

# MODESTA

## RÉPONSE DES POPULATIONS DE POISSONS MIGRATEURS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : UNE APPROCHE PAR DES MODÈLES DÉMOGRAPHIQUES STRUCTURÉS EN TAILLE

Eliot Boulaire, UMR DECOD, Institut Agro, Rennes  
[eliot.boulaire@institut-agro.fr](mailto:eliot.boulaire@institut-agro.fr)

Co-direction : *Etienne RIVOT, UMR DECOD, Institut Agro, Rennes*  
*Marie NEVOUX, UMR DECOD, INRAE, Rennes*

# CONTEXTE GÉNÉRAL

Changements globaux



Ecosystèmes aquatiques

# CONTEXTE GÉNÉRAL

## Changements globaux



## Ecosystèmes aquatiques



## Dynamique des populations

- Abondance
- Structure démographique



## Gestion

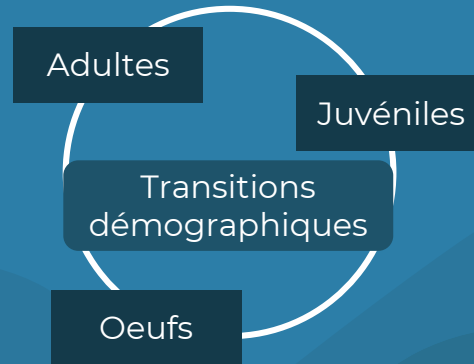
# CONTEXTE GÉNÉRAL

Changements globaux



Comprendre les mécanismes qui façonnent la réponse des populations à de multiples facteurs de pression

Niveau populationnel



Ecosystèmes aquatiques

Dynamique des populations

- Abondance
- Structure démographique

Gestion

# CONTEXTE GÉNÉRAL

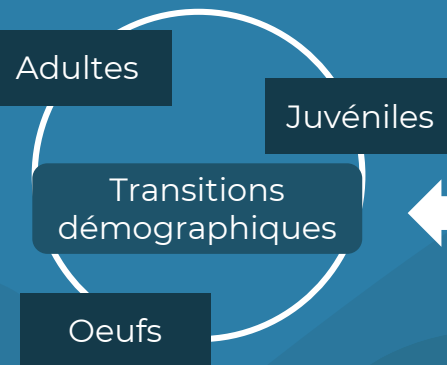
Changements globaux



Comprendre les mécanismes qui façonnent la réponse des populations à de multiples facteurs de pression

Niveau populationnel

Niveau individuel



Ecosystèmes aquatiques

Dynamique des populations

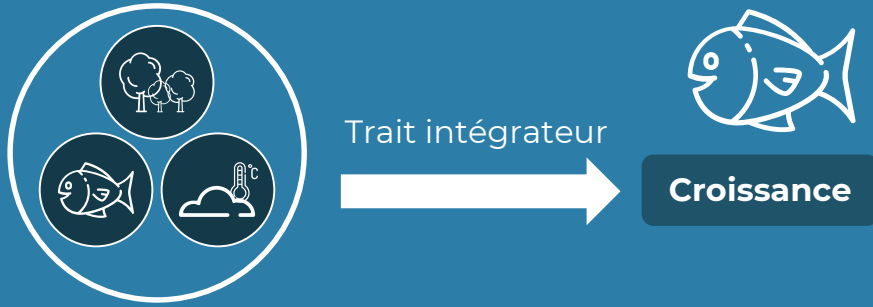
- Abondance
- Structure démographique

Gestion

# HYPOTHÈSE

## Le rôle clé de la croissance

Niveau individuel



# HYPOTHÈSE

## Le rôle clé de la croissance

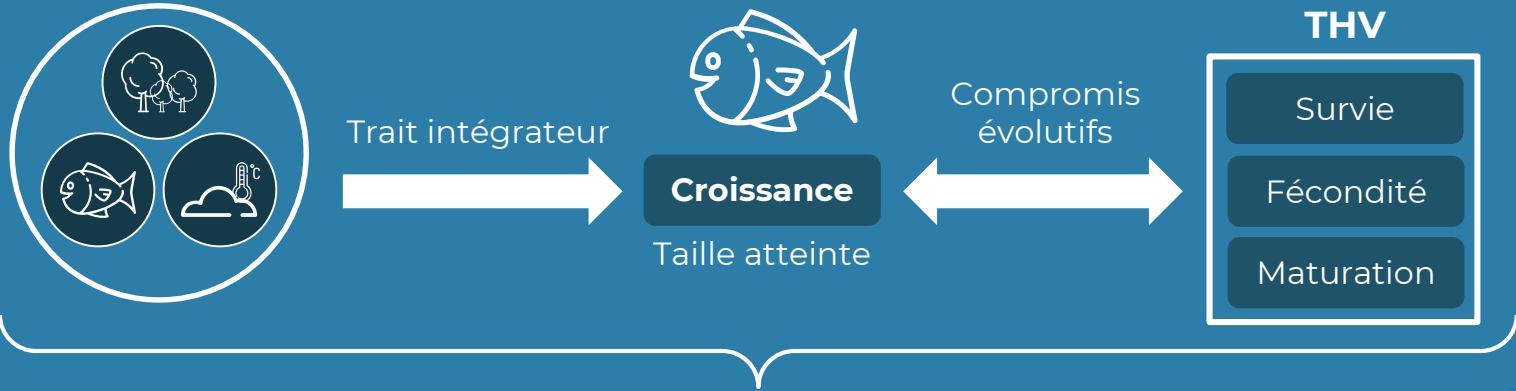
### Niveau individuel



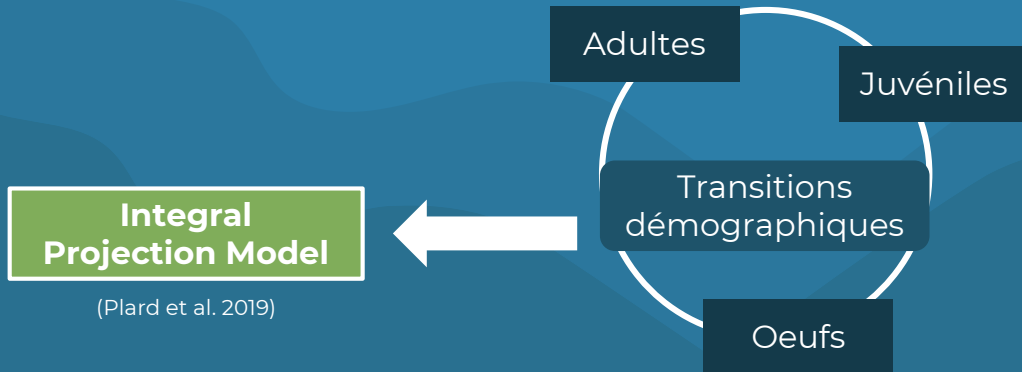
# HYPOTHÈSE

## Le rôle clé de la croissance

### Niveau individuel



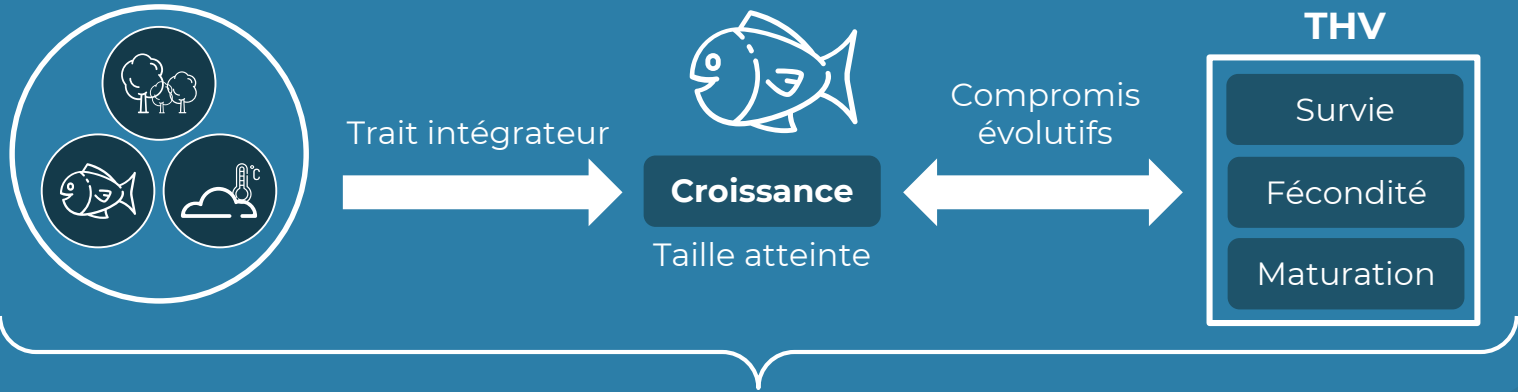
### Niveau populationnel



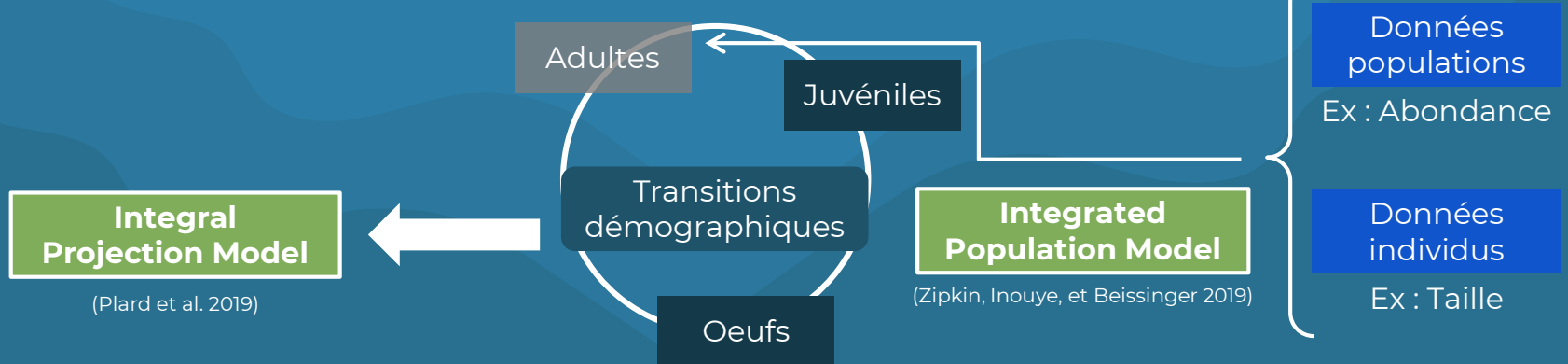
# HYPOTHÈSE

## Le rôle clé de la croissance

### Niveau individuel



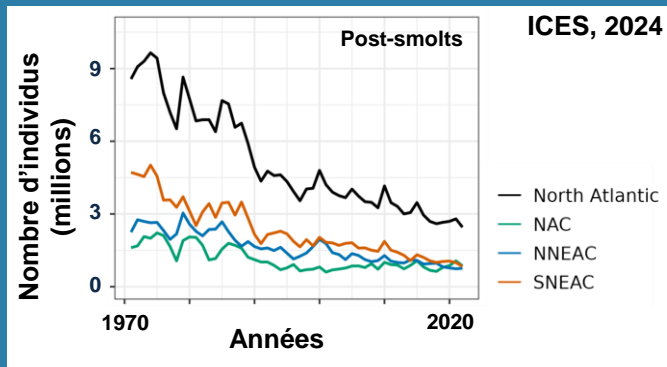
### Niveau populationnel



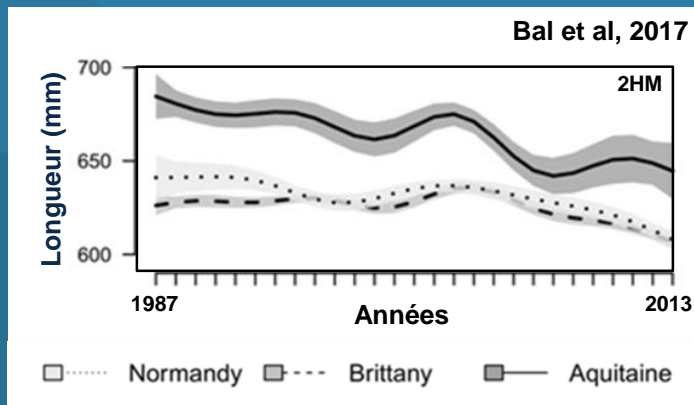
# LE SAUMON ATLANTIQUE

## Populations fragilisées

Baisse de l'abondance



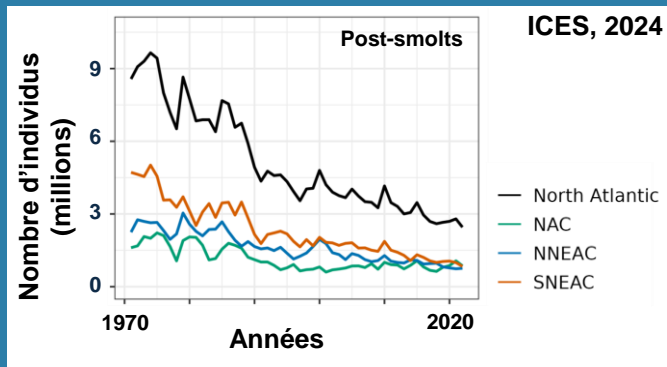
## Modification des THV



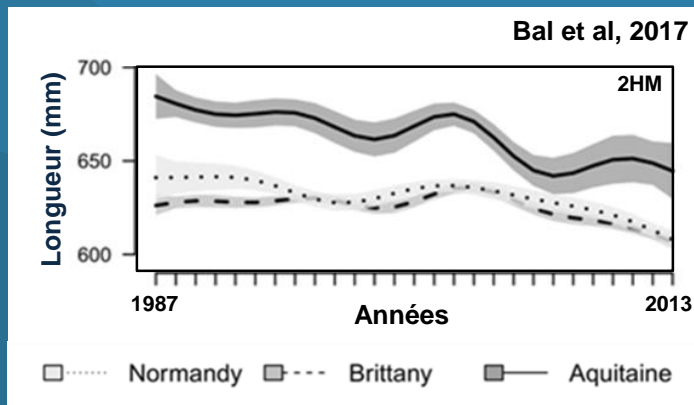
# LE SAUMON ATLANTIQUE

## Populations fragilisées

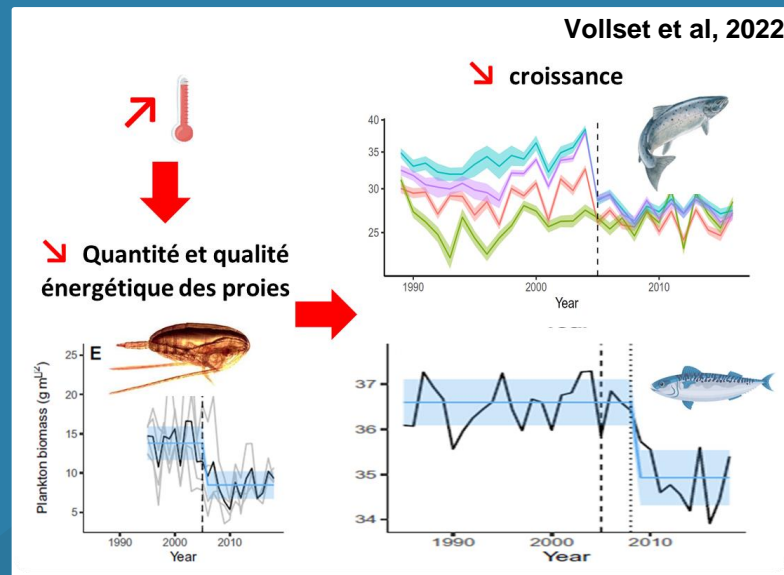
Baisse de l'abondance



Modification des THV



## Révéléateur de l'impact des changements globaux sur les écosystèmes



# OBJECTIFS

①

**Comment les variations de croissance des individus se propagent au cours du cycle de vie**

②

**Comment ces variations impactent la structure et la dynamique des populations**

**Développer un modèle de population structuré en taille**

=> Démarche de complexification progressive de la modélisation

# ETAPES DU PROJET

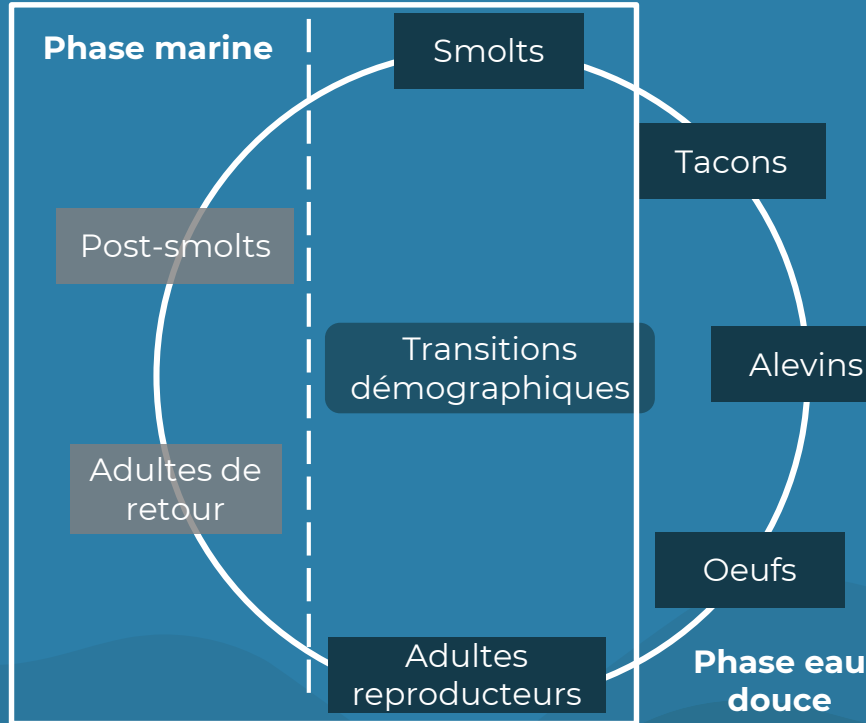
1



Développer un modèle de population structuré en taille sur la phase marine



Renseigner sur le rôle de la croissance dans la survie et la maturation



2



Etendre la modélisation à la phase eau douce



- Lier les histoires de vie eau douce/marin
- Intégrer les répercussions des variations de croissance sur tout le cycle de vie

3



Simuler l'influence de variations de croissance sur la dynamique des populations



- Résilience faces aux variations de croissance
- Conséquences pour la gestion

# ETAPES DU PROJET

1



Développer un modèle de population structuré en taille sur la phase marine



Renseigner sur le rôle de la croissance dans la survie et la maturation

3



Simuler l'influence de variations de croissance sur la dynamique des populations



- Résilience faces aux variations de croissance
- Conséquences pour la gestion

2



Etendre la modélisation à la phase eau douce



- Lier les histoires de vie eau douce/marin
- Intégrer les répercussions des variations de croissance sur tout le cycle de vie

Phase marine

Smolts

Post-smolts

Transitions démographiques

Adultes de retour

Adultes reproducteurs

Tacons

Alevins

Oeufs

Phase eau douce

# ETAPES DU PROJET

1



Développer un modèle de population structuré en taille sur la phase marine



Renseigner sur le rôle de la croissance dans la survie et la maturation

3



Simuler l'influence de variations de croissance sur la dynamique des populations



- Résilience faces aux variations de croissance
- Conséquences pour la gestion

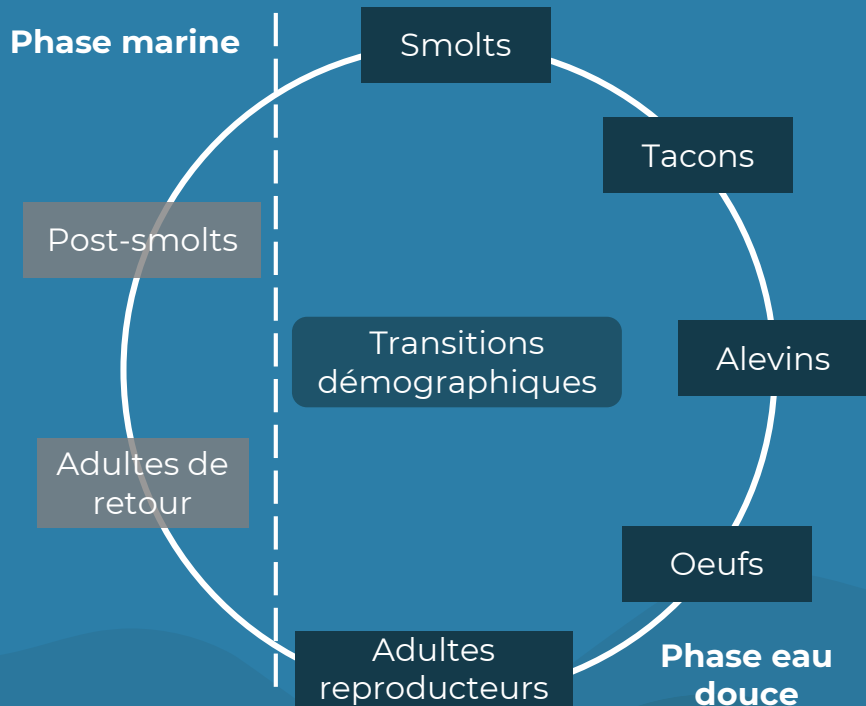
2



Etendre la modélisation à la phase eau douce

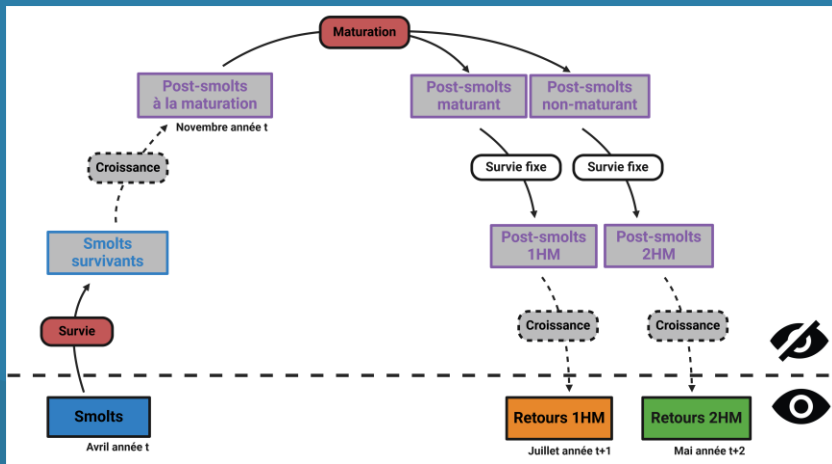


- Lier les histoires de vie eau douce/marin
- Intégrer les répercussions des variations de croissance sur tout le cycle de vie



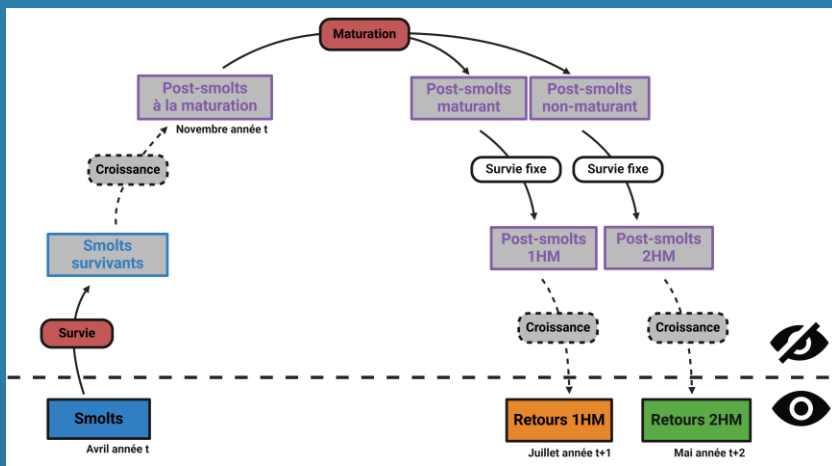
# MATERIEL ET METHODES

## Modèle de population structuré en stade, en taille et en sexes



# MATERIEL ET METHODES

## Modèle de population structuré en stade, en taille et en sexes

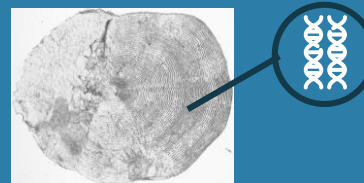


## Données

### 1) Abondances

Estimations de l'abondance par modèles CMR (Buoro et al, 2019)

### 2) Structure en sexes

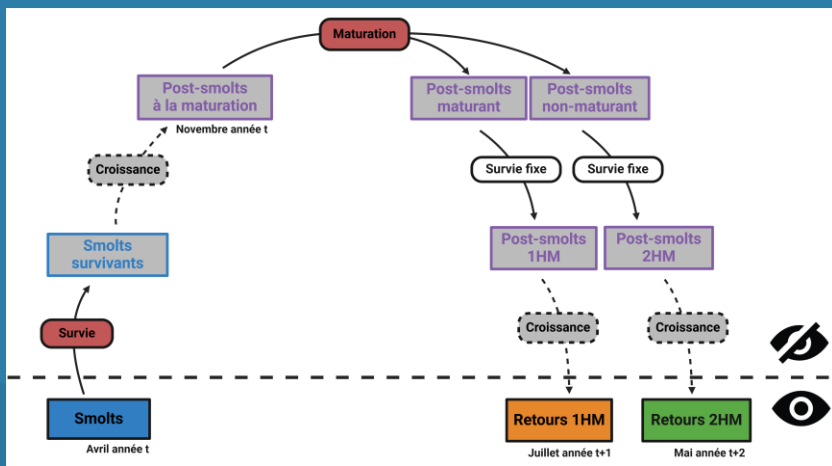


## Suivis de populations à long terme



# MATERIEL ET METHODES

## Modèle de population structuré en stade, en taille et en sexes

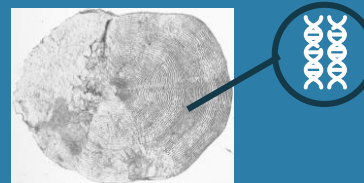


## Données

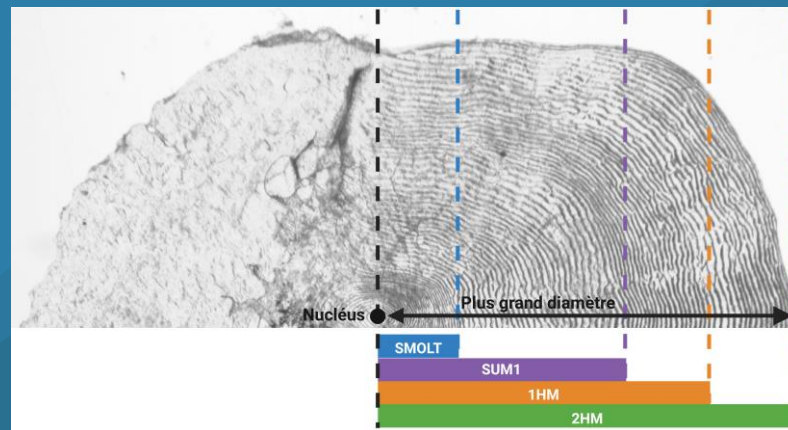
### 1) Abondances

Estimations de l'abondance par modèles CMR (Buoro et al, 2019)

### 2) Structure en sexes



### 3) Structure en tailles

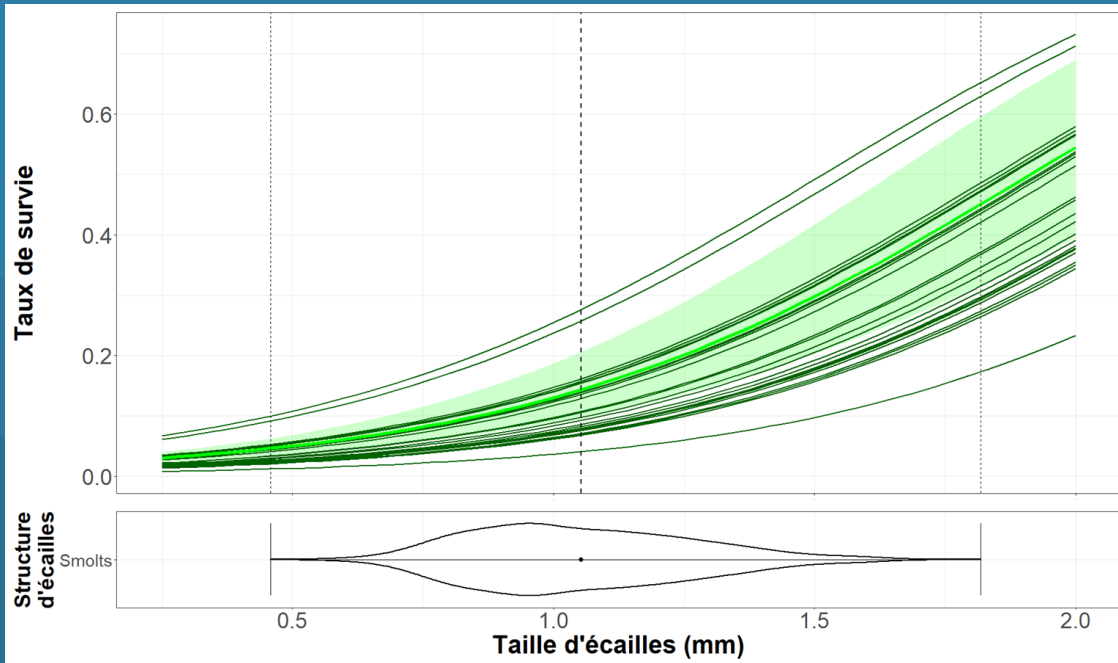


## Suivis de populations à long terme



# RÉSULTATS

La survie dépend de la taille (des écailles) des smolts  
à la migration mais pas du sexe



## Effet de la taille sur la survie

(Gregory et al. 2019)

- Entre 3% et 45%
- => Hypothèse « bigger is better »

## Pas d'effet du sexe sur la survie

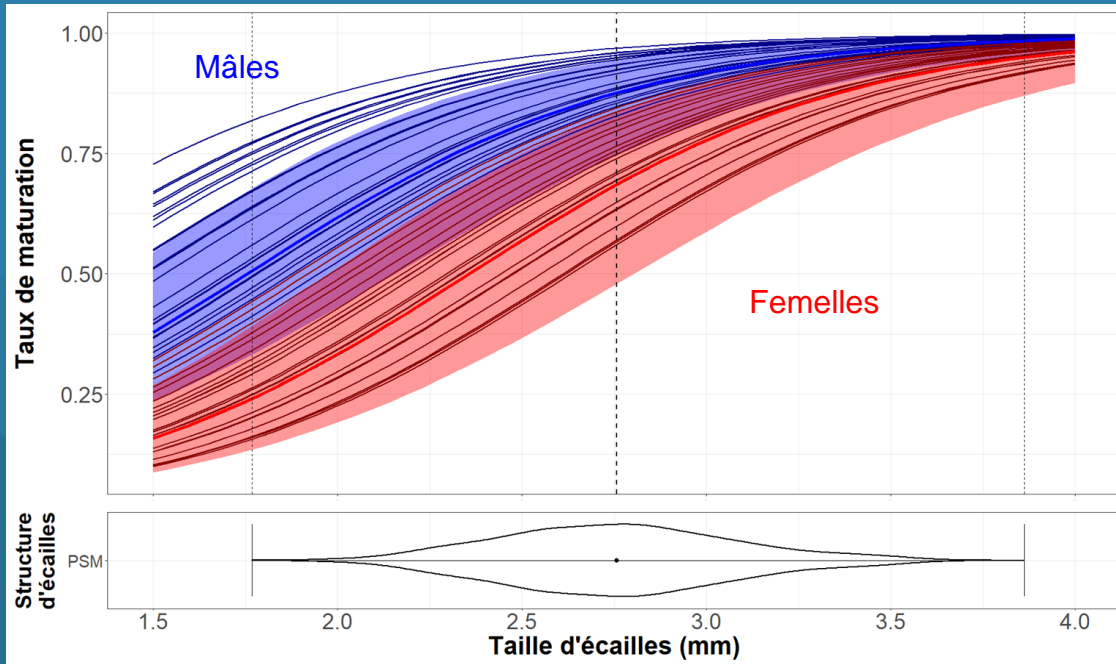
(Tréhin 2022)

## Forte variabilité interannuelle

(Olmos et al. 2020)

# RÉSULTATS

La maturation en THM dépend de la taille (des écailles) des post-smolts à la maturation ainsi que du sexe



## Effet de la taille sur la maturation

(Hutchings et Jones 1998)

- Mâles : entre 50% et 99%
- Femelles : entre 25% et 95%

=> **Compromis survie / fécondité**

## Effet du sexe sur la maturation

(Mobley et al. 2021)

- Mâles : 87% (à taille moyenne)
- Femelles : 70% (à taille moyenne)

=> **Energie à la reproduction plus importante pour les femelles**

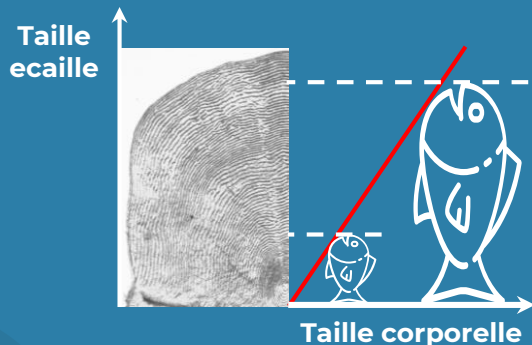
## Forte variabilité interannuelle

(Olmos et al. 2020)

# LIMITES & PERSPECTIVES

## Limites

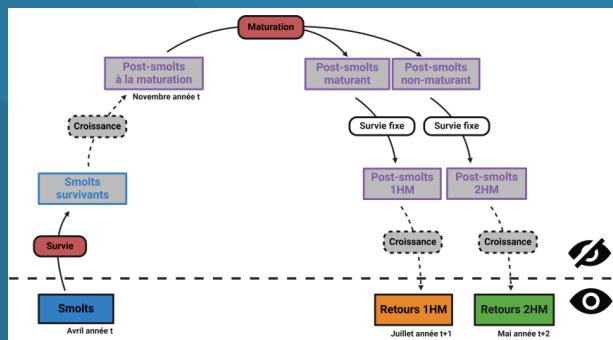
- Taille d'écaille et non taille corporelle



## Perspectives

Modèle de rétro-calcul  
de la taille corporelle

- N'intègre pas directement la croissance



## Kernel de croissance

=> Fonction qui décrit comment les individus passent d'une classe de taille à une autre

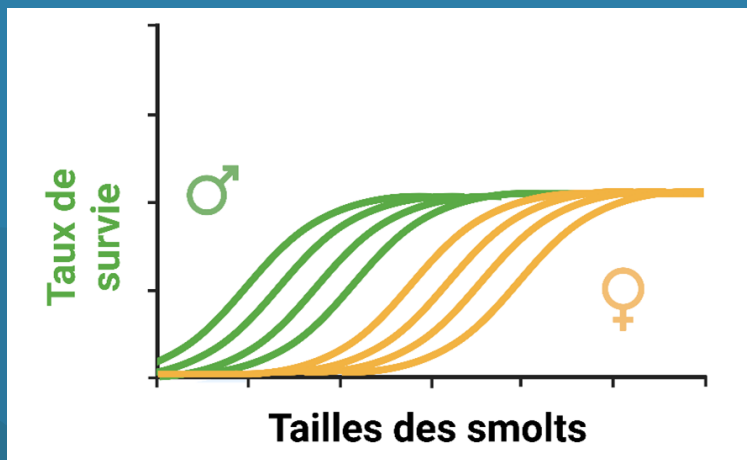
# MERCI DE M'AVOIR ÉCOUTÉ !

Eliot Boulaire, UMR DECOD, Institut Agro, Rennes  
[eliot.boulaire@institut-agro.fr](mailto:eliot.boulaire@institut-agro.fr)

Co-direction : *Etienne RIVOT, UMR DECOD, Institut Agro, Rennes*  
*Marie NEVOUX, UMR DECOD, INRAE, Rennes*

# TRANSITIONS DÉMOGRAPHIQUES

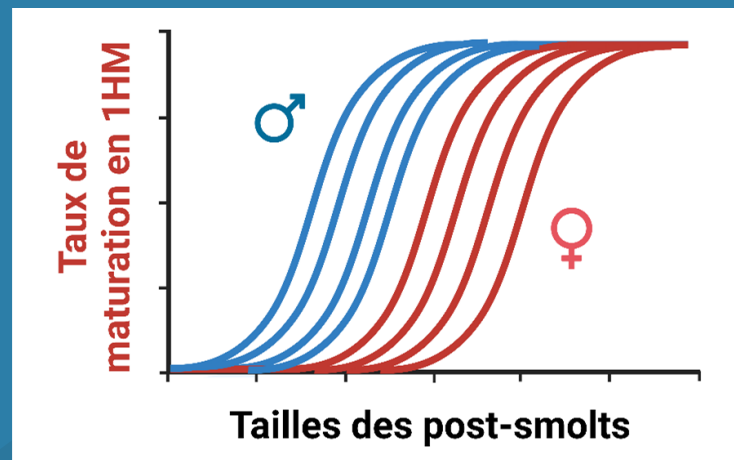
## Survie taille dépendante & sexe spécifique



$$\text{logit}(\text{Surv}_{t,l,s}) = \alpha'_{t,s} + \beta * l$$

$$\text{Avec } \alpha'_{t,s} \sim N(\mu_{\alpha'_s}, \sigma_{\alpha'})$$

## Maturation taille dépendante & sexe spécifique



$$\text{logit}(\text{Mat}_{t,l,s}) = \gamma'_{t,s} + \Psi * l$$

$$\text{Avec } \gamma'_{t,s} \sim N(\mu_{\gamma'_s}, \sigma_{\gamma'})$$

# IMPORTANCE DE LA TAILLE ET DU SEXE

## 1. Tailles

Modèles	Survie	Maturation	$\Delta W-AIC$
1	✓	✓	0
2		✓	60
3	✓		310
4			500

## 2. Sexes

Modèles	Survie	Maturation	$\Delta W-AIC$
5	✓	✓	-
6		✓	-4
7	✓		150
8			180

Modèle sélectionné (M6) : transition de **survie taille sélective** et transition de **maturation taille sélective & sexe spécifique**

# DISTRIBUTIONS A PRIORI

Détail des paramètres	Nom	Variable en fonction	Echelle	Distribution à priori
Abondance total de smolt	Nb_smolt	Années (t)	Naturelle	$\sim U(0, 50000)$
Moyenne de la structure en taille d'écaille des smolts	$\mu_{smolt}$	Années (t)	Naturelle	$\sim U(0, 10)$
Ecart-type de la structure en taille d'écaille des smolts	$\sigma_{smolt}$	Années (t)	Naturelle	$\sim U(0, 10)$
Moyenne de la proportion de femelle dans les smolts	$\mu_{pF\_smolt}$	/	Logit	$\sim N(0, 0, 1)$
Ecart-type de la proportion de femelle dans les smolts	$\sigma_{pF\_smolt}$	/	Logit	$\sim U(0, 5)$
Moyenne du décalage de la pente de la probabilité de survie	$\mu_{\alpha'}$ (alpha)	Années (t) Sexes (s)	Logit	$\sim N(0, 10)$
Ecart-type du décalage de la pente de la probabilité de survie	$\sigma_{\alpha'}$ (alpha)	/	Logit	$\sim U(0, 10)$
Pente de la relation entre la taille et la probabilité de survie	$\beta$ (beta)	/	Logit	$\sim N(0, 10)$
Moyenne de la structure en taille d'écaille des post-smolts	$\mu_{psmolt}$	Années (t)	Naturelle	$\sim U(0, 10)$
Ecart-type de la structure en taille d'écaille des post-smolts	$\sigma_{psmolt}$	Années (t)	Naturelle	$\sim U(0, 10)$
Moyenne du décalage de la pente de la probabilité de maturation	$\mu_{\gamma'}$ (gamma)	Années (t) Sexes (s)	Logit	$\sim N(0, 10)$
Ecart-type du décalage de la pente de la probabilité de maturation	$\sigma_{\gamma'}$ (gamma)	/	Logit	$\sim U(0, 10)$
Pente de la relation entre la taille et la probabilité de maturation	$\psi$ (psi)	/	Logit	$\sim N(0, 10)$

# EQUATIONS D'OBSERVATIONS

## Abondance

$$\text{Espérance}_t \sim \text{Lognormal}(\log(Nb_t), \sigma_{Nb_t})$$

$$\text{Avec : } \sigma_{Nb_t} = \sqrt{\log\left(1 + \left(\frac{\text{Variance}_t^2}{\text{Espérance}_t^2}\right)\right)}$$

## Structure en taille

$$\text{Ecailles}_{t,l} \sim \text{Norm}(\mu_{\text{Ecailles}_t}, \sigma_{\text{Ecailles}_t})$$

## Structure en sexe

$$n\text{Sex}_{t,s} \sim \text{Multi}(n\text{Tot}_t, (p\text{Sex}_{t,\text{femelles}}, p\text{Sex}_{t,\text{mâles}}))$$

# CRÉATION DE L'HISTOGRAMME DE TAILLE

Proportion d'individus  
/ classe de tailles

$$PropIndivs_{t,l} = \int_{borneinf}^{bornesup} \Phi_{Norm}(l, \mu_{EcaIndivs_t}, \sigma_{EcaIndivs_t}) dl$$

Taille médiane de chaque  
classes de tailles

$$MidIndivs_{t,l} = \lambda_{t,l} / \Omega_{t,l}$$

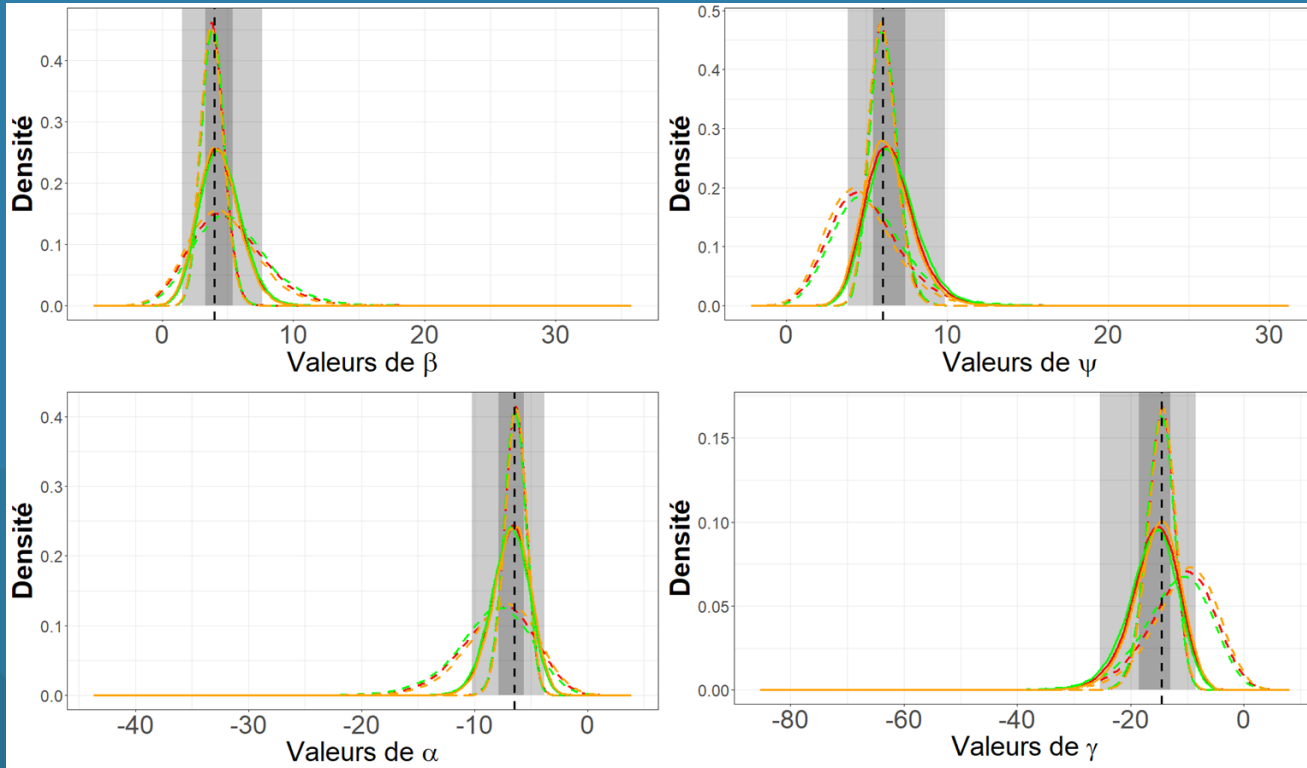
où  $\lambda_{t,l}$  est la moyenne pondérée des tailles dans la classe de taille l :

$$\lambda_{t,l} = \int_{borneinf}^{bornesup} l * Norm(l, \mu_{EcaIndivs_t}, \sigma_{EcaIndivs_t}) dl$$

où  $\Omega_{t,l}$  est un terme de normalisation :

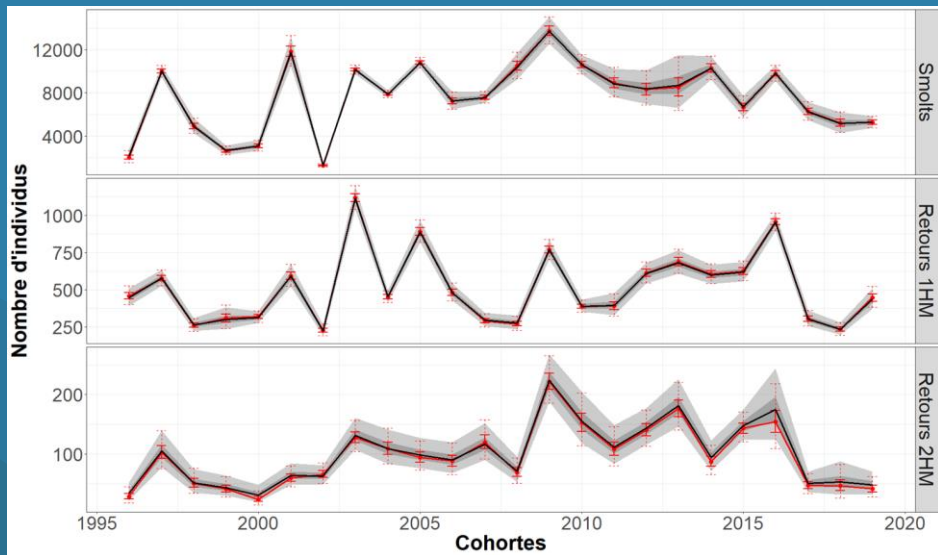
$$\Omega_{t,l} = \int_{borneinf}^{bornesup} Norm(l, \mu_{EcaIndivs_t}, \sigma_{EcaIndivs_t}) dl$$

# ANALYSE DES PERFORMANCE D'ESTIMATION DU MODÈLE SUR DONNÉES SIMULÉES

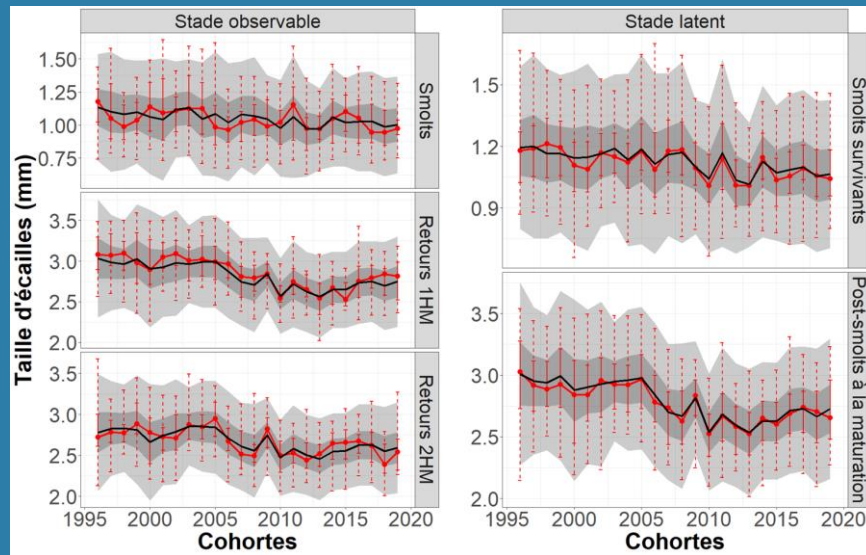


# AJUSTEMENT DU MODÈLE AU DIFFÉRENTES SOURCES DE DONNÉES

## Observation d'abondances



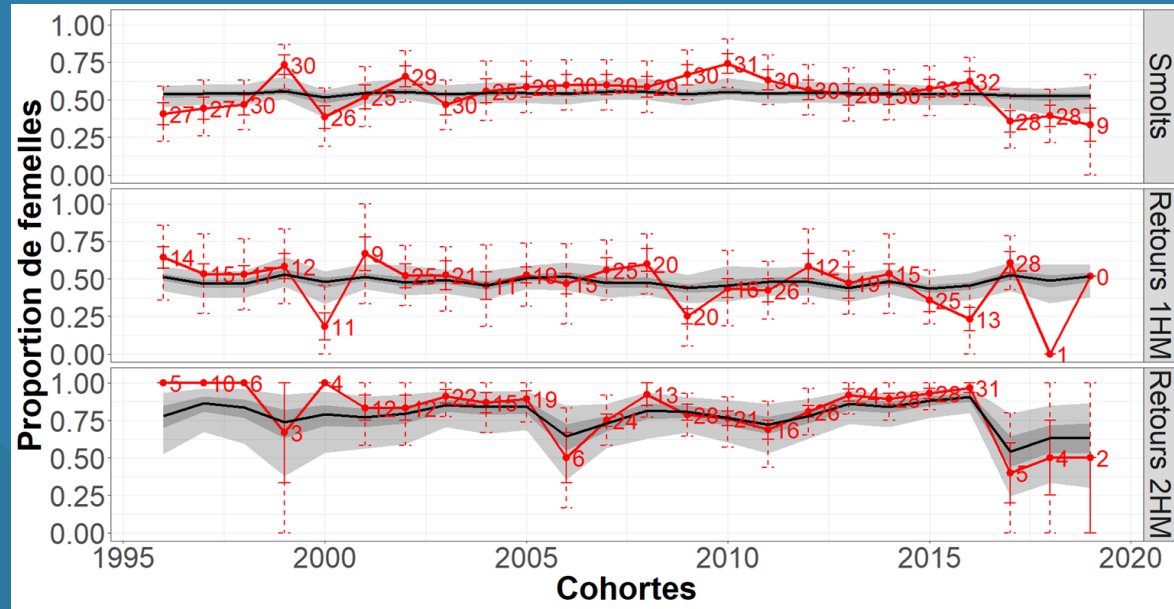
## Données de structure en taille



=> Le modèle s'ajuste bien aux différentes sources de données (abondance, structure de taille et rapport des sexes)

# AJUSTEMENT DU MODÈLE AU DIFFÉRENTES SOURCES DE DONNÉES

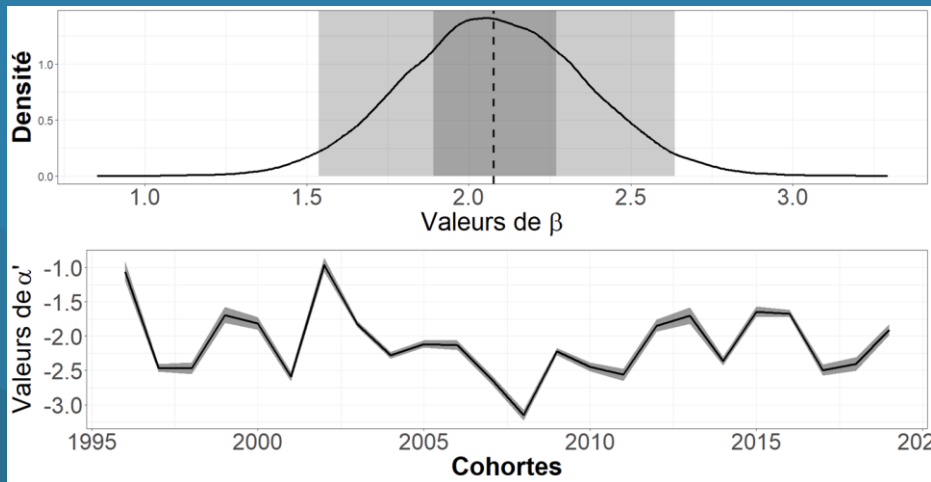
## Rapport des sexes



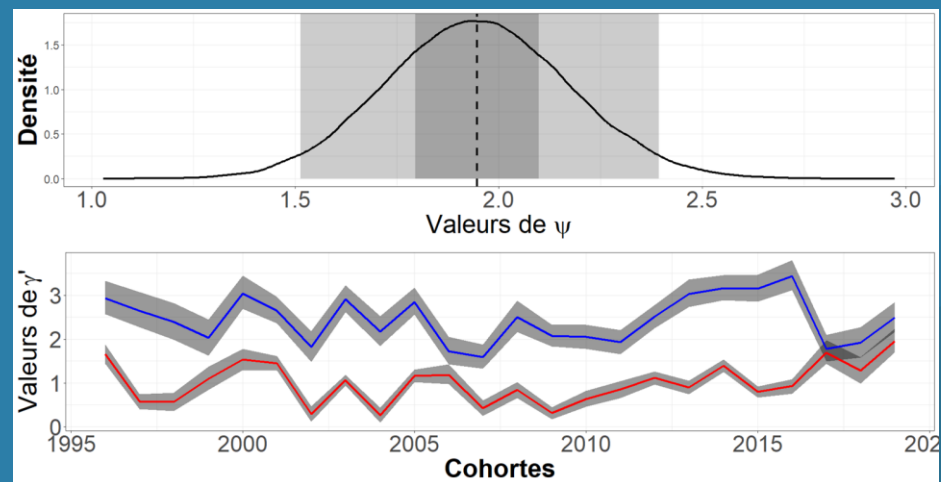
=> Le modèle s'ajuste bien aux différentes sources de données (abondance, structure de taille et rapport des sexes)

# ESTIMATIONS DES PARAMÈTRES DES TRANSITIONS DÉMOGRAPHIQUES

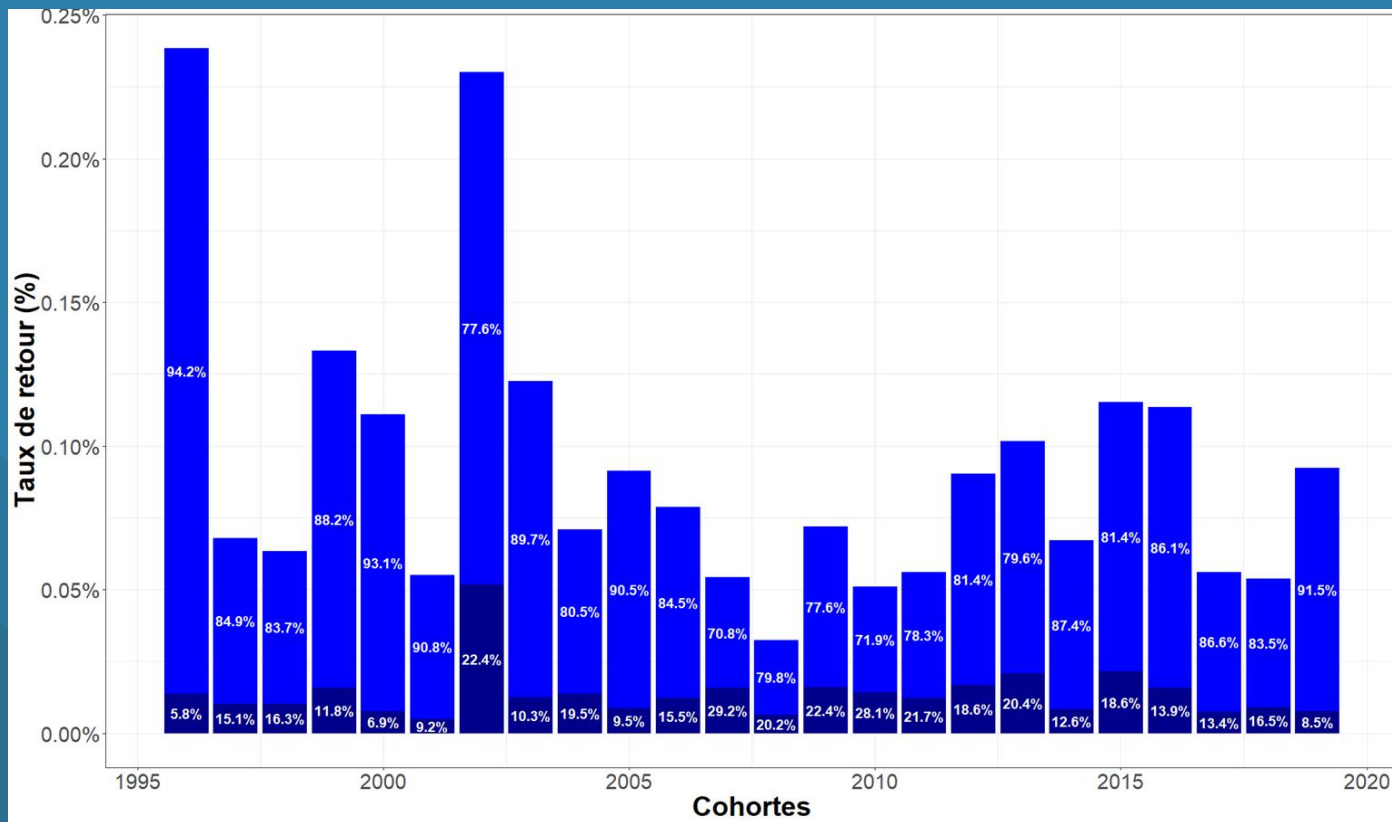
## Survie



## Maturation



# TAUX DE RETOUR DES SMOLTS APRÈS LA PHASE MARINE ET COMPOSITION EN ÂGE ESTIMÉE



# POSTERIOR PREDICTIVE CHECK

