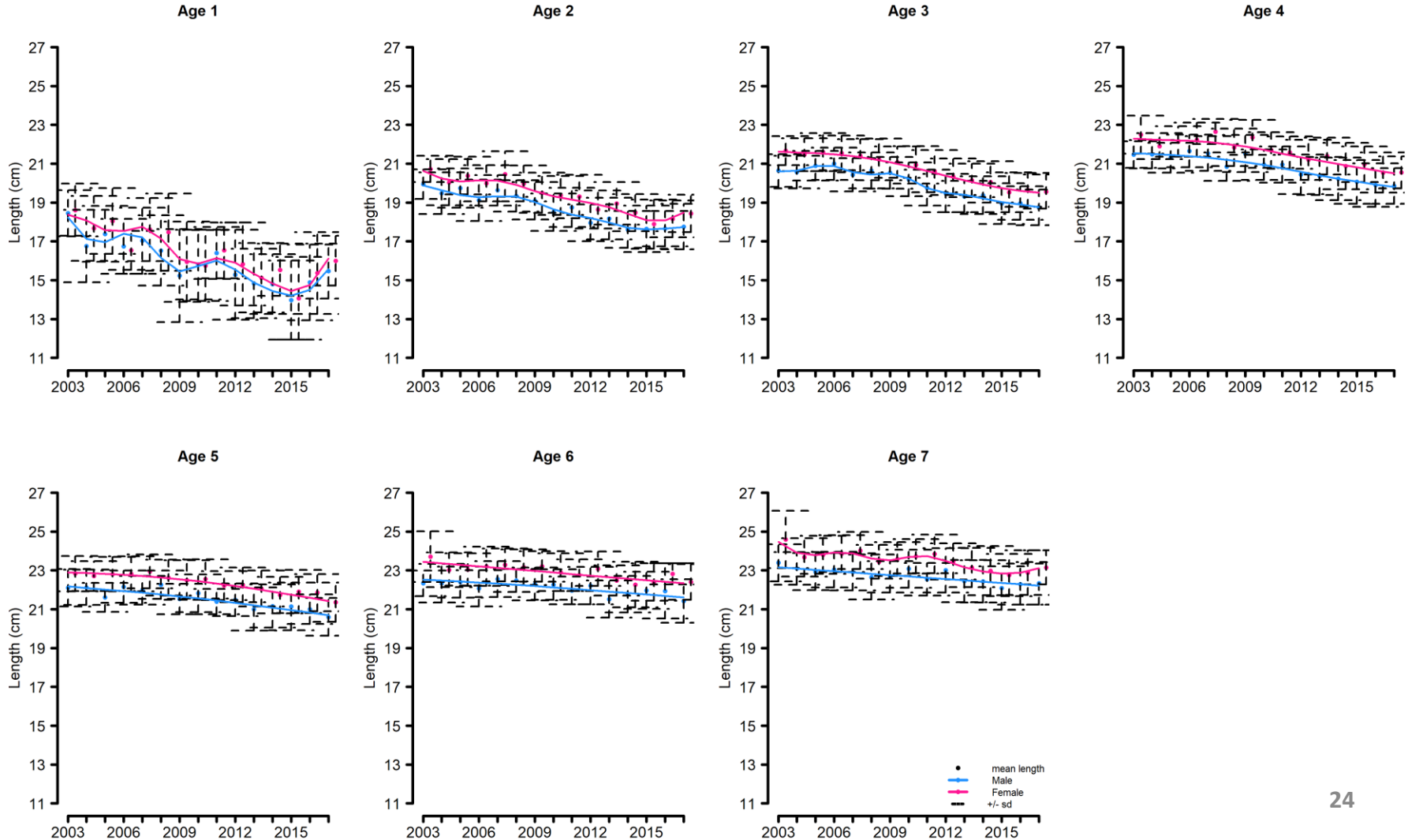
↘ de la taille moyenne (~ -13%) (19.5 cm (2000) => 17cm (2015))

Les tendances aux âges



- ✓ **GAMs** : Caractérisation des tendances et des effets des co-variables

$$Z_{Y,A,S,i} = A \times S + s(Y, A \times S) + \varepsilon_i$$

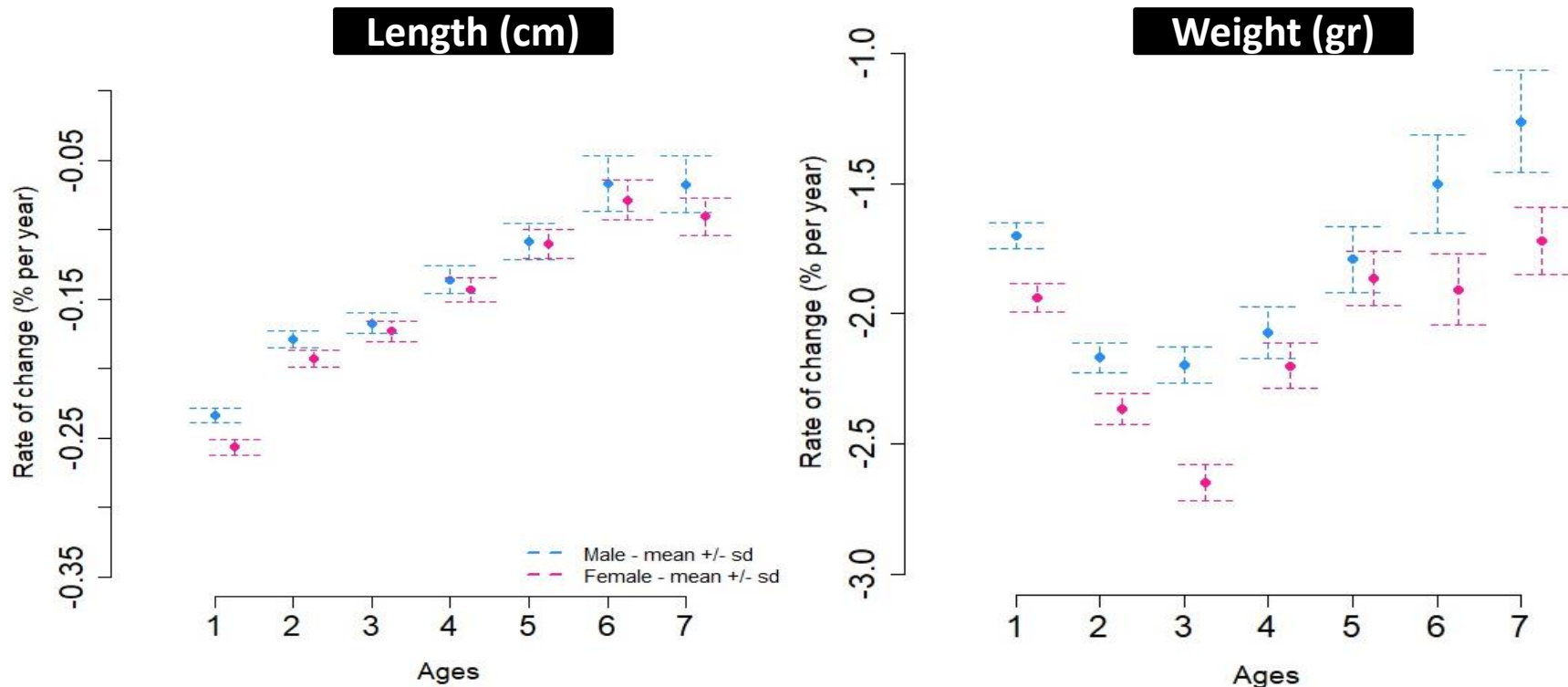


Quels âges les plus impactés ?



- ✓ **Modèles linéaires** : Identification des individus les plus impactés

Variable réponse ~ agesex + agesex * year

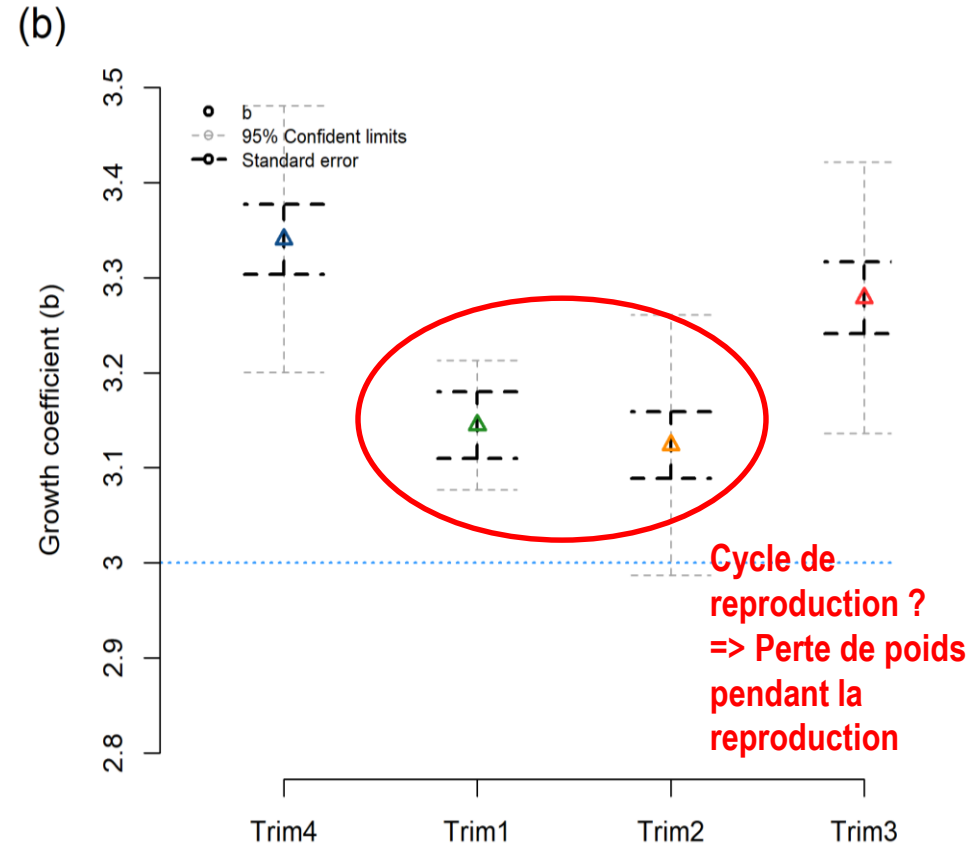
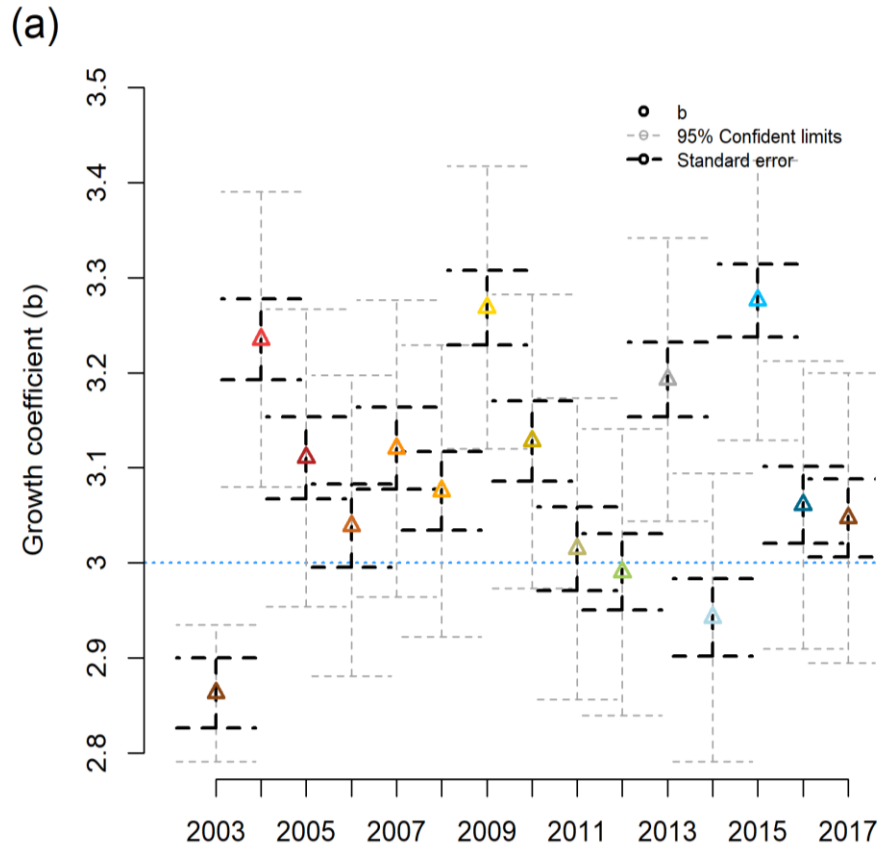


- Diminution significative pour tous les âges ($p < 0.003$)
- Diminution plus importante pour les âges 1 à 3 (< -0.11)
- 92% de la variabilité individuelle captée

La relation taille-poids



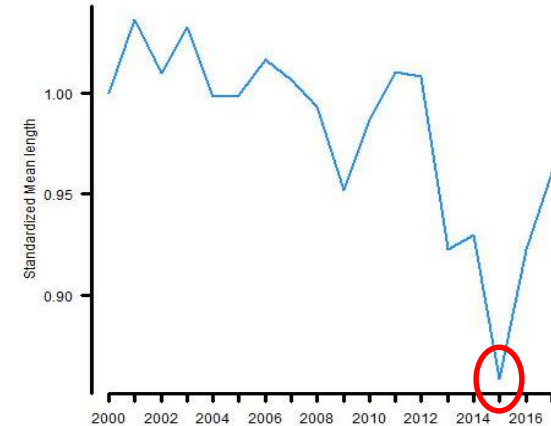
✓ Analyse de covariance : Variations intra/inter-annuelles





❑ 1^{er} objectif:

- ✓ Quelles évolutions des tailles et des poids aux âges ?



- Diminution significative du poids et la taille individuels depuis les années 2000
- Diminution plus ou moins forte selon les âges => âges 1 à 3-4 sont les plus touchés or la croissance de la sardine s'effectue principalement au cours de cette période
- Possible dimorphisme sexuel
- GAMs => Possible « remontée » à partir de 2015 (année la plus basse) qui reste à confirmer. Cette reprise apparait plus importante à l'âge 1 mais ne se répercute pas forcément à l'âge deux)
- Variabilité inter et intra annuelle de la relation taille poids avec un « proxy » de la condition qui apparait comme plus faible au cours des deux premiers trimestres de l'année => Lien avec la reproduction mais aussi avec l'environnement



❑ 2nd objectif:

- ✓ Mise en évidence des diminutions de tailles, poids aux âges
- ✓ **Quelle est finalement la condition de la sardine dans le Golfe de Gascogne ?**
 - ✓ Quels âges impactés ?
 - ✓ Overview sur les possibles drivers de ces changements (pêche, environnement, abondance (globale et aux âges), biomasses (globale et aux âges) (**En cours d'analyse**)
- ✓ **Quels lien et répercussions sur la phénologie de reproduction, sur la mortalité naturelle ...? (Résultats préliminaires, en cours d'analyse, voir au tout début...)**

Un indice de la condition

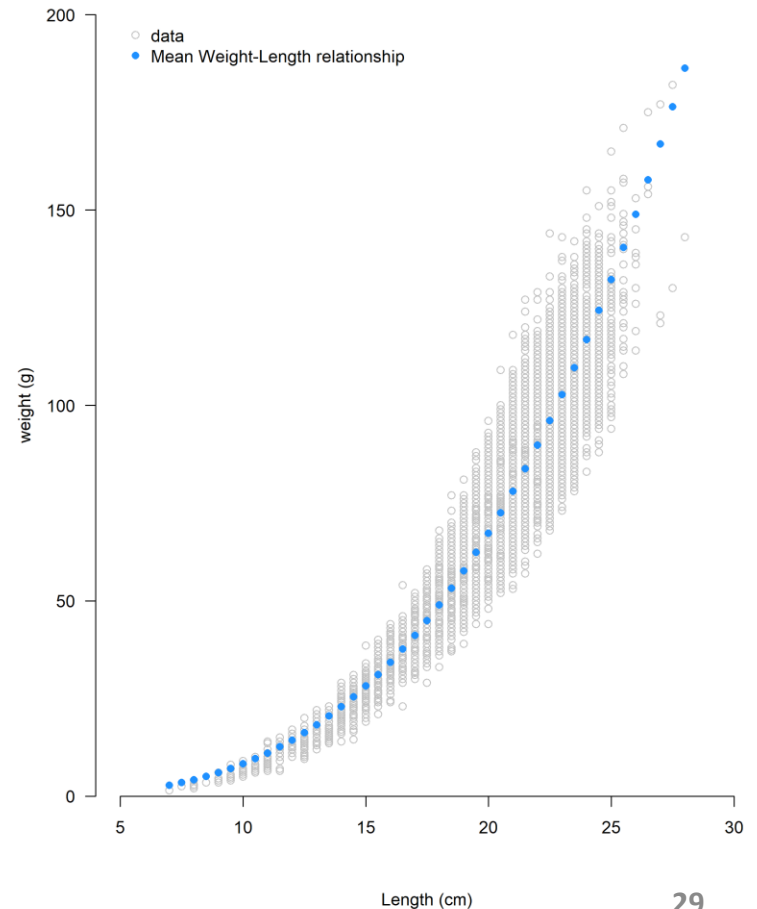
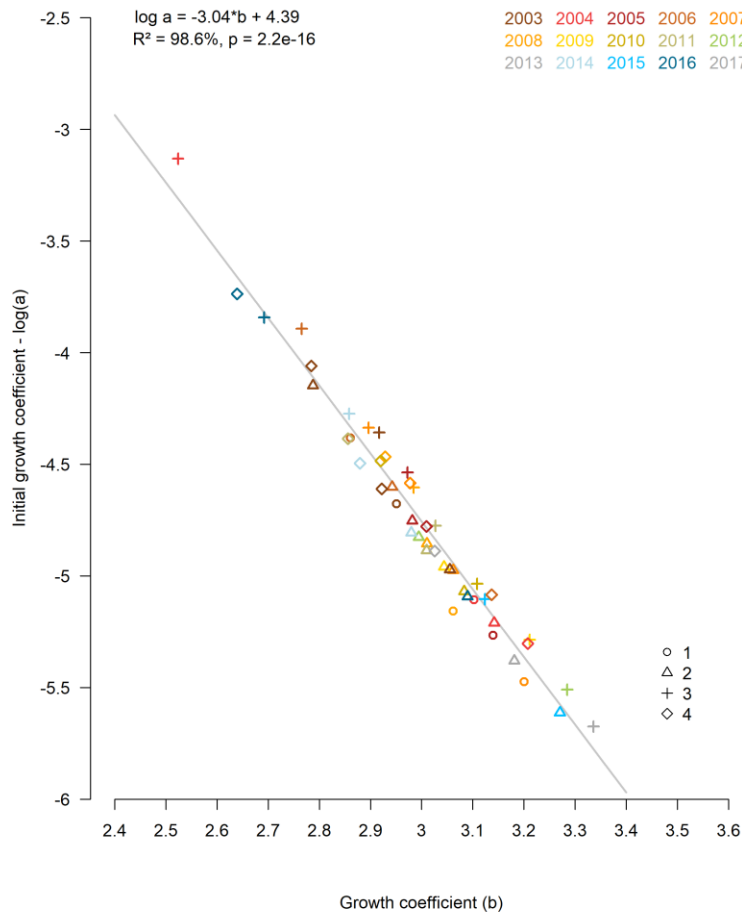


✓ L'indice de Le CREN :

$$K_n = \frac{W}{\widehat{W}}, \quad \widehat{W} = a_m L^{b_m}$$

a_m, b_m = Moyenne géométrique de a et b calculés pour chaque saison de chaque année

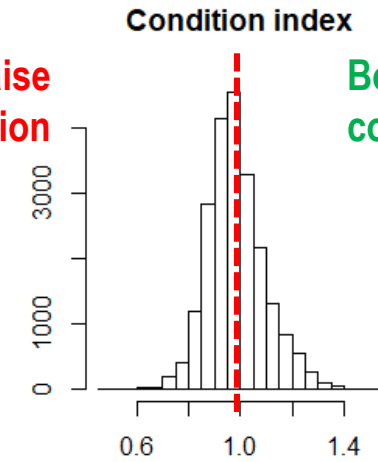
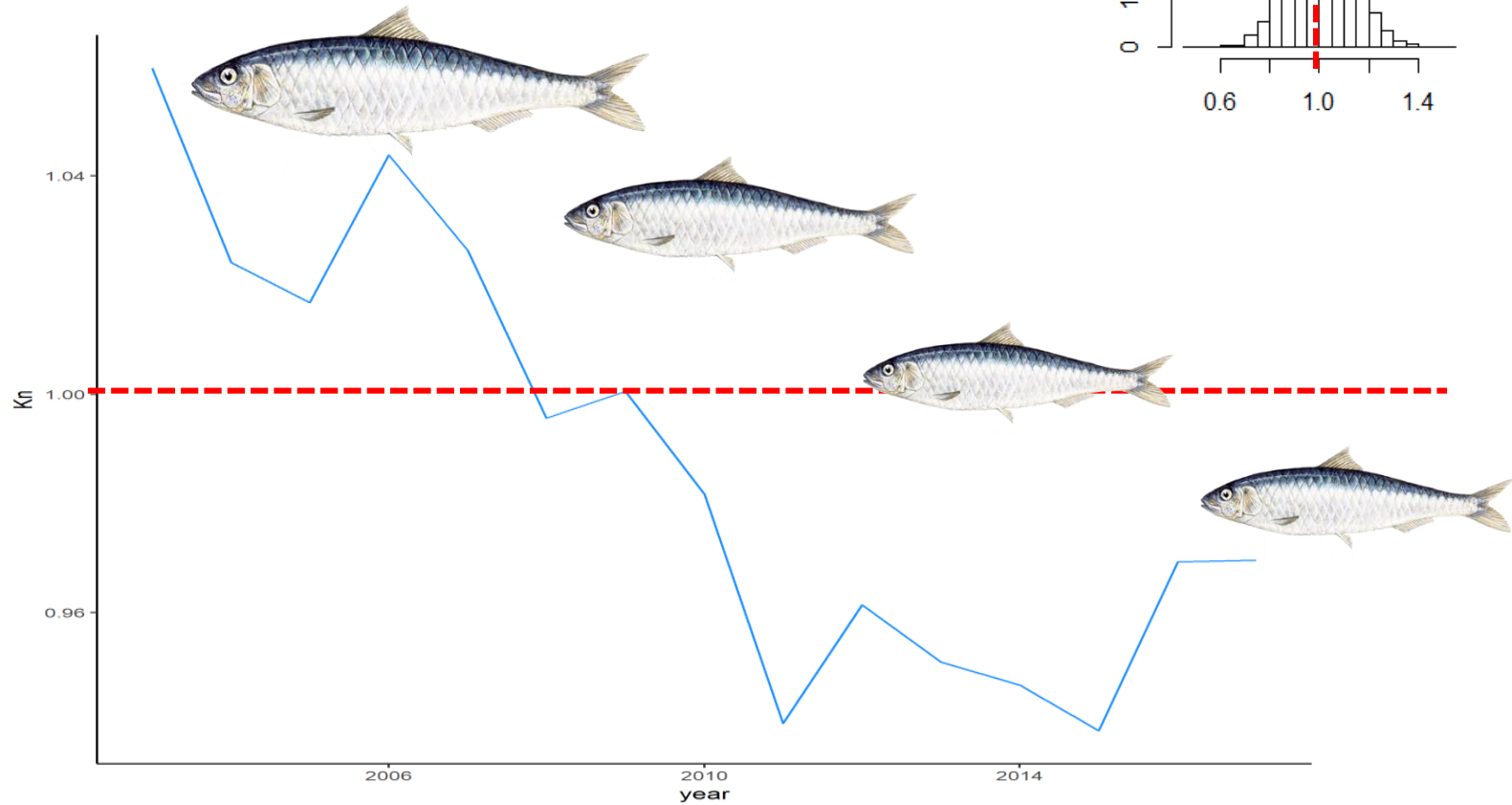
Analyse de régression $\log(a)$ sur $b \Rightarrow$
Vérification de la cohérence entre toutes les relations taille-poids
(*Froese, 2006*)



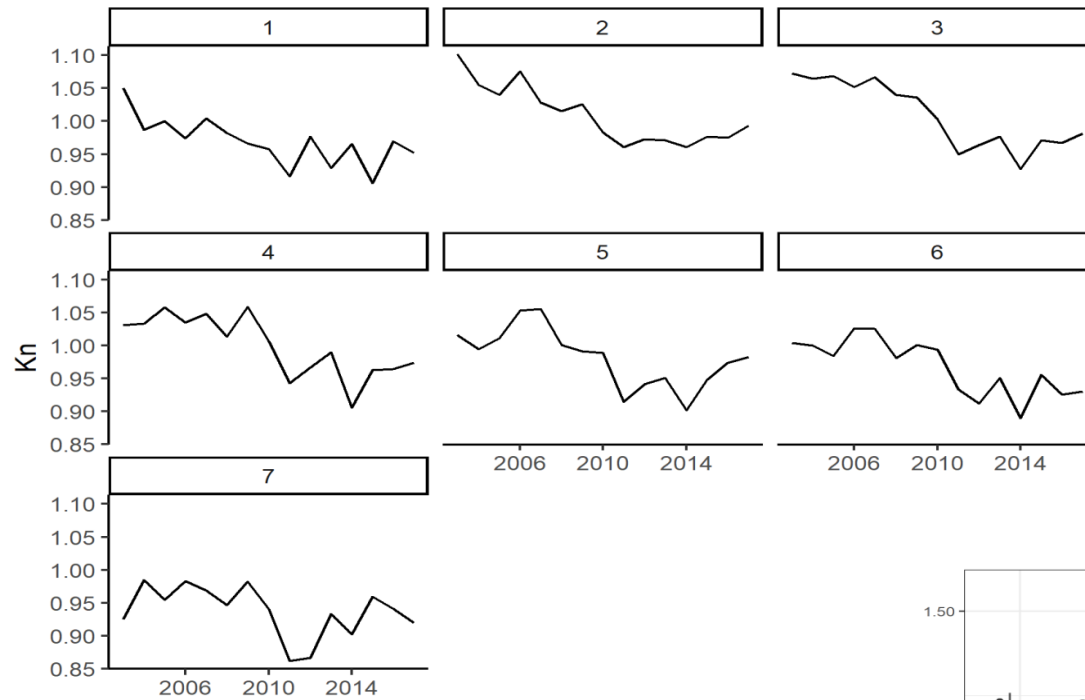
La condition de la sardine



- Diminution de la condition de la sardine depuis 2003
- Tendence à la remontée depuis 2015 ... Relation avec augmentation de la taille et du poids..



La condition de la sardine

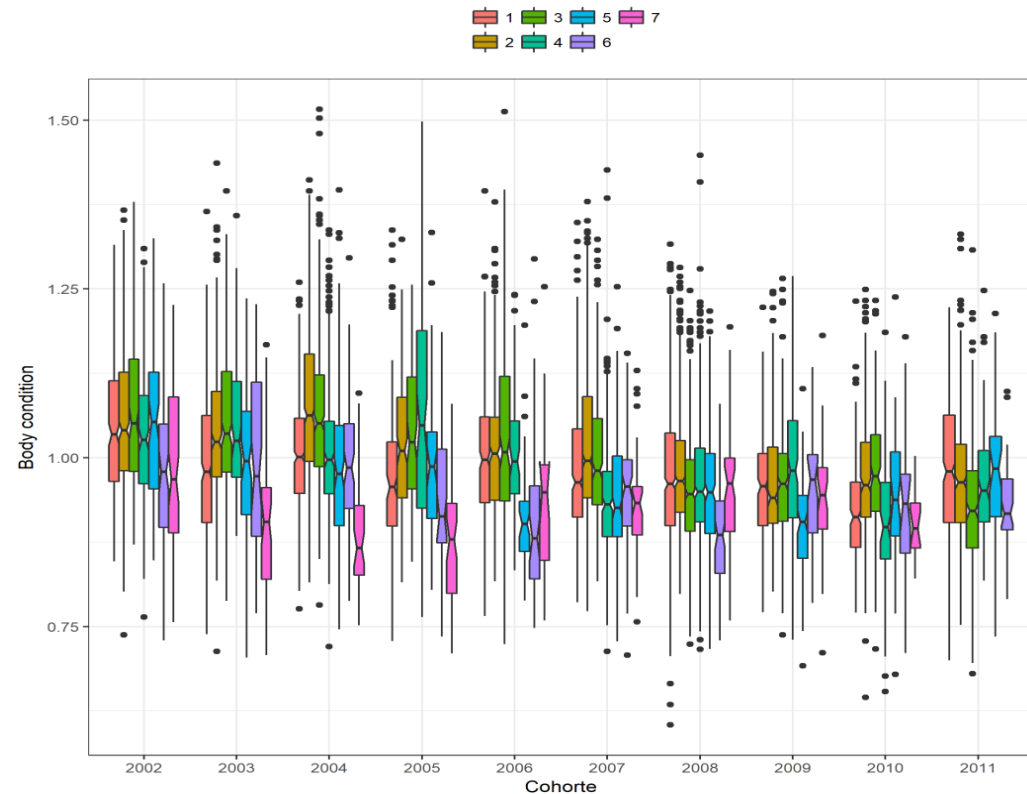


-Tendance réelle à la diminution pour tous les âges

-Minimum de condition pour les individus adultes ... Potentiellement reproducteurs

- Effet cohorte ... Condition moyenne par cohorte de plus en plus faible depuis 2002

- Au sein d'une même cohorte, la condition atteint un plateau aux âges 3-4 avant de chuter ...





□ 2nd objectif:

- ✓ Mise en évidence des diminutions de tailles, poids aux âges
- ✓ Quelle est finalement la condition de la sardine dans le Golfe de Gascogne ?
 - ✓ Quels âges impactés ? => **TOUS**
 - ✓ Overview sur les possibles drivers de ces changements (pêche, environnement, abondance (globale et aux âges), biomasses (globale et aux âges) (**En cours d'analyse**))

○ **Modèle Linéaire à effets mixtes**

- Variables explicatives :



- Année
- mois
- Maturité
- Activité de ponte
- Age



Estimation de « time series » de la condition

○ **Dynamic Factor Analysis**

- Variables explicatives :

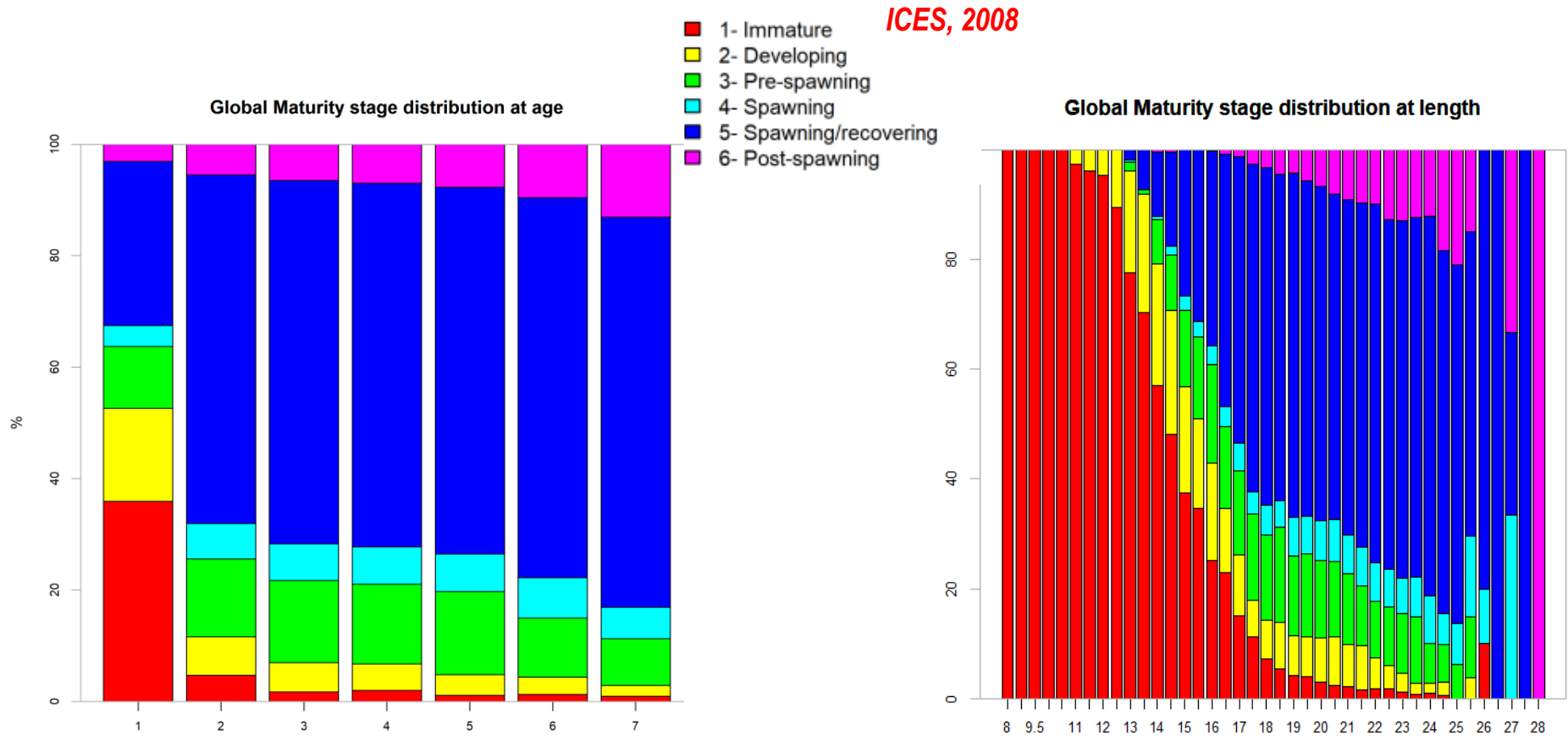
- Effort de pêche
- Environnement
- Abondance
- Biomasse

Phénologie de la reproduction



2nd objectif:

- ✓ Quels liens et répercussions sur la phénologie de reproduction, sur la mortalité naturelle ...?
(Résultats préliminaires, en cours d'analyse, voir au tout début...)



Les sardines sont matures dès un an

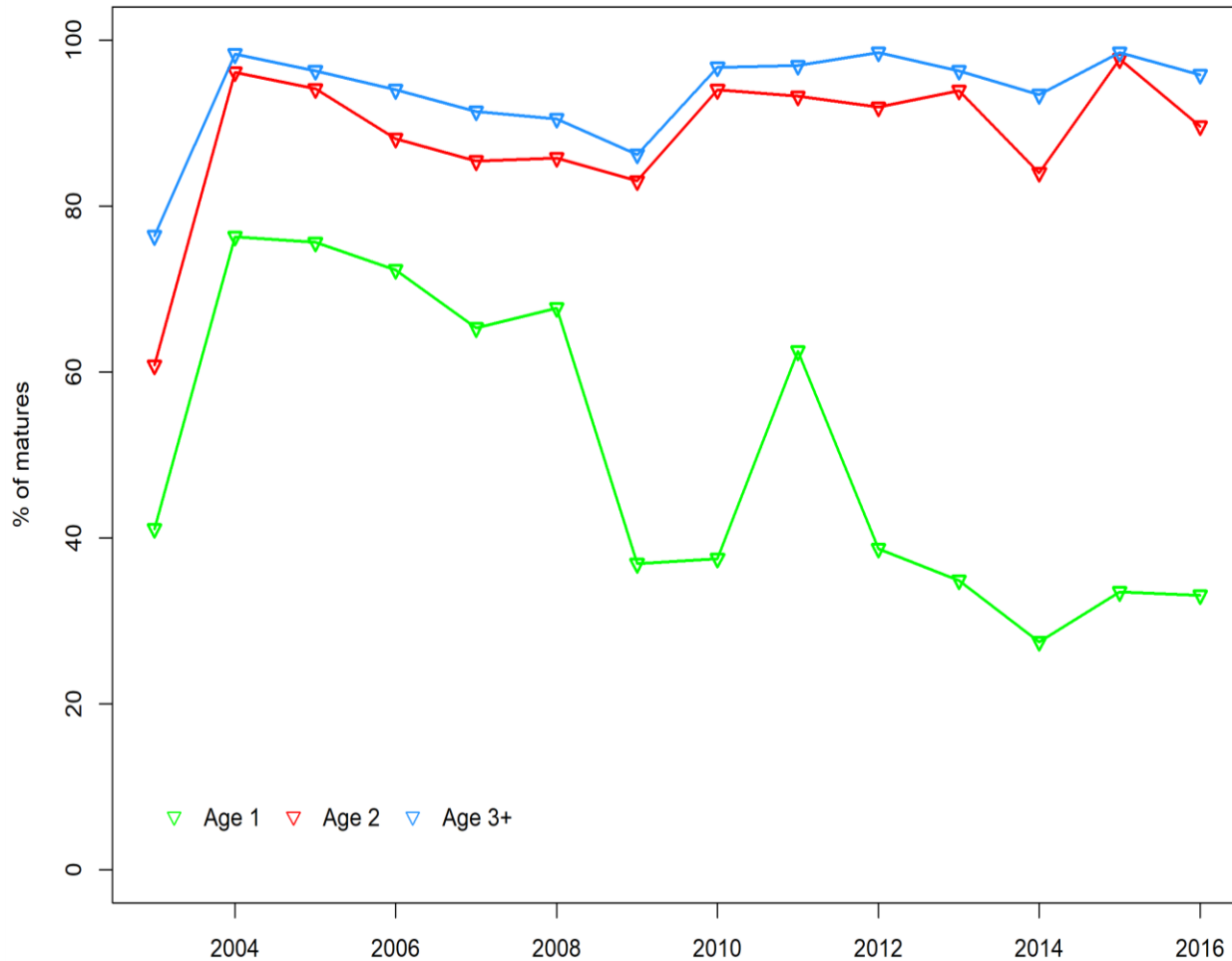
Forte dépendance de la taille ??... hors diminution

Proportion de matures aux âges ...



2nd objectif:

- ✓ Quels lien et répercussions sur la phénologie de reproduction, sur la mortalité naturelle ...?
(Résultats préliminaires, en cours d'analyse, voir au tout début...)





Définition des ogives

Stades de maturité :

3=<Maturité=<5 Individus montrant une activité de ponte

Saison de ponte Y Définie sur la base de la proportion de poissons en activité de ponte au cours de l'année Y

Maturité >= 2 Individus matures ↔ Intégrant la **SSB**

>=2 **ET** d'âge 1 « First-Year-Spawners » => Poissons matures au cours de sa première saison de ponte

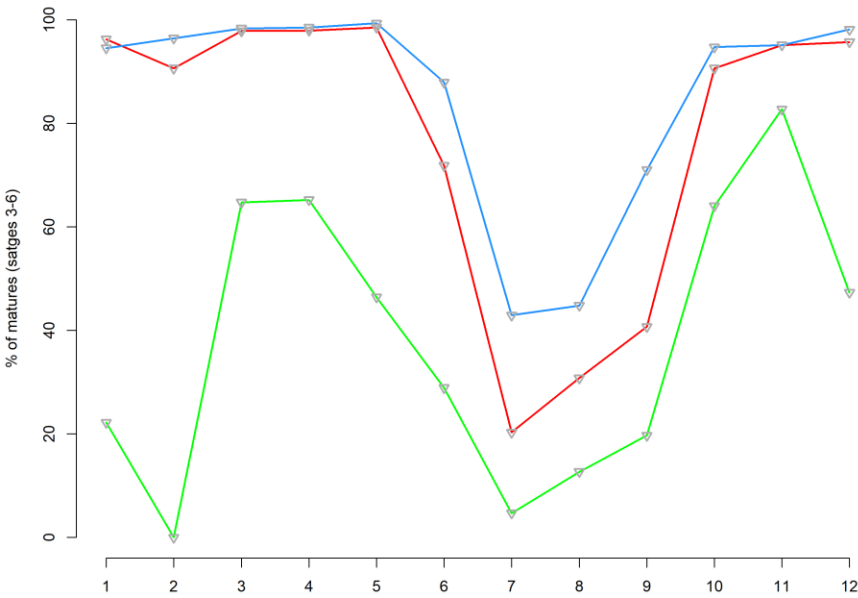
Ogives de ponte

Ogives de maturité

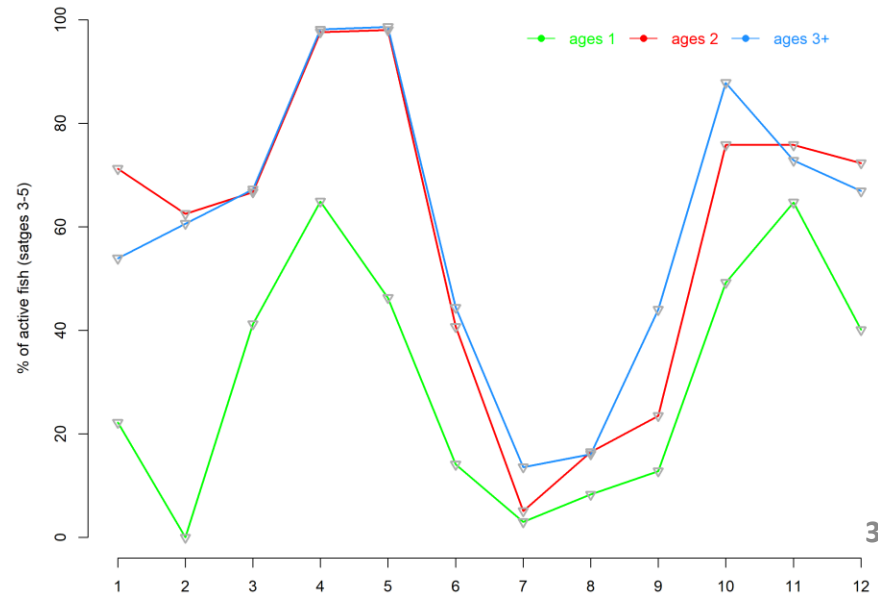
Ogives de maturation

Données DCF (2003 – 2017)

Seasonal variability of mature fish



Seasonal variability of fish showing spawning activity



Les ogives de ponte

Describe the probability of an individual fish being spawning conditionally upon being mature at the same period

❑ Objectives:

- ✓ Study the duration and intensity of reproductive season of sardine
- ✓ Determine which period use to estimate maturity ogives

❑ Data :

Proportion of mature fish being spawning (maturity stages 3-5) by length class and month over the whole period (2003-2016)

❑ Model :

The probability of spawning was modelled as an anisotropic bi-variate function of length class (by half cm) and month

$$E[Sp] = \alpha + te(\text{length}, \text{month})$$

=> **Generalized Additive model (GAM)**

- ✓ Binomial error distribution and a logit link function
- ✓ Model selection using the unbiased risk estimator (Wood, 2006)

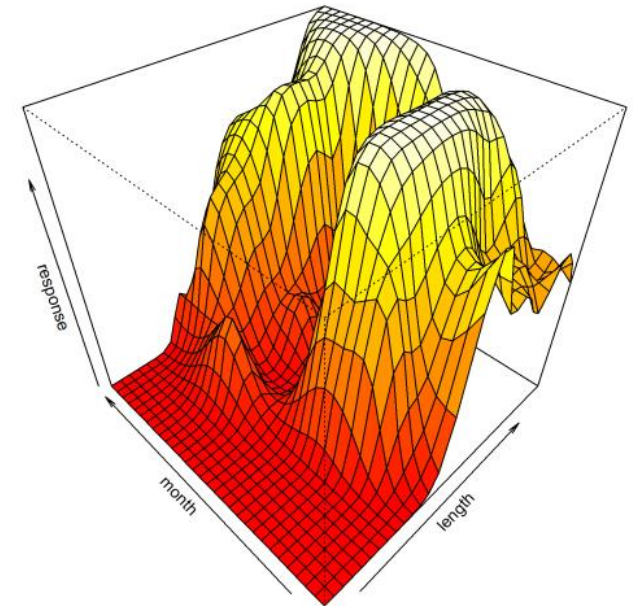
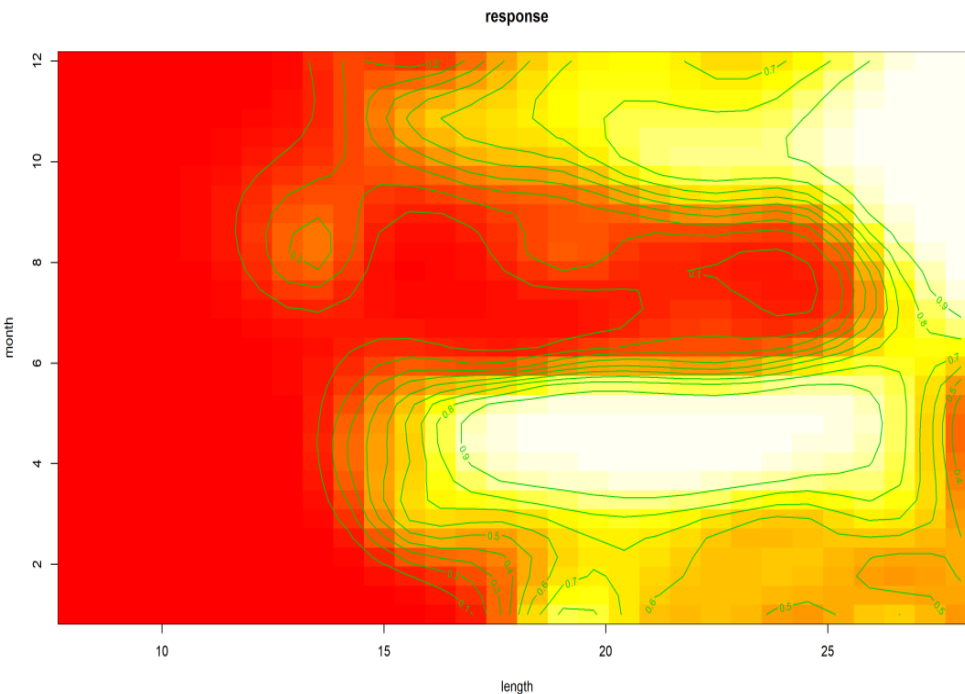


Stades de maturité :

$3 \leq \text{Maturité} \leq 5$ Individus montrant une activité de ponte

Saison de ponte Y Définie sur la base de la proportion de poissons en activité de ponte au cours de l'année Y

Ogives de ponte





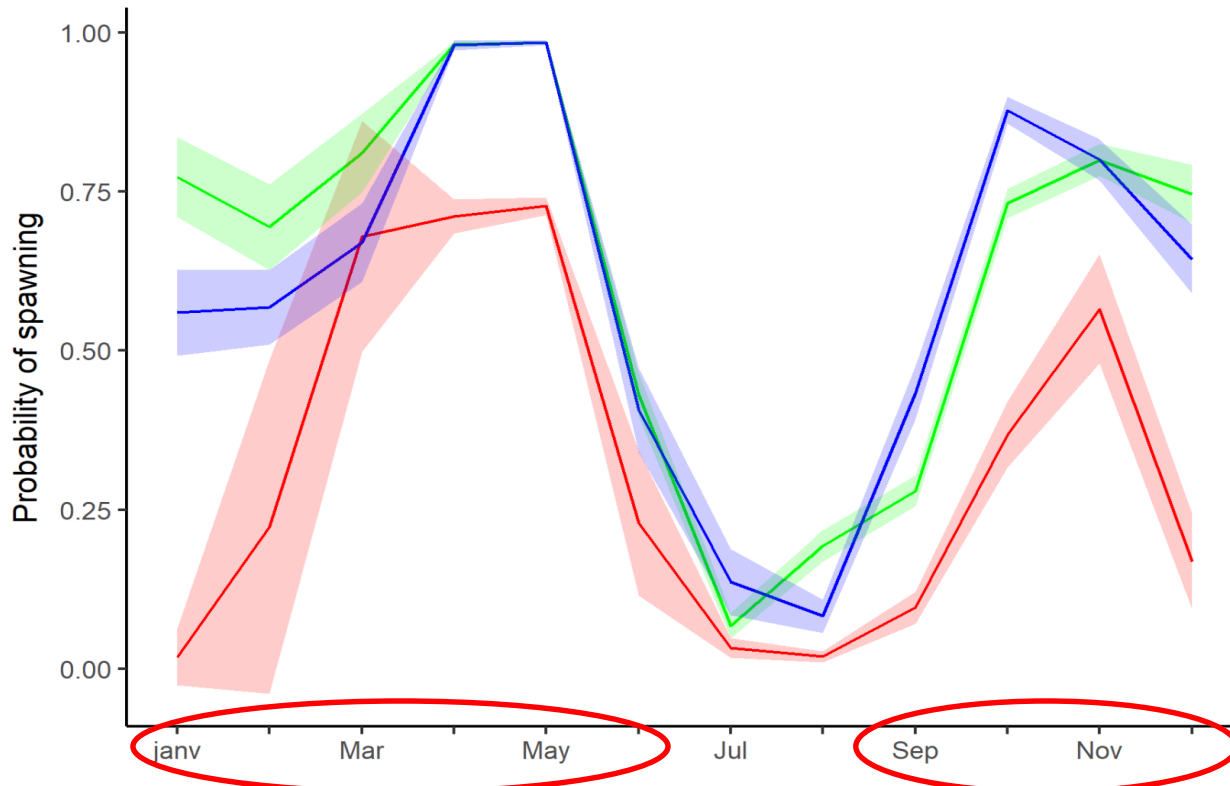
Stades de maturité :

3=<Maturité=<5 Individus montrant une activité de ponte

Saison de ponte Y Définie sur la base de la proportion de poissons en activité de ponte au cours de l'année Y

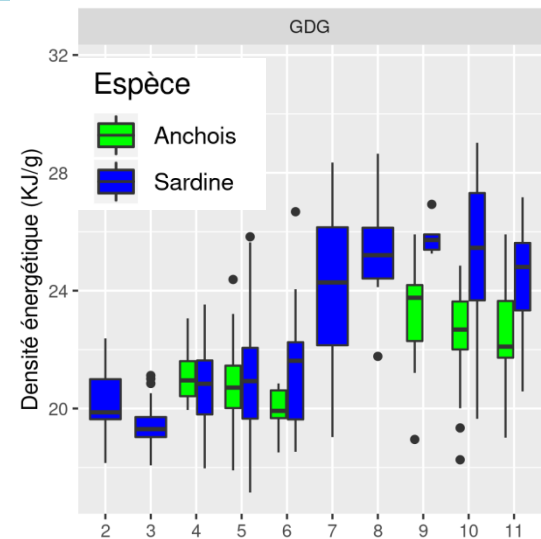
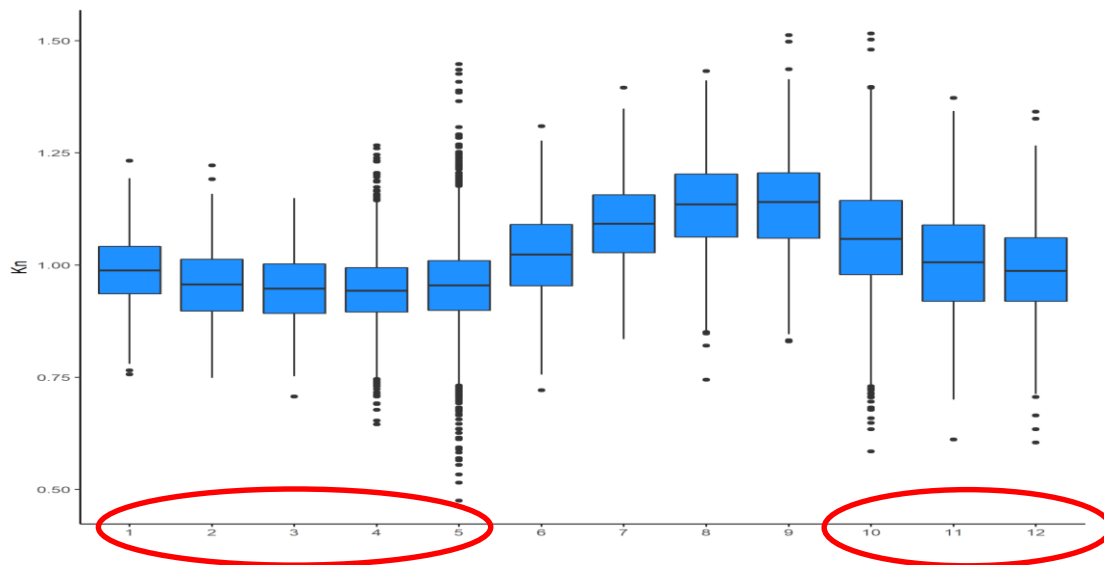
Ogives de ponte

— 16 — 20 — 23 Spawning period



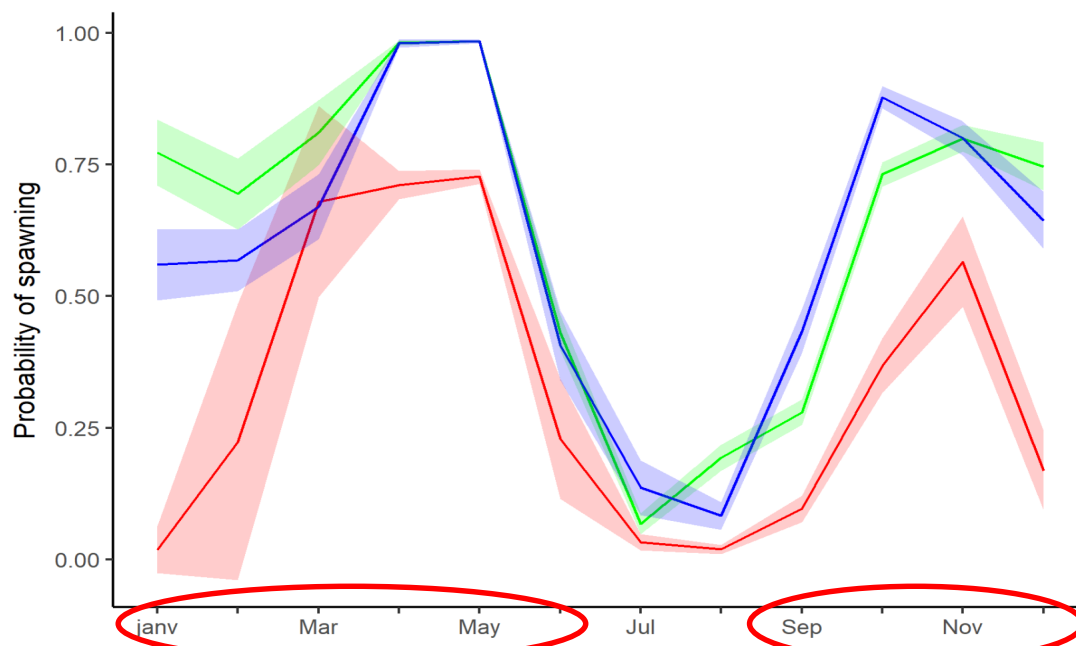
Choix de trois classes de tailles pour analyser l'étendue des ogives de pondees et s'assurer de la similarité des patterns afin de pouvoir comparer les ogives de maturités

Relation avec la condition



16 20 23

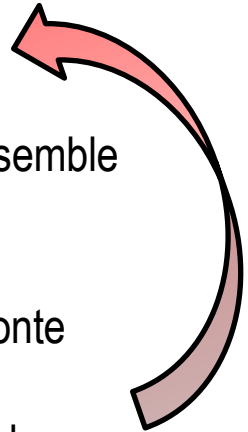
○ Saison de ponte





❑ 2nd objectif:

- ✓ **Quels lien et répercussions sur la phénologie de reproduction, sur la mortalité naturelle ...?**
(Résultats préliminaires, en cours d'analyse, voir au tout début...)
- Diminution de la proportion de matures à l'âge 1 sur l'ensemble de la série
 - Lien potentiel avec la diminution des tailles observée
- L'estimation des ogives de ponte permet de définir une saison de ponte fiable pour l'ensemble des individus de la population
 - Période de ponte en dehors des saison de croissance (été) => Large saison de ponte
 - Notion de « **Capital Spawner** »: Accumulation d'énergie et de réserve en dehors des périodes de ponte pour favoriser la reproduction
 - Ogives de ponte à priori fortement dépendante de la taille pour l'âge 1 (assimilé à la taille de 16cm)
 - La période des ogives de ponte apparait comme cohérente avec la saisonnalité de la condition de la sardine
=> Diminution de la condition pendant/juste après le début de la ponte





□ 2nd objectif:

- ✓ Quels lien et répercussions sur la phénologie de reproduction, sur la mortalité naturelle ...?
(Résultats préliminaires, en cours d'analyse, voir au tout début...)

○ Les ogives de maturation et de maturité

- GLMs $\text{logit}(m) = a + b X$ (erreur binomial)

X Ogives de maturité:

- Taille
- Saison de ponte

X Ogives de maturation:

- Taille
- Saison de ponte
- Mois

- Permettent d'analyser les tailles auxquelles 50% des individus sont matures (à l'âge un et sur l'ensemble de la population)

$$L50 / Lp50 = -a / b$$

- Permet d'identifier si les changements de maturité ont affecté de manière similaire les individus de différentes tailles



□ 2nd objectif:

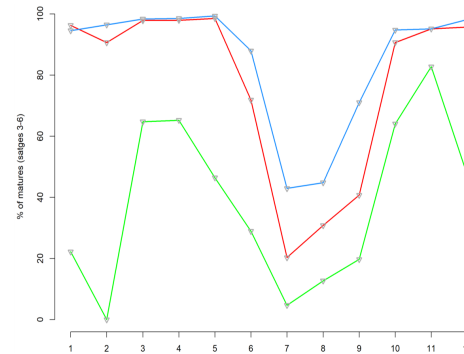
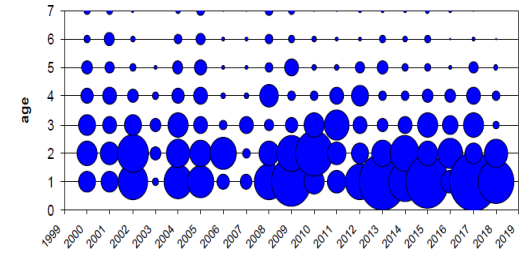
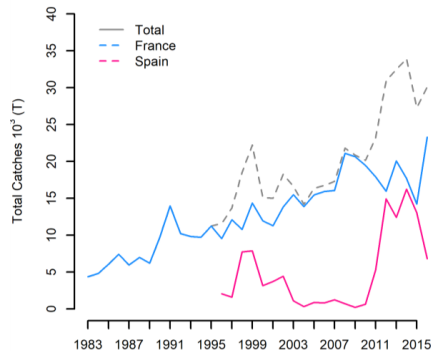
- ✓ **Quels lien et répercussions sur la phénologie de reproduction, sur la mortalité naturelle ...?**
(Résultats préliminaires, en cours d'analyse, voir au tout début...)
- Les ogives de maturation et de maturité
 - => **Résultats non montrés ici**
 - Les tailles à maturité et à première maturité semblent similaires sur l'ensemble de la série avec une moyenne de 14 cm => L50 ~ proxy de la Lp50
 - Décalage des ogives de maturité (en taille) => peut être notamment expliqué par la diminution en taille de l'ensemble de la population : les individus atteignent la taille à maturité plus tardivement dans la saison de ponte
 - => En cours ... Diverses hypothèses**
 - Corrélation entre la condition des individus et la L50 ?
Saisonnalité de la condition aux âges par rapport à la saisonnalité des ogives : Les individus âgés de 2-4 ans constituent une grande partie de la population or apparaissent en meilleure condition (avec une augmentation pendant l'été) donc potentiellement une taille à maturité qui peut diminuer
 - Forte dépendance de la reproduction à la température de surface
 - "Probabilité de normes de réaction => Fisheries-induced evolution

Tout cela pour quoi ? ... En cours !!



❑ Besoin d'un outil d'évaluation fiable ... Ce qui n'est pas le cas aujourd'hui

- Passage à un modèle en taille
- Intégration de deux flottilles
- Prise en compte de la variabilité des ogives de ponte
- Analyse de la mortalité aux âges



- Intégration de variables environnementales
 - Recrutement
 - Croissance
 - Mortalité

❑ Dynamic Energy Budget

- Sortie (croissance, ponte, ...)
- Modèle populationnel



MERCI DE VOTRE ATTENTION !!

