

Exploration bayésienne de modèles de surplus production pour la gestion des prises accidentelles de cétacés, en utilisant des données d'échouage et d'abondance

Fanny Ouzoulias

13 juin 2023

Sous la tutelle de Matthieu Authier¹ et

Nicolas Bousquet²

¹Observatoire Pelagis, UAR 3462 CNRS - La Rochelle

²Laboratoire Probabilités, Statistiques et Modélisation,

UMR 8001 CNRS, Université Paris Cité & Sorbonne Université

Définition ?

Capture accidentelle :

Hall 1996

« Partie de la capture d'une pêche qui est rejetée en mer morte (ou blessée à un point tel que la mort est l'issue la plus probable), parce qu'elle a une valeur économique faible ou nulle ou parce que sa rétention est interdite par la loi. »

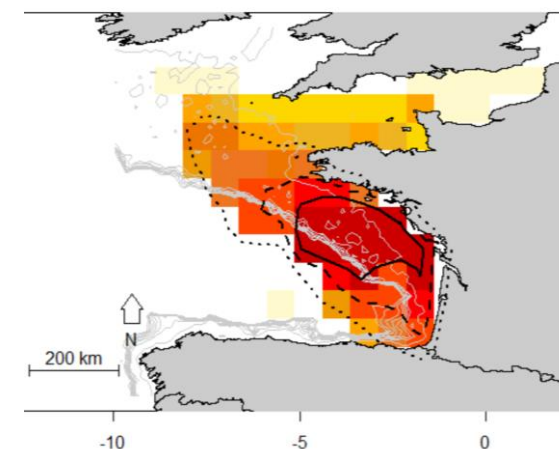
Définition ?

Capture accidentelle :

Hall 1996

« Partie de la capture d'une pêche qui est rejetée en mer morte (ou blessée à un point tel que la mort est l'issue la plus probable), parce qu'elle a une valeur économique faible ou nulle ou parce que sa rétention est interdite par la loi. »

Dauphin commun *delphinus delphis*



Contexte et chronologie

Juillet 2020 : **mise en demeure** de la France car pas de mesures suffisantes pour réduire les captures

2021 : 3 ONG portent **plainte** contre l'état

15 Juillet 2022 : délai de 2 mois (prolongé) pour répondre à la question des prises accidentelles

Mars 2023 : le **Conseil d'Etat** « ordonne au Gouvernement de prendre des mesures de fermeture de la pêche appropriées sous six mois, en complément des dispositifs de dissuasion acoustique.»



Des membres de l'ONG Sea Shepherd tiennent une banderole derrière des dauphins morts récupérés en mer lors d'une manifestation pour dénoncer la pêche non sélective devant le Parlement européen, à Strasbourg, dans l'est de la France, le 14 mars 2023.

FREDERICK FLORIN / AFP



Contexte et chronologie

Juillet 2020 : **mise en demeure** de la France car pas de mesures suffisantes pour réduire les captures

2021 : 3 ONG portent **plainte** contre l'état

15 Juillet 2022 : délai de 2 mois (prolongé) pour répondre à la question des prises accidentelles

Mars 2023 : le **Conseil d'Etat** « ordonne au Gouvernement de prendre des mesures de fermeture de la pêche appropriées sous six mois, en complément des dispositifs de dissuasion acoustique.»

Question politique, environnementale, économique



Des membres de l'ONG Sea Shepherd tiennent une banderole derrière des dauphins morts récupérés en mer lors d'une manifestation pour dénoncer la pêche non sélective devant le Parlement européen, à Strasbourg, dans l'est de la France, le 14 mars 2023.

Définition ?

Capture accidentelle :

Hall 1996

« Partie de la capture d'une pêche qui est rejetée en mer morte (ou blessée à un point tel que la mort est l'issue la plus probable), parce qu'elle a une valeur économique faible ou nulle ou parce que sa rétention est interdite par la loi. »



Une espèce protégée...

– Convention des nations unies sur le droit de la mer
United Nations Convention on the Law of the Sea



– Convention sur la diversité biologique
Convention on Biological Diversity



– Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction
CITES



– OSPAR
Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic



– Directive Habitats

Une espèce protégée...



- Convention des nations unies sur le droit de la mer
United Nations Convention on the Law of the Sea



- Convention sur la diversité biologique
Convention on Biological Diversity



- Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction
CITES



- OSPAR
Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic



- Directive Habitats



Accord sur la conservation des petits cétacés de la mer Baltique, du nord-est de l'Atlantique et des mers d'Irlande et du Nord (ASCOBANS)



Atteindre 80 % de la capacité biotique d'ici 100 ans avec une probabilité de 80 %

Une espèce protégée...



- Convention des nations unies sur le droit de la mer
United Nations Convention on the Law of the Sea



- Convention sur la diversité biologique
Convention on Biological Diversity



- Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction
CITES



- OSPAR
Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic



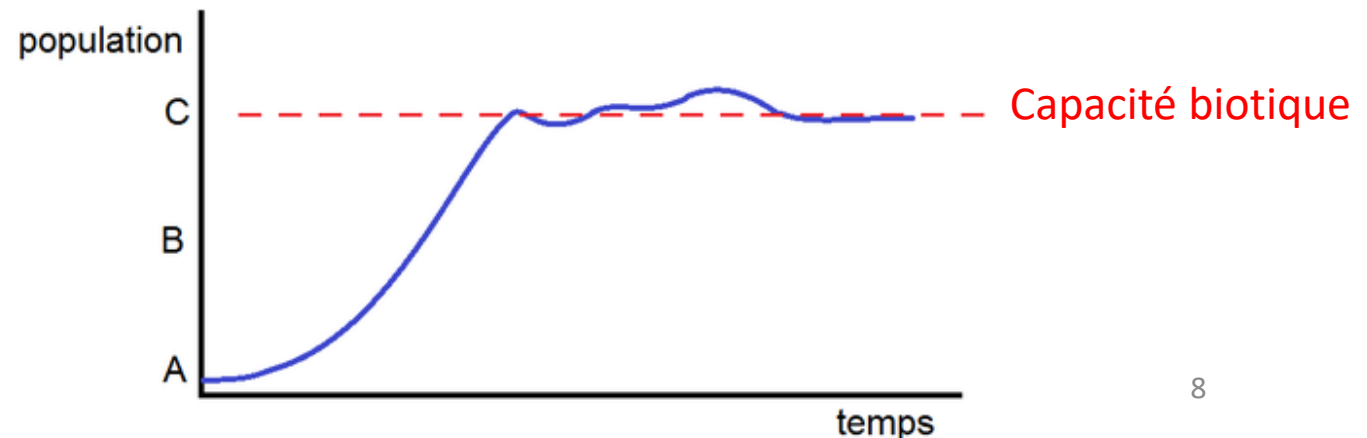
- Directive Habitats



Accord sur la conservation des petits cétacés de la mer Baltique, du nord-est de l'Atlantique et des mers d'Irlande et du Nord (ASCOBANS)



Atteindre 80 % de la capacité biotique d'ici 100 ans avec une probabilité de 80 %



Une espèce protégée...



- Convention des nations unies sur le droit de la mer
United Nations Convention on the Law of the Sea



- Convention sur la diversité biologique
Convention on Biological Diversity



- Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction
CITES



- OSPAR
Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic



- Directive Habitats

Received: 26 February 2021 | Accepted: 17 March 2021

DOI: 10.1111/faf.12556

GHOTI



WILEY

Empty promises: The European Union is failing to protect dolphins and porpoises from fisheries by-catch

Emer Rogan¹ | Andrew J Read² | Per Berggren³

¹School of Biological, Earth and Environmental Science, University College Cork, Cork, Ireland

²Duke University Marine Laboratory, Nicholas School of the Environment, Duke University, Beaufort, NC, USA

³School of Natural & Environmental Sciences, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, UK

Correspondence

Per Berggren, School of Natural & Environmental Sciences, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, UK.
Email: per.berggren@ncl.ac.uk

Abstract

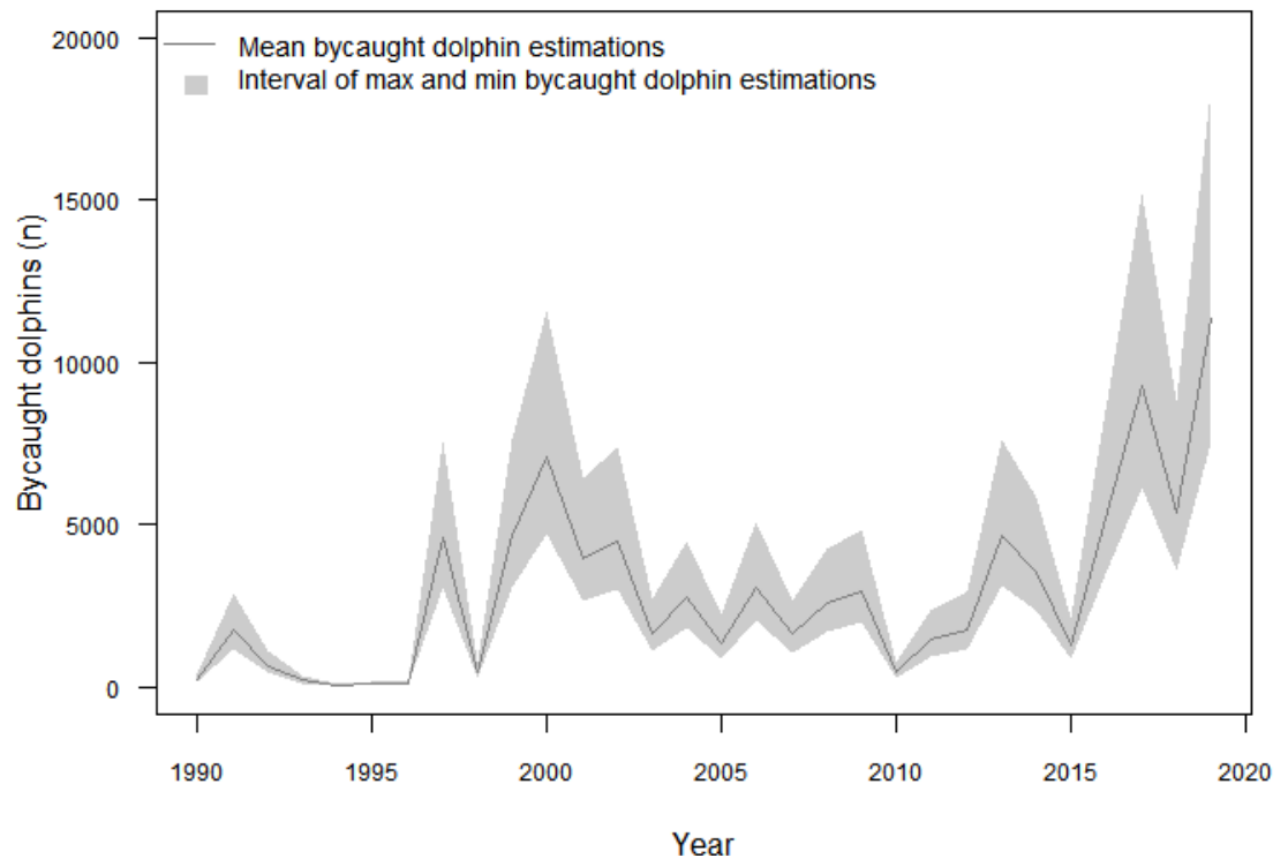
By-catch is the primary global conservation threat to populations of dolphins and porpoises. Despite protection for these protected species under its Habitats Directive, the European Union (EU) has failed to adequately assess and, where necessary, mitigate the by-catch of small cetaceans. Management authority is diffuse, and the EU has no over-arching, quantitative conservation objectives. To address this, we recommend that the EU adopt a comprehensive plan to conserve dolphins and porpoises in European waters. This plan should include regular formal assessments of small cetacean populations, including establishment of quantitative management objectives, generation of estimates of abundance and by-catch mortality, and agreement on biological reference points that will guide management actions to ensure that by-catch does not exceed sustainable levels.

KEYWORDS

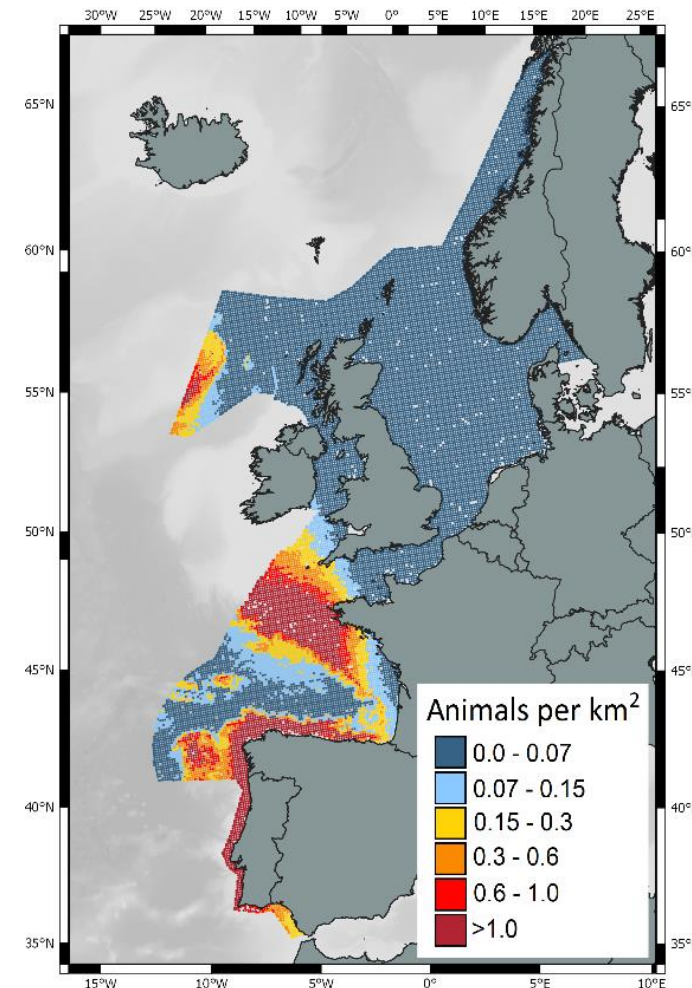
cetaceans, conservation, EU Habitats Directive, fisheries interactions, management framework, threat

Pourquoi les prises accidentelles existent ?

Augmentation des prises accidentelles depuis 1990

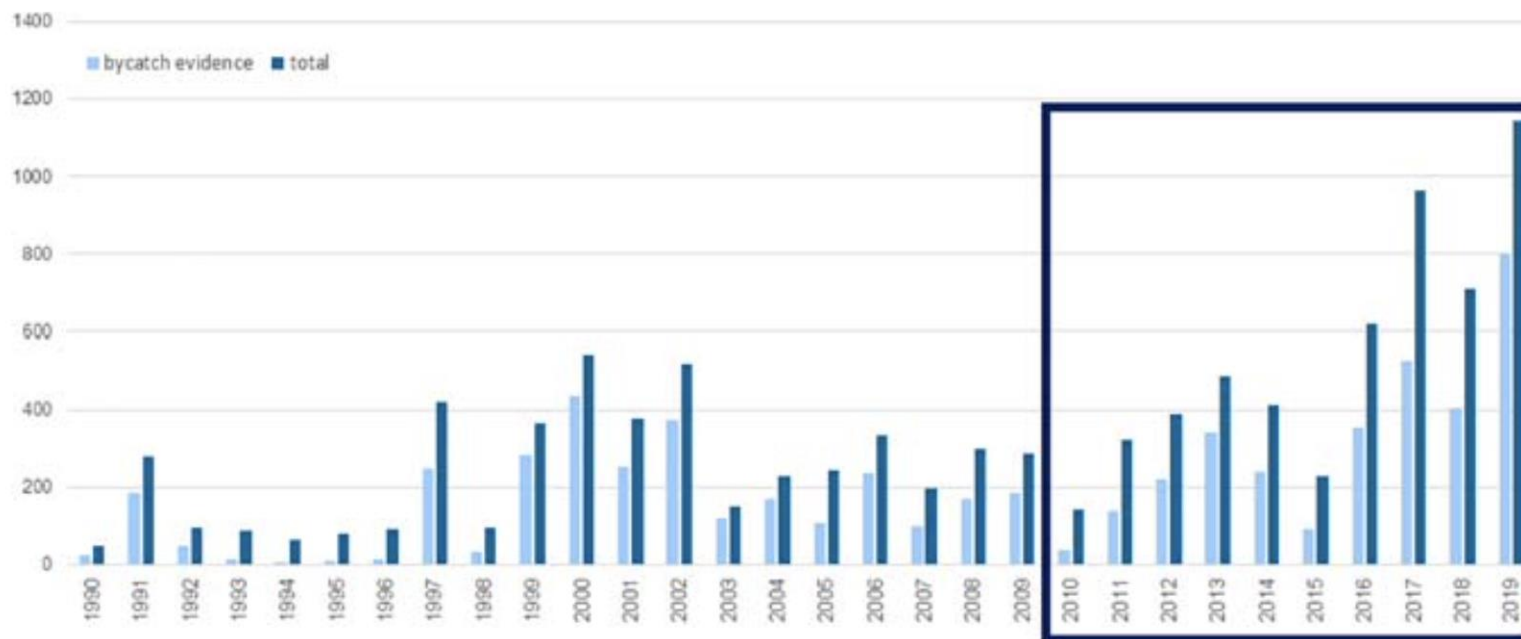


Série temporelle de l'estimation de mortalité absolue de dauphin commun par capture accidentelle entre janvier 1990 et avril 2019, Peltier (2019).

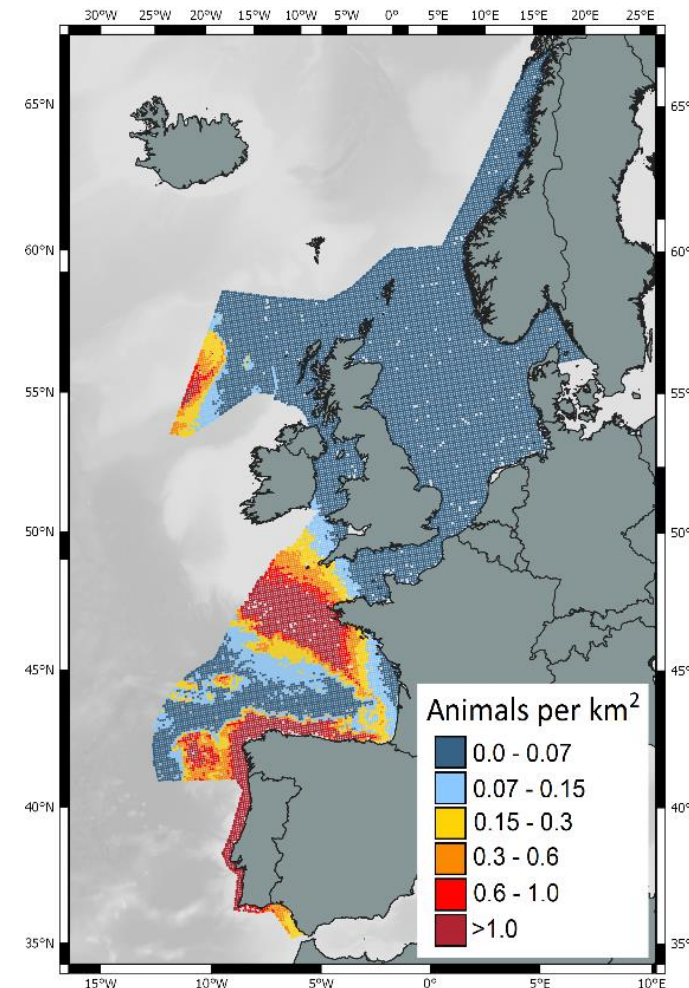


Estimations d'abondance de dauphin commun (campagnes SCANS III, été 2016).

Augmentation des prises accidentelles depuis 1990

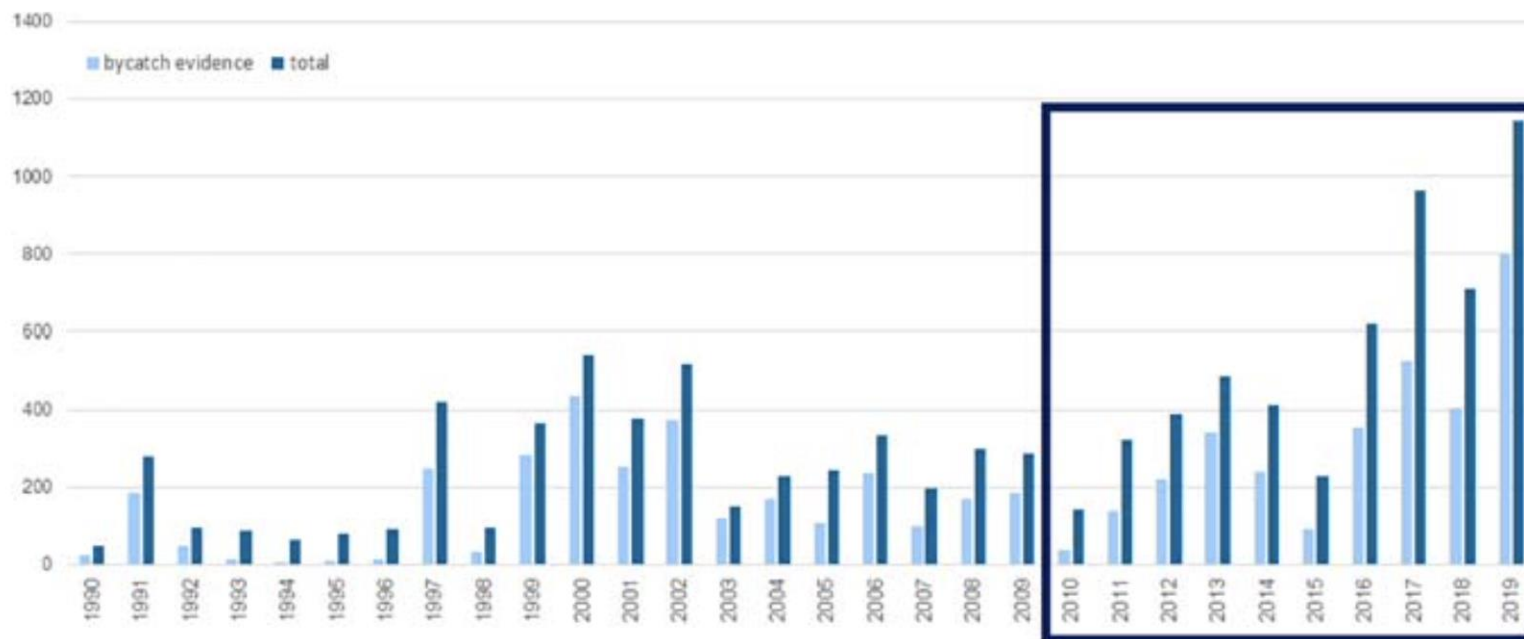


Échouages de dauphins communs sur les plages françaises atlantiques, Peltier (2021).

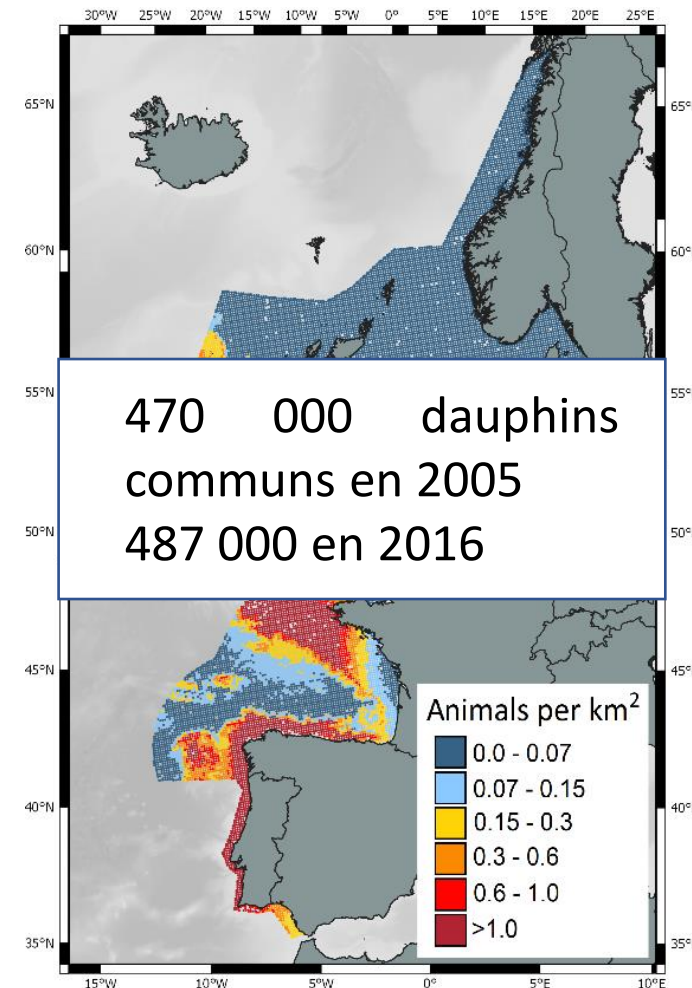


Estimations d'abondance de dauphin commun (campagnes SCANS III, été 2016).

Augmentation des prises accidentelles depuis 1990

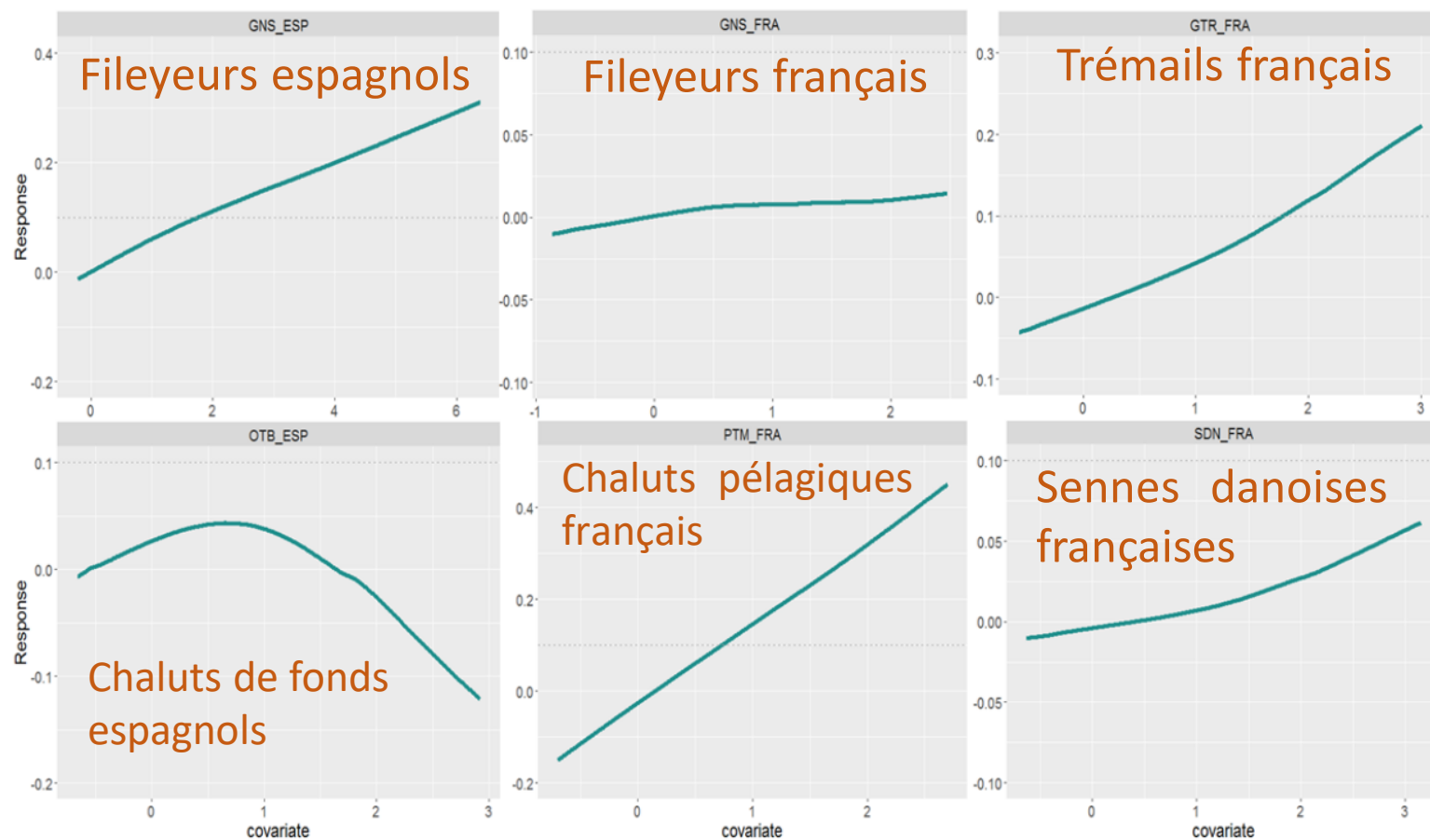


Échouages de dauphins communs sur les plages françaises atlantiques, Peltier (2021).

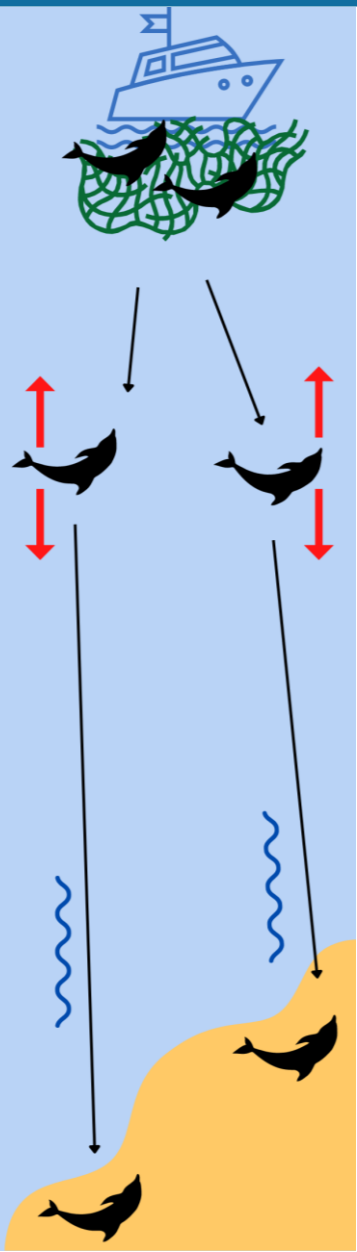


Estimations d'abondance de dauphin commun (campagnes SCANS III, été 2016).

A quoi sont dues les captures accidentelles ?



Relations fonctionnelles entre les zones de capture probables des dauphins communs et l'effort de pêche dans les zones ICES 27.8a et 27.8b, Peltier (2020).



Processus d'échouage :

Piège des dauphins dans les filets et asphyxie

25 % des carcasses flottent

Dérive

Echouage sur les plages :

75 % des échouages présentent des traces de capture par la pêche (Peltier 2021).

Dauphins vulnérables : espèce longévive



Des solutions ?

Projets LICADO et Dolphinfree

Mise en place de pingers



Répulsifs acoustiques, obligatoires sur les chaluts pélagiques de plus de 12 mètres.

Propositions de seuils de capture (removal limits)

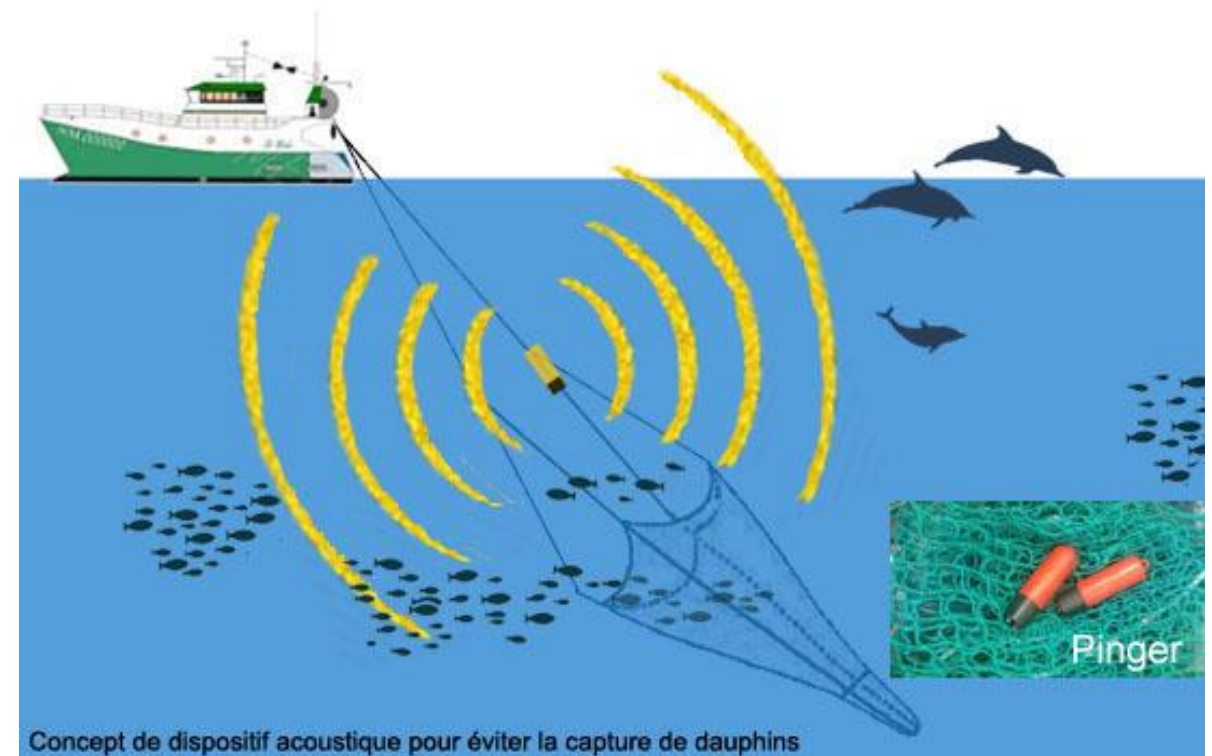
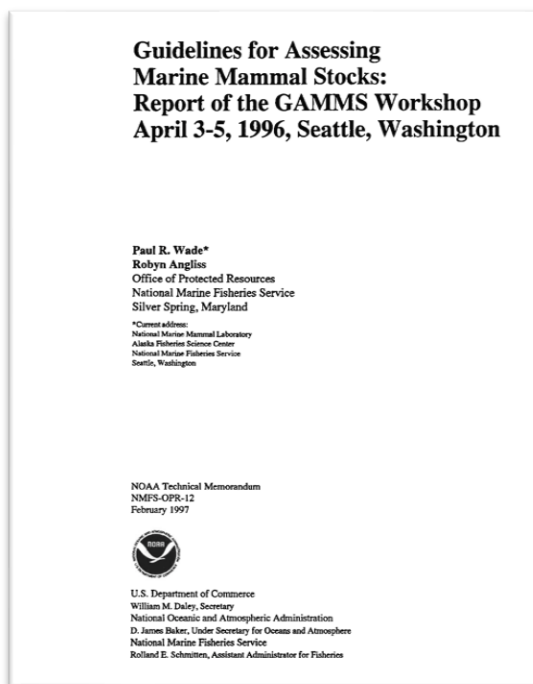


Schéma simplifié de pinger, @Pelagis.

Deux règles de gestion existantes :

PBR : Potential Biological Removal

Wade (1998)



– Repose sur des données imprécises ou manquantes

– Besoin d'une connaissance sur le taux d'accroissement

– La stochasticité n'est pas prise en compte

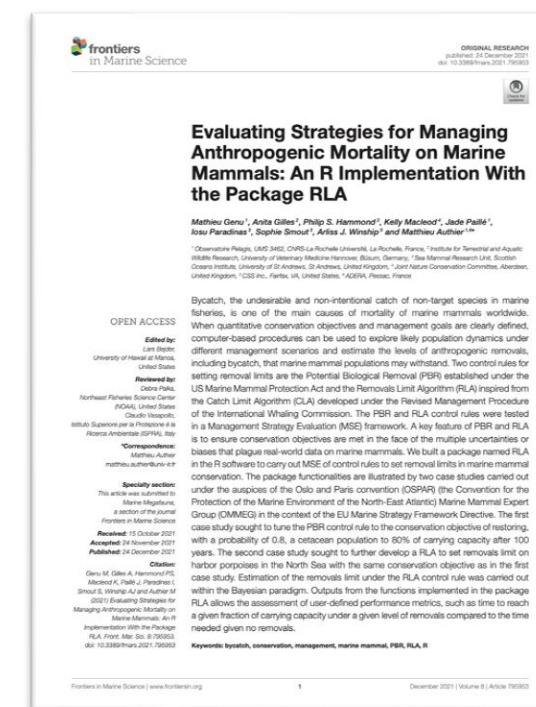
$$PBR = 0.5 \times R_{\max} \times N_{\min} \times F_r$$

= taux d'extraction

Explicitation du taux d'extraction en utilisant des données d'échouage

RLA : Removals Limits Algorithm

Genu (2021)



$$\text{removals limit} = r \times \max(0, D_T - IPL)$$

= taux d'extraction

But : explorer l'usage de modèles SPM pour les prises accidentelles de cétacés : explicitation du taux d'extraction

Données d'échouages et d'abondance



Modèle de surplus production (SPM) stochastique



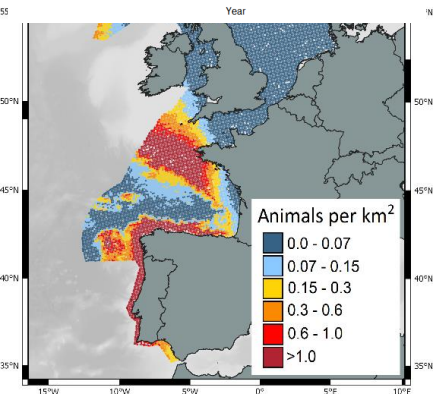
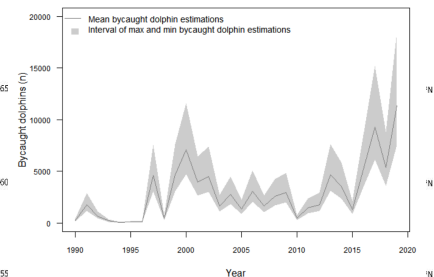
Estimation bayésienne



Explicitation du taux d'extraction

(Estimation de la capacité biotique, stochasticité, taux de croissance)

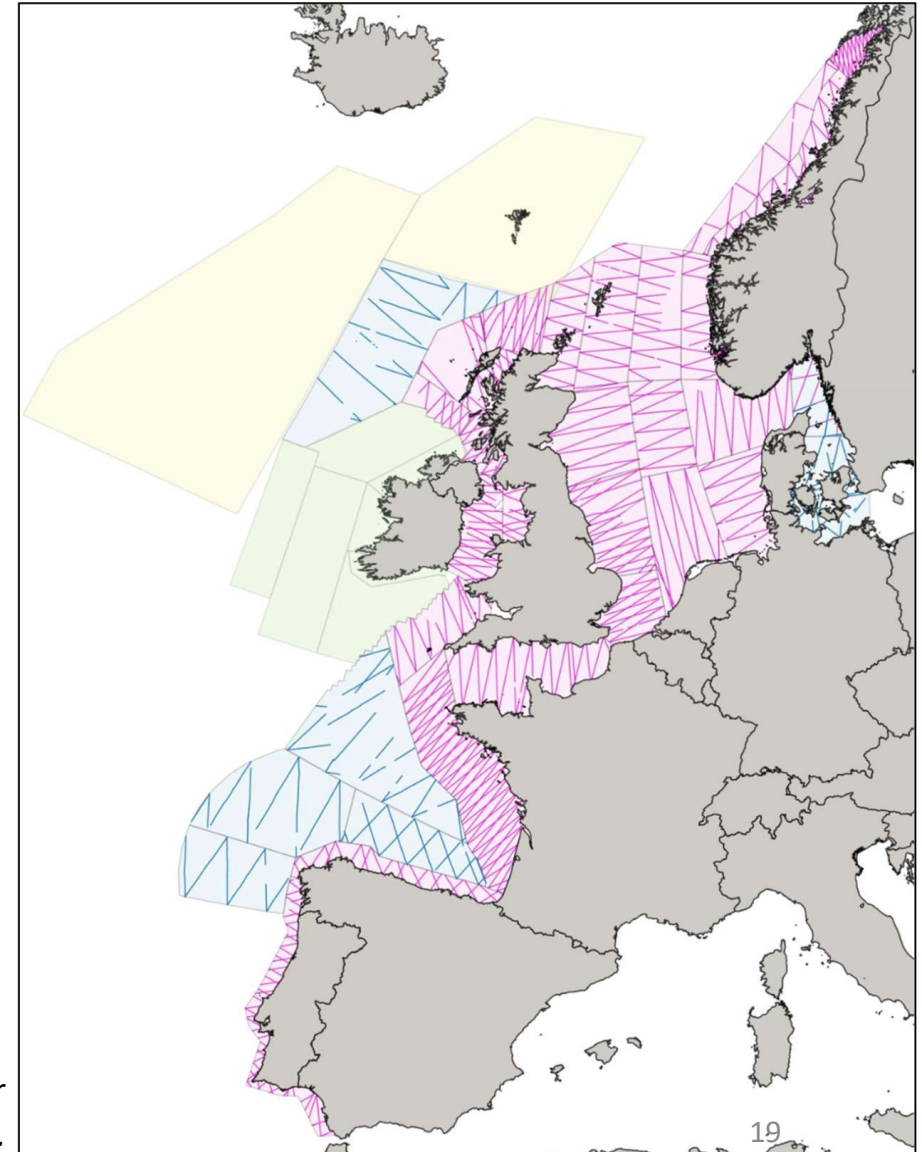
Utilité pour la gestion des prises accidentelles



Les données

Estimations d'abondance pour le dauphin commun

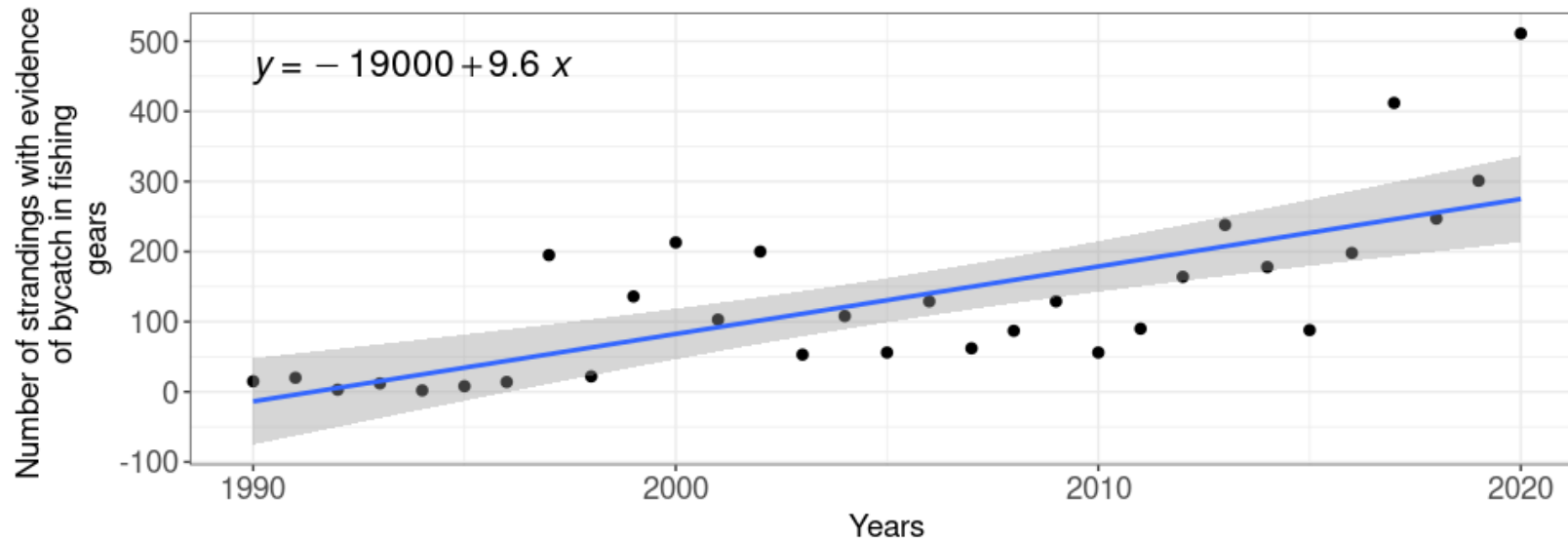
Campagne	Saison	Date	Estimation	Coefficient de variation
SCANS-II/CODA	Été	Juillet 2005 et juillet 2007	468 356	33,3 %
SCANS-III	Été	Juillet 2016	473 641	26,1 %



Effort d'échantillonnage de la campagne SCANS en été 2016, par avion (rose) et par bateau (bleu), Hammond (2021).

Les données

Série chronologique d'échouages



Régression linéaire des échouages enregistrés par Pelagis, données Pelagis.



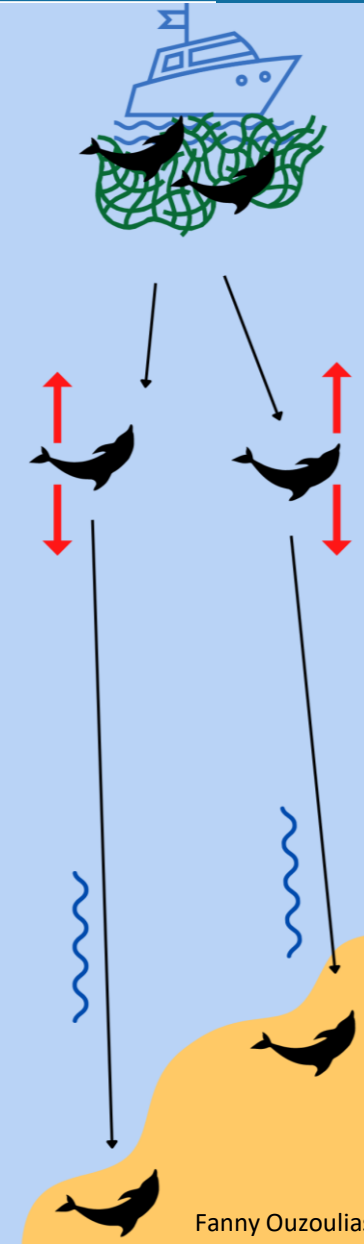
Correction par la dérive : on obtient des captures.

Probabilité d'être pêché

Carcasse flotte ou coule

Dérive

Échouage



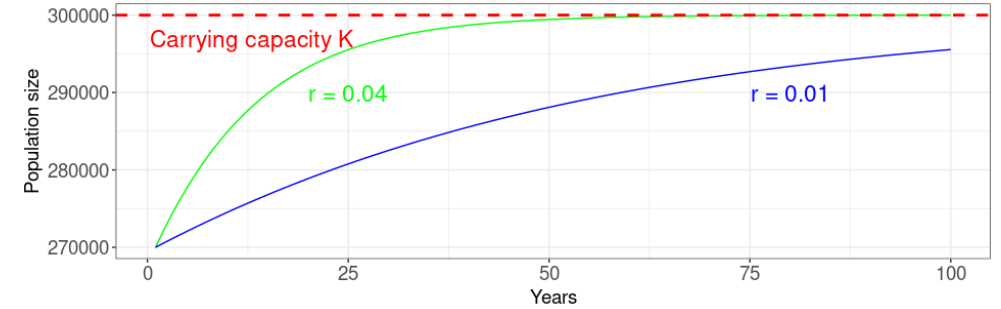
Les modèles SPM

Surplus Production Models

Biomasse suivante = Biomasse précédente + recrutement + croissance – capture – mortalité naturelle

Les modèles SPM

Surplus Production Models



Biomasse suivante = Biomasse précédente + recrutement + croissance – capture – mortalité naturelle

Modèle de Pella et Tomlinson (1969)

Taux de
croissance

$$\underbrace{B_{t+1}}_{\text{Abondance}} = B_t + \underbrace{r}_{\text{Taux de croissance}} \left(\frac{\gamma + 1}{\gamma} \right) B_t \left(1 - \left(\frac{B_t}{K} \right)^\gamma \right) - \underbrace{Ct}_{\text{Captures}}$$

Paramètre de forme
Capacité biotique

Les modèles SPM

Surplus Production Models

Biomasse suivante = Biomasse précédente + recrutement + croissance – capture – mortalité naturelle

Modèle de Pella et Tomlinson (1969)

$$\underbrace{B_{t+1}}_{\text{Abondance}} = B_t + \underbrace{r}_{\text{Taux de croissance}} \left(\frac{\gamma + 1}{\gamma} \right) B_t \left(1 - \left(\frac{B_t}{K} \right)^\gamma \right) - \underbrace{Ct}_{\text{Captures}}$$

Paramètre de forme
Capacité biotique

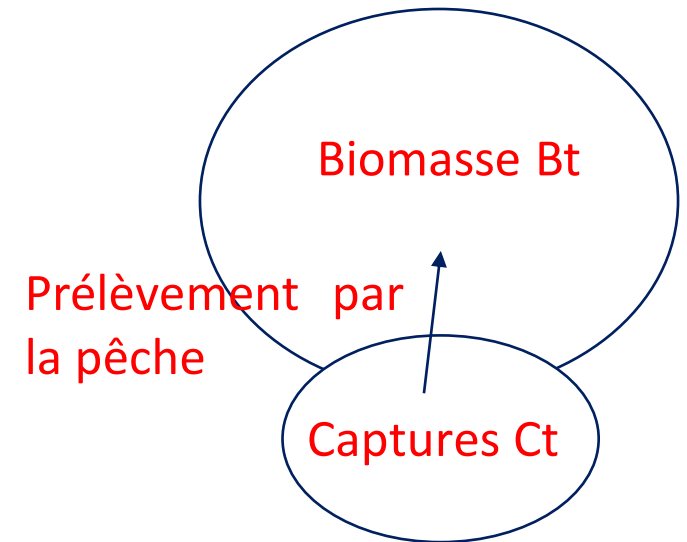
➔ Expression en fonction des captures ?

$$B_{t+1} = B_t + r \left(\frac{\gamma + 1}{\gamma} \right) B_t \left(1 - \left(\frac{B_t}{K} \right)^\gamma \right) - C_t$$

$$C_t = \phi B_t$$

Taux d'extraction
par la pêche

$$B_{t+1} = B_t + \left(\frac{\gamma + 1}{\gamma} \right) r B_t \left(1 - \left(\frac{B_t}{K} \right)^\gamma \right) - \phi B_t$$



$$C_t = \phi B_t$$

$$B_{t+1} = B_t + r \left(\frac{\gamma + 1}{\gamma} \right) B_t \left(1 - \left(\frac{B_t}{K} \right)^\gamma \right) - C_t$$

$$C_t = \phi B_t$$

Taux d'extraction
par la pêche

$$B_{t+1} = B_t + \left(\frac{\gamma + 1}{\gamma} \right) r B_t \left(1 - \left(\frac{B_t}{K} \right)^\gamma \right) - \phi B_t$$



Processus d'échouage

$$C_t^e = q \phi B_t$$

Probabilité
d'être pêché

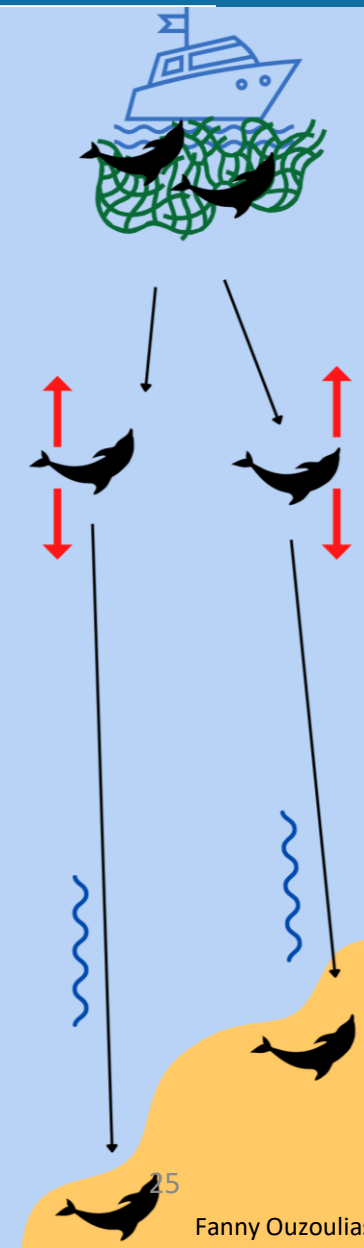
Carcasse
flotte ou
coule

$q \approx 25\%$

Peltier (2016)

Dérive

Échouage




$$B_{t+1} = B_t + r \left(\frac{\gamma + 1}{\gamma} \right) B_t \left(1 - \left(\frac{B_t}{K} \right)^\gamma \right) - C_t$$

$$C_t = \phi B_t$$

Taux d'extraction
par la pêche

$$B_{t+1} = B_t + \left(\frac{\gamma + 1}{\gamma} \right) r B_t \left(1 - \left(\frac{B_t}{K} \right)^\gamma \right) - \phi B_t$$

 Processus d'échouage

$$C_t^e = q \phi B_t$$

$$C_{t+1}^e = C_t^e + \frac{\gamma + 1}{\gamma} r C_t^e \left(1 - \left(\frac{C_t^e}{K q \phi} \right)^\gamma \right) - \phi C_t^e$$

Probabilité
d'être pêché

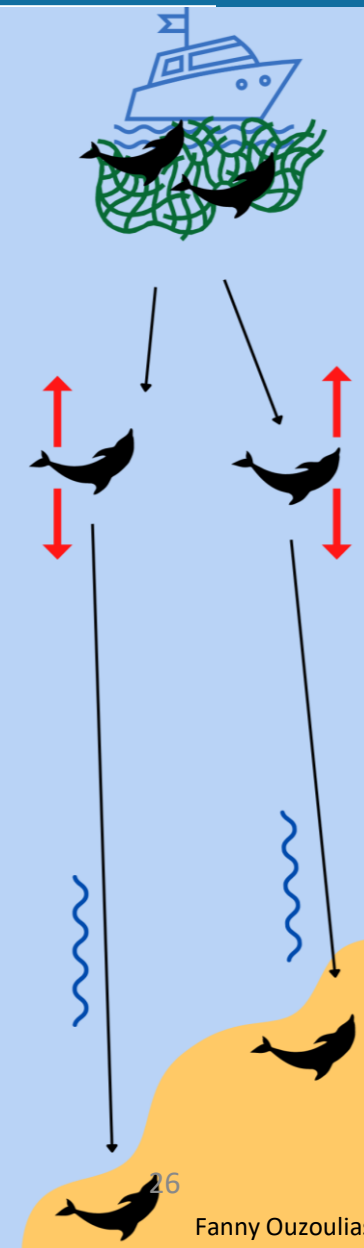
Carcasse
flotte ou
coule

$q \approx 25\%$

Peltier (2016)

Dérive

Échouage



Modèle déterministe



Modèle stochastique

Pas de stochasticité (variabilité) environnementale

$$C_{t+1}^e = C_t^e + \frac{\gamma + 1}{\gamma} r C_t^e \left(1 - \left(\frac{C_t^e}{Kq\phi} \right)^\gamma \right) - \phi C_t^e$$

Stochasticité environnementale

$$C_{t+1}^e = \left\{ C_t^e + \frac{\gamma + 1}{\gamma} r C_t^e \left(1 - \left(\frac{C_t^e}{Kq\phi} \right)^\gamma \right) - \phi C_t^e \right\} \varepsilon_t$$

Limites des modèles déterministes (Singini et al. 2013, Hubley et Heaslip, 2018).

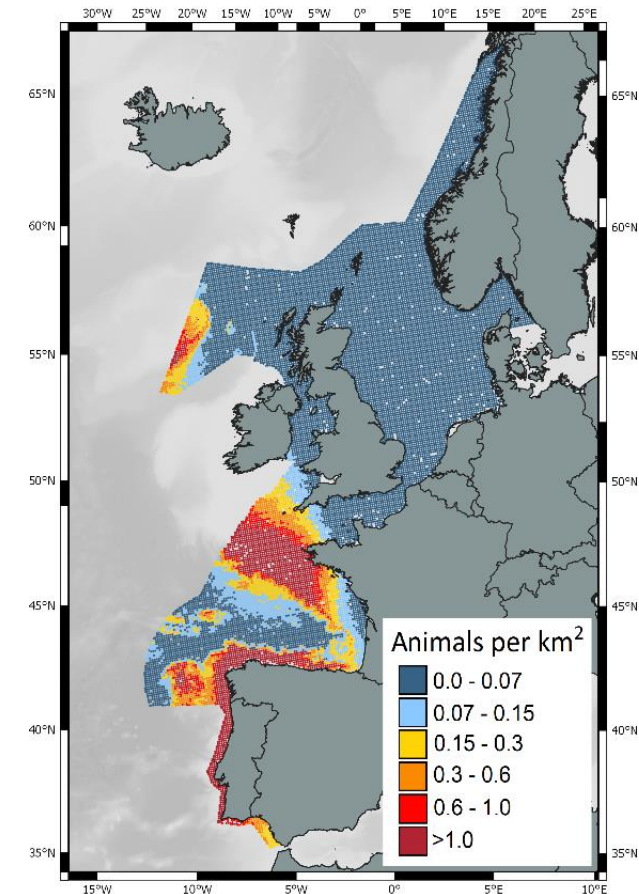
σ = stochasticité environnementale

$$\mathbb{E}[\varepsilon_t | \mathcal{F}_{t_1}] = 1, \quad V[\varepsilon_t | \mathcal{F}_{t_1}] = \sigma^2$$

Reparamétrisation de l'abondance

$$Z_t = \frac{B_t}{K} \left(\frac{r(\gamma + 1)}{\gamma - \phi\gamma + r(\gamma + 1)} \right)^{1/\gamma} \quad \text{Bordet et Rivest (2014)}$$

$$Z_{t+1} = \left(1 - \phi + r \frac{\gamma + 1}{\gamma} \right) Z_t (1 - Z_t^\gamma) \varepsilon_t$$



Estimations d'abondance, SCANS III, Hammond (2021).

Reparamétrisation de l'abondance

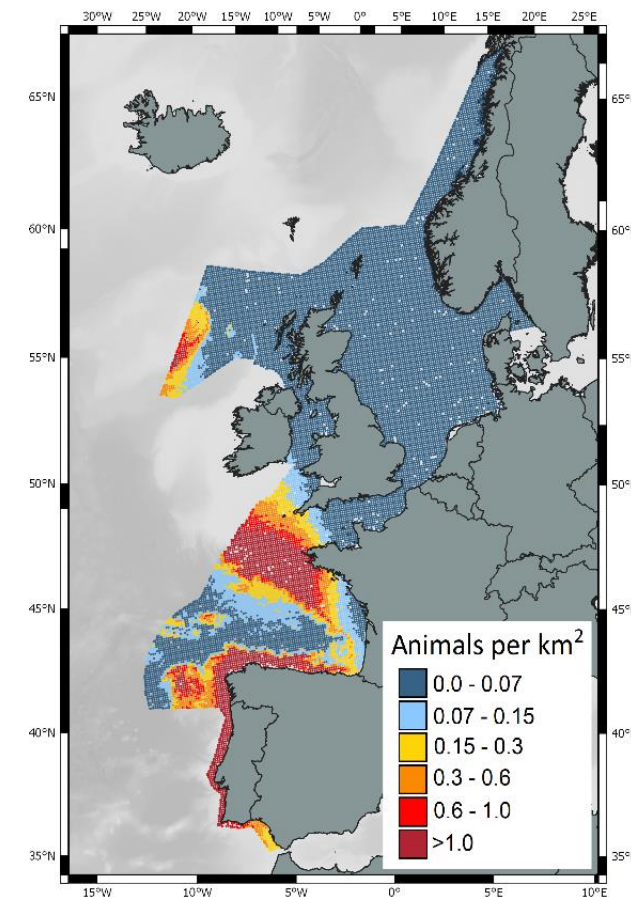
$$Z_t = \frac{B_t}{K} \left(\frac{r(\gamma + 1)}{\gamma - \phi\gamma + r(\gamma + 1)} \right)^{1/\gamma} \quad \text{Bordet et Rivest (2014)}$$

$$Z_{t+1} = \left(1 - \phi + r \frac{\gamma + 1}{\gamma} \right) Z_t (1 - Z_t^\gamma) \varepsilon_t$$

Expression des abondances observées

$$B_t^* | C_t^e, \theta = B_t \exp(\epsilon'_t) \text{ with } \epsilon'_t \sim \mathcal{LN}\left(-\frac{\tau^2}{2}, \tau\right)$$

Best and Punt (2020), Genu et al. (2021), ou Cook (2013)



Estimations d'abondance, SCANS III, Hammond (2021).

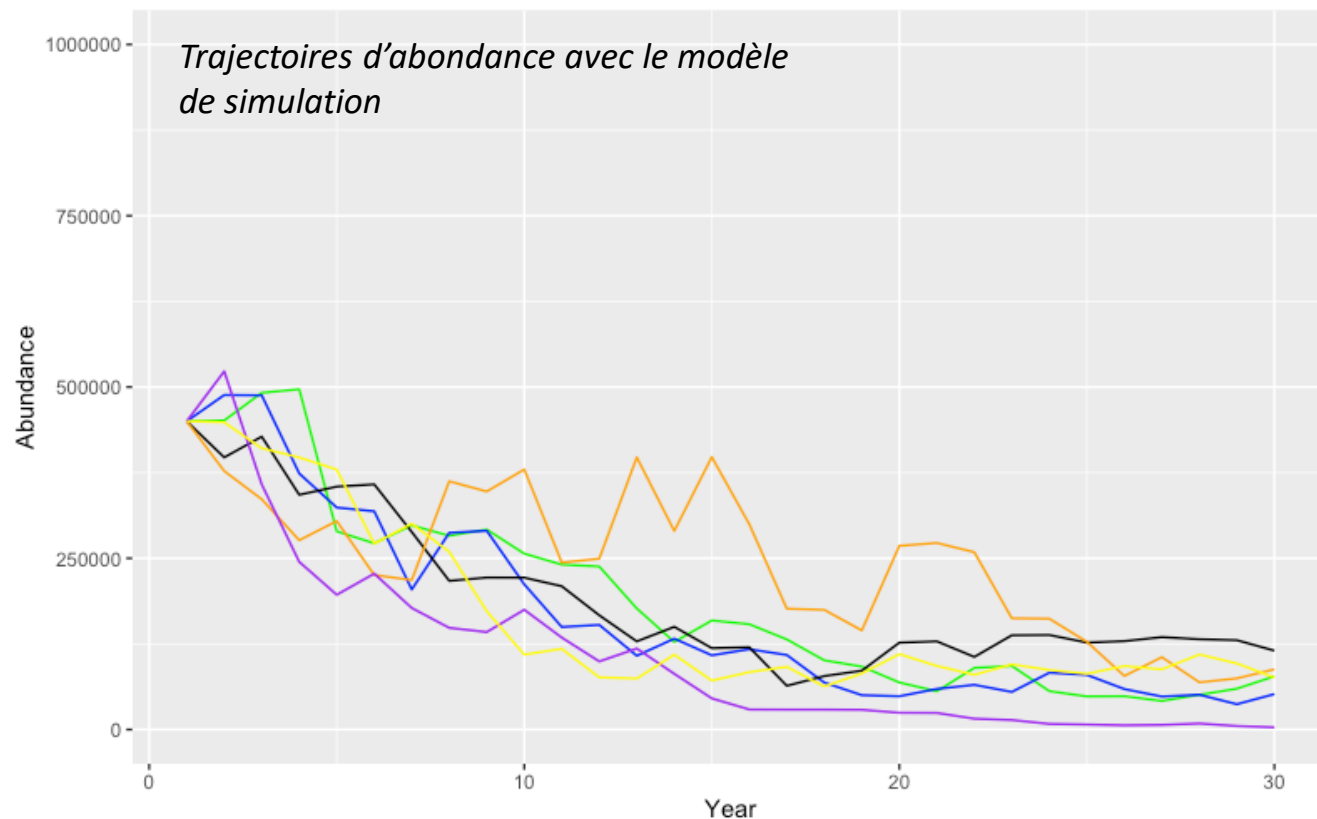
Pour résumer...

	Données observées	Variables latentes
Captures	Captures inférées C_t^e $f(C_0^e, \dots, C_T^e \theta) = \prod_{t=1}^T f(C_t^e C_{t-1}^e, \theta)$	Captures accidentelles C_t
Abondances	Campagnes SCANS B_t^*	Abondances de dauphins B_t

Quatre paramètres d'intérêt : le taux d'extraction, capacité biotique, taux de croissance et stochasticité.

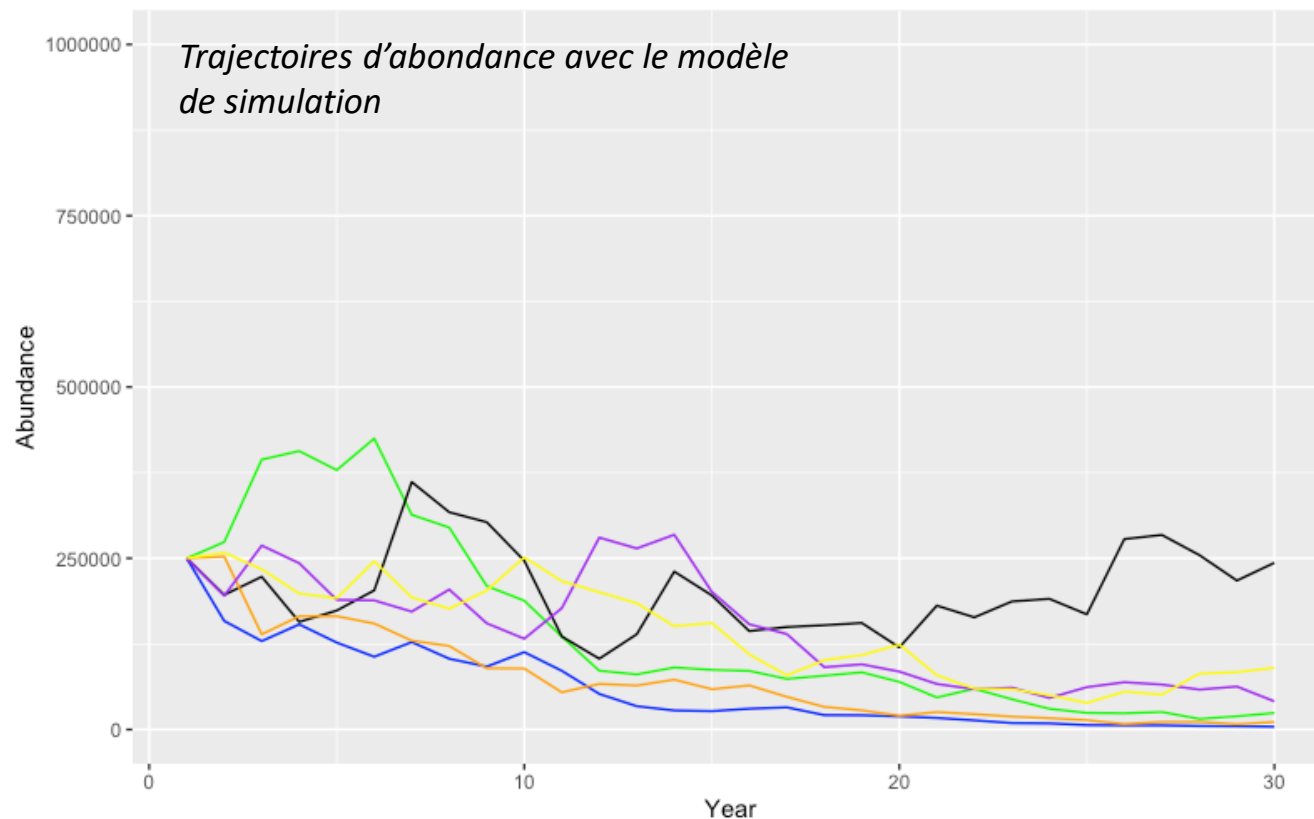
Modèle de simulation

Permet de générer des trajectoires d'abondance, en faisant varier certains paramètres : la capacité biotique, le taux de croissance intrinsèque, la stochasticité et le taux d'extraction.



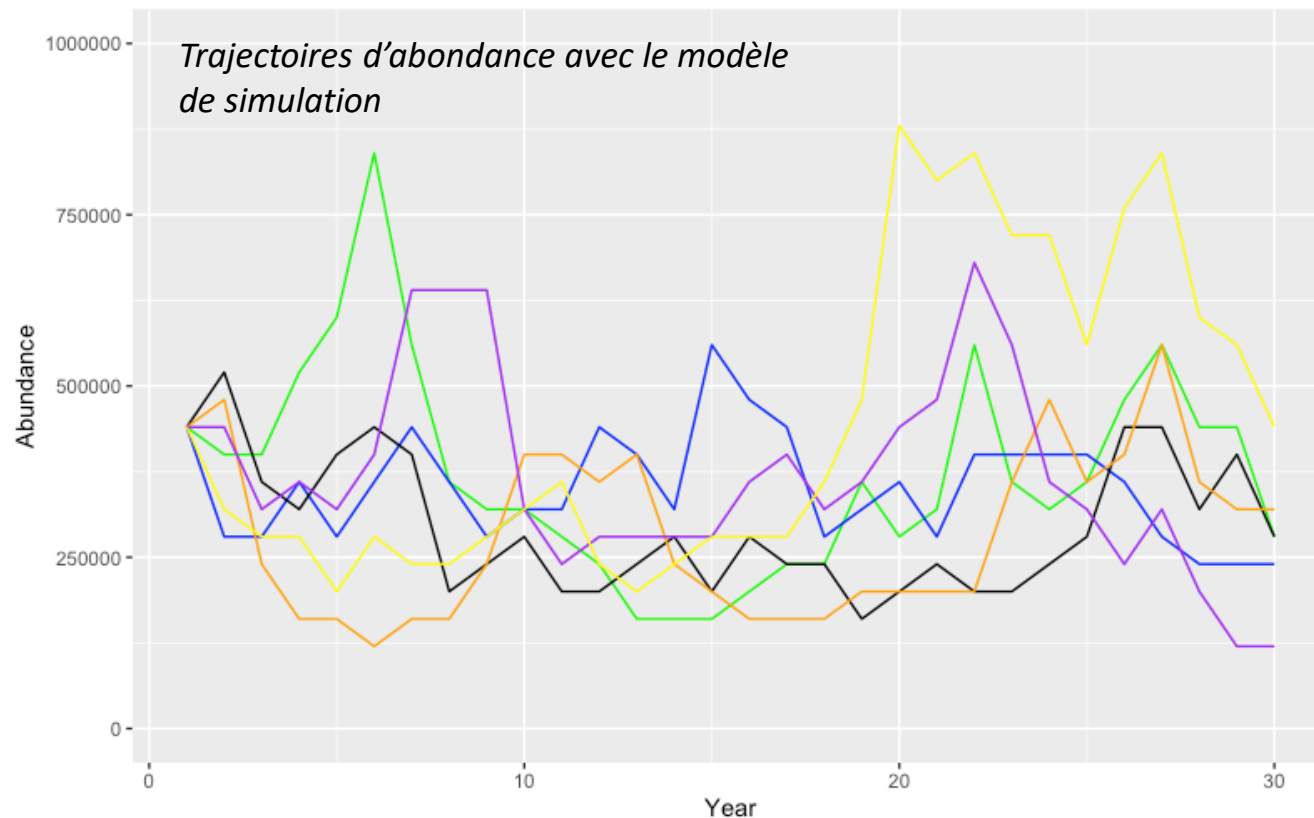
Modèle de simulation

Permet de générer des trajectoires d'abondance, en faisant varier certains paramètres : la capacité biotique, le taux de croissance intrinsèque, la stochasticité et le taux d'extraction.



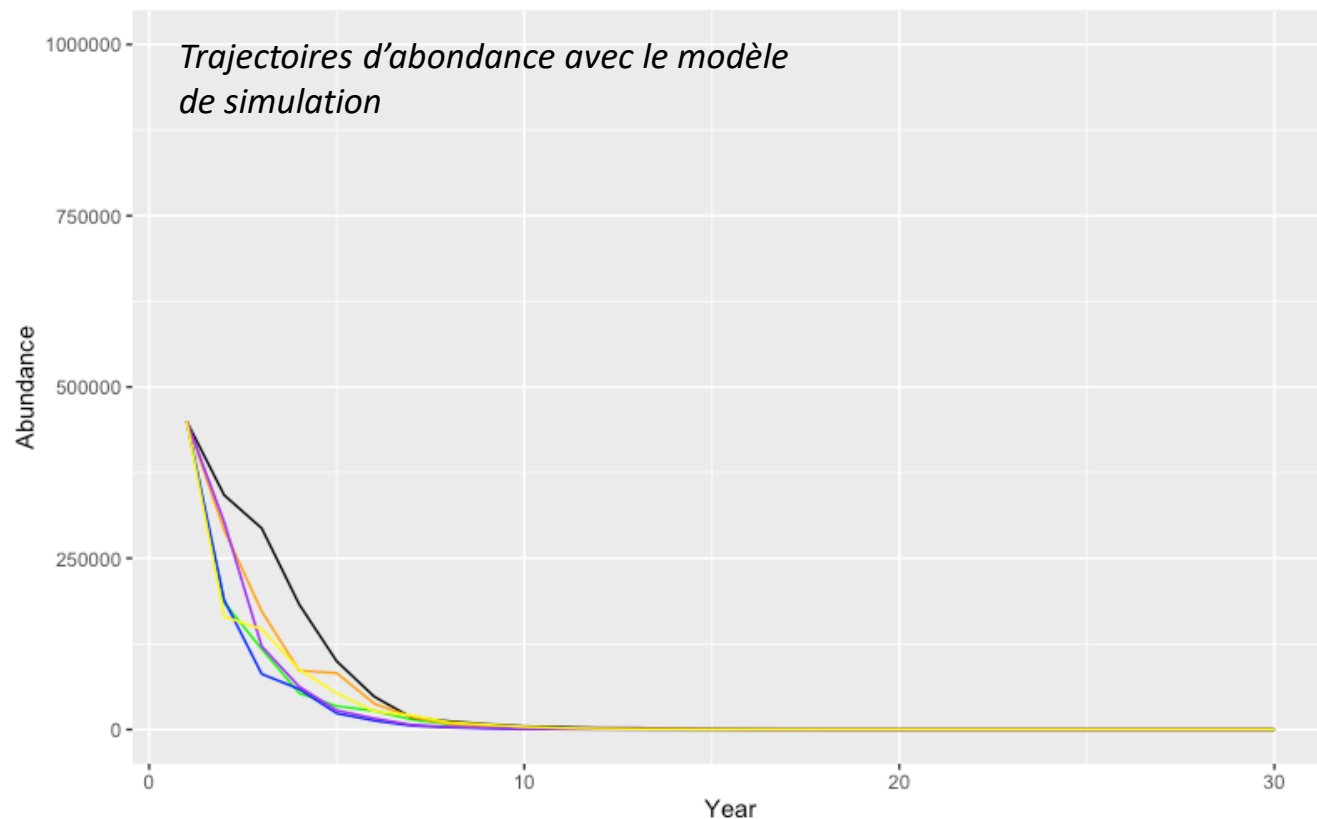
Modèle de simulation

Permet de générer des trajectoires d'abondance, en faisant varier certains paramètres : la capacité biotique, le taux de croissance intrinsèque, la stochasticité et le taux d'extraction.



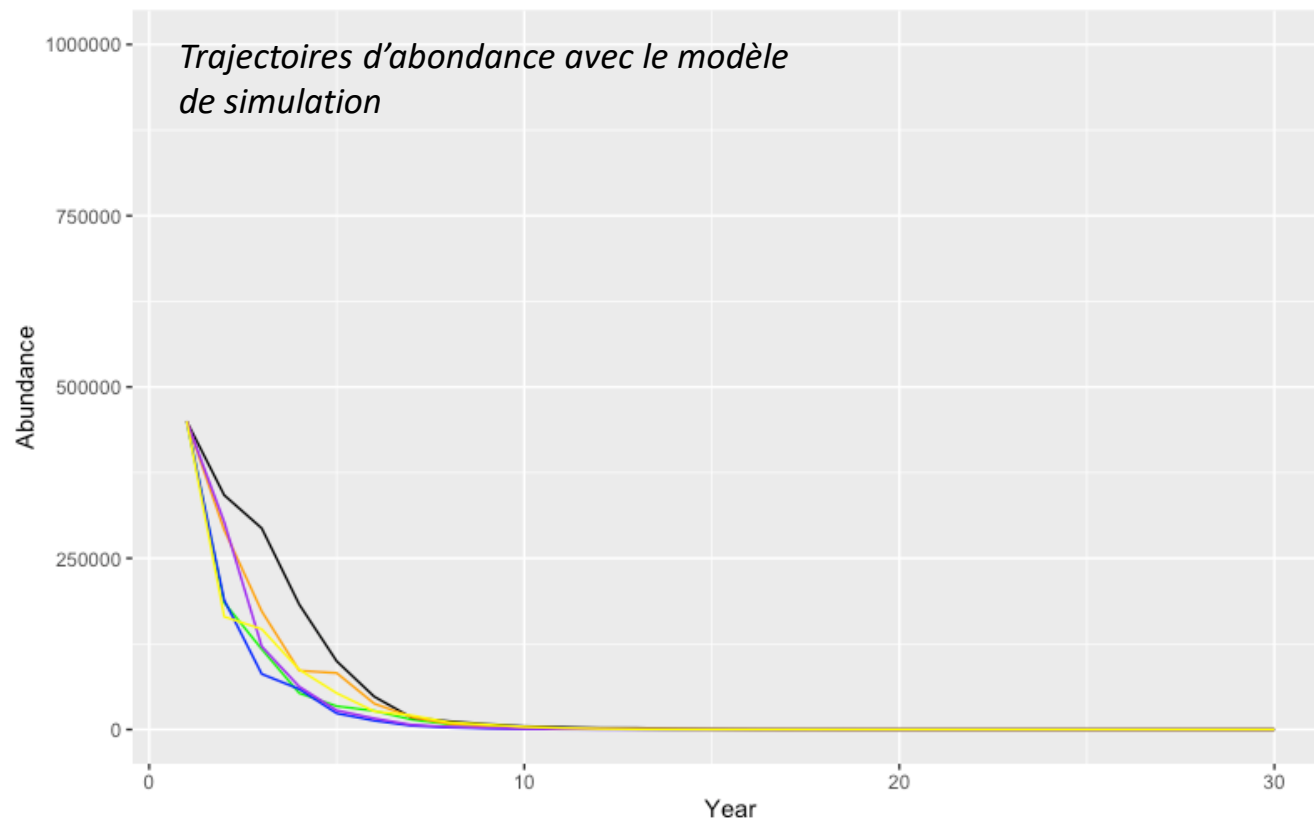
Modèle de simulation

Permet de générer des trajectoires d'abondance, en faisant varier certains paramètres : la capacité biotique, le taux de croissance intrinsèque, la stochasticité et le taux d'extraction.



Modèle de simulation

Permet de générer des trajectoires d'abondance, en faisant varier certains paramètres : la capacité biotique, le taux de croissance intrinsèque, la stochasticité et le taux d'extraction.



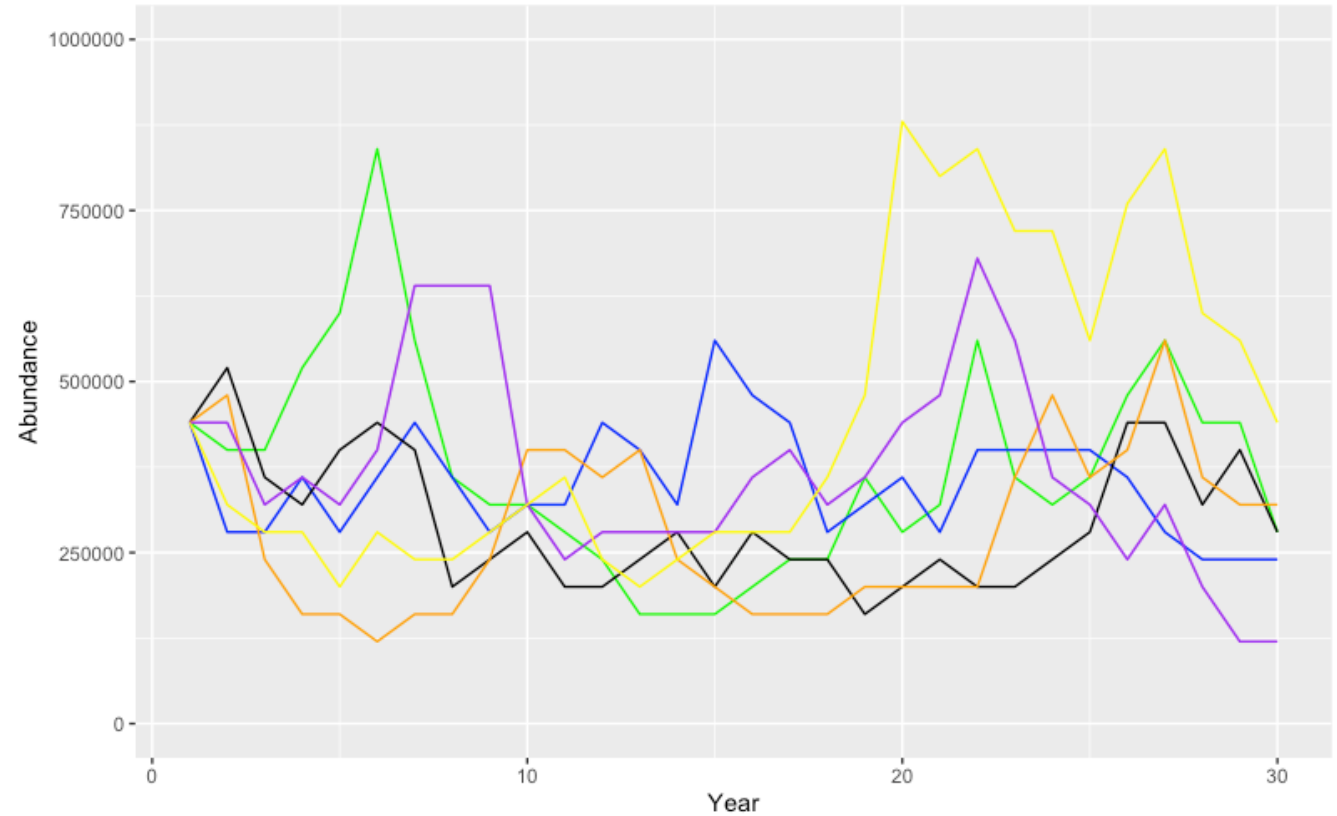
- 1) Initialisation de l'abondance Z_0 ;
- 2) Simulation des Z_t suivants, avec un bruit log normal ; $\varepsilon_t \sim \mathcal{LN}(-\sigma^2/2, \sigma^2)$.
- 3) Calcul des captures correspondantes ;
- 4) Calcul des abondances ; $B_t = \frac{C_t^e}{\phi q}$
- 5) Génération des abondances observées.

$$B_t^* \sim \mathcal{LN}(\log(B_t) - \frac{\tau^2}{2}, \tau) \quad \tau = \sqrt{\log(1 + cv^2)}$$

Modèle de simulation

Génération de trois séries :

- Captures par prise accidentelle
- Abondance réelles (non observées)
- Abondances observées




Inférence bayésienne

On cherche à estimer le taux d'extraction, le taux de croissance, la capacité biotique et la stochasticité environnementale.

 Quels priors pour les paramètres ?

Diversité des priors pour des SPM dans un cadre bayésien.

Priors uniformes \longrightarrow Priors gamma \longrightarrow Prior joint  Elicitation ?

Inférence bayésienne

Conditions :

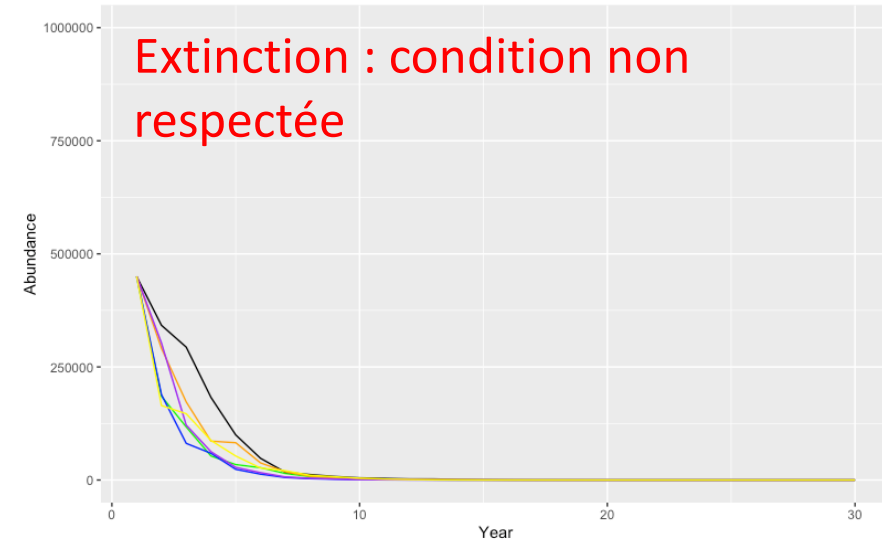
- la population ne s'éteint pas ;
- les captures (échouages) augmentent.



Probabilité d'extinction < 0,1 et $\{C_t^e(\theta)\}_t$ augmentent



Copule 3D de Vine



Inférence bayésienne

Conditions :

- la population ne s'éteint pas ;
- les captures (échouages) augmentent.



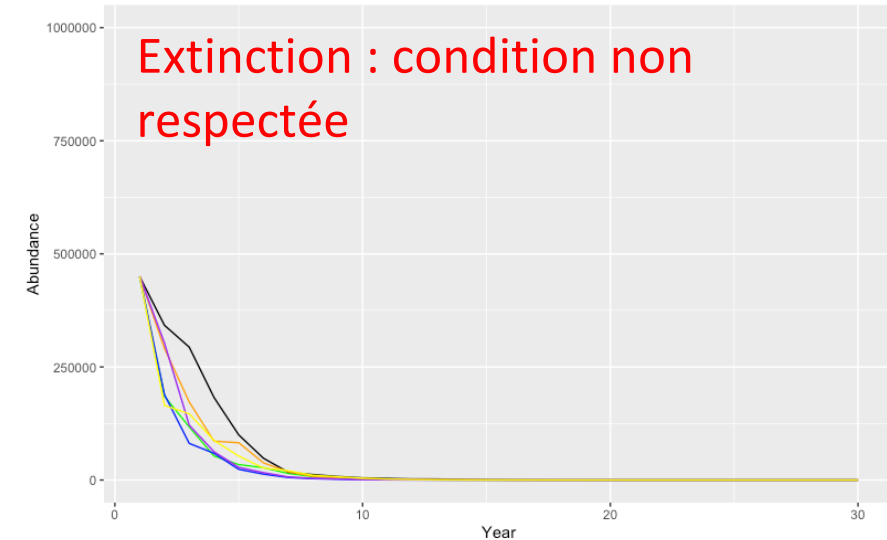
Probabilité d'extinction $< 0,1$ et $\{\{C_t^e(\theta)\}_t$ augmentent



Copule 3D de Vine

Déplétion initiale $D_0 = \frac{B_0}{K}$

- Abondance vierge
- Capacité biotique



Les algorithmes utilisés

Algorithme Metropolis Hastings within Gibbs

=> codé

Algorithme de Monte Carlo hamiltonien (HMC) avec Stan

=> utilisé

On veut estimer quatre paramètres : le taux d'extraction, déplétion initiale, taux de croissance et stochasticité.

Test de la fiabilité de l'estimation

Taux d'extraction

Taux de croissance

Stochasticité environnementale

Déplétion initiale

Fixés,
connus

Modèle de
simulation

Jeu de données :
captures et
abondances

Estimation
bayésienne

Estimation des
paramètres

Validation

Test de la fiabilité de l'estimation

Taux d'extraction

Taux de croissance

Stochasticité environnementale

Déplétion initiale

Fixés, connus



Modèle de simulation

Jeu de données : captures et abondances



Estimation bayésienne

Estimation des paramètres



Validation

Trois cas testés

- Population stationnaire
- Population croissante
- Population diminue, captures augmentent

Test de la fiabilité de l'estimation

Trois cas testés :

– Population stationnaire

– Population croissante

– Abondance diminue, captures augmentent

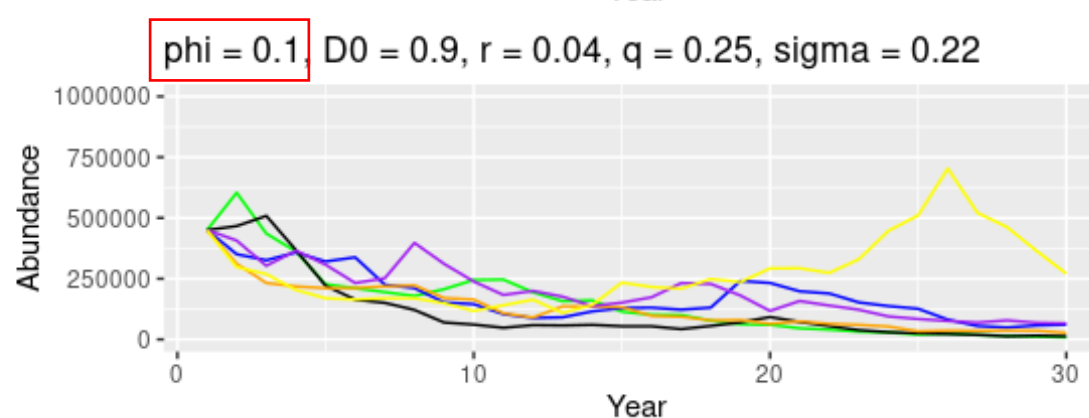
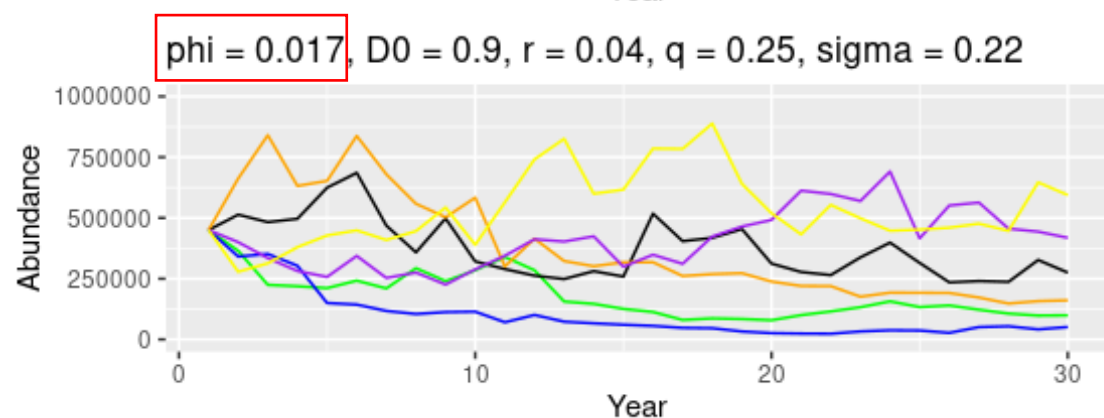
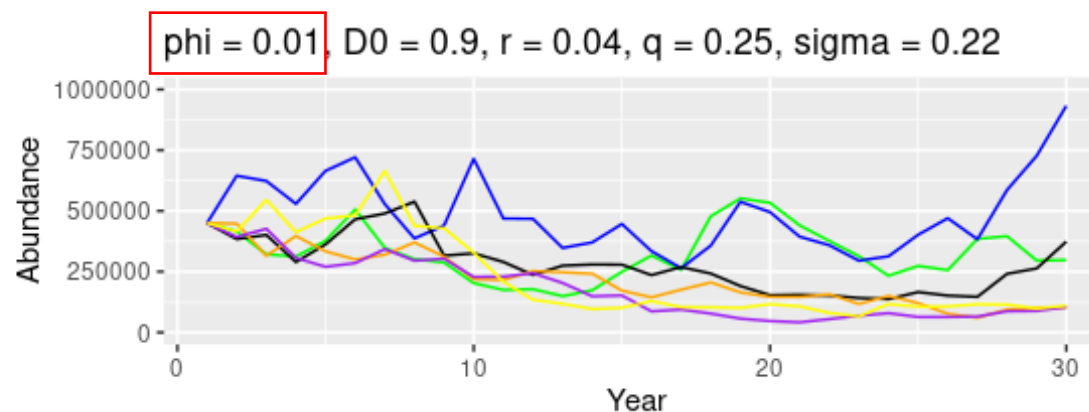
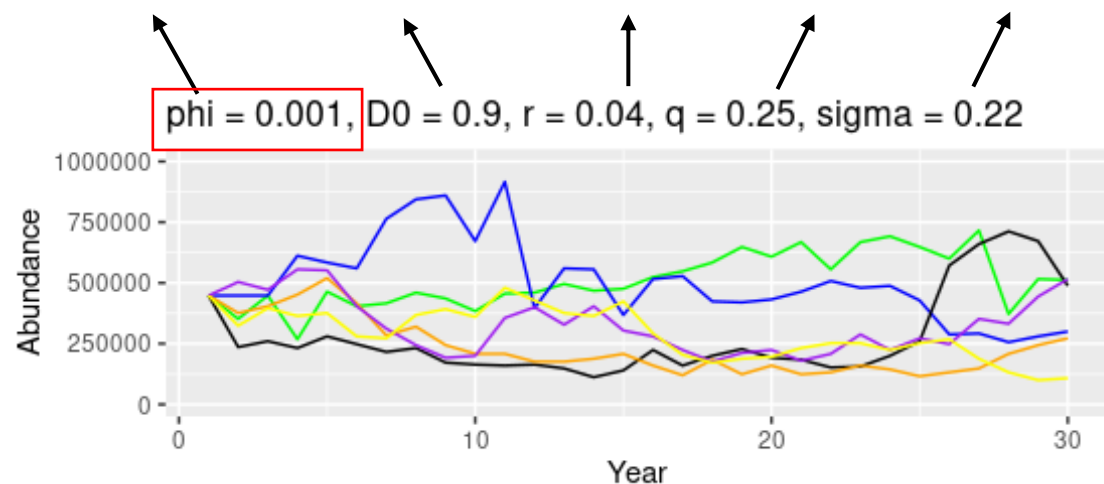
Proportionnalité entre abondance et captures, utilisation du modèle de simulation

Mismatch entre le modèle d'estimation et le modèle de simulation

Modèle de simulation

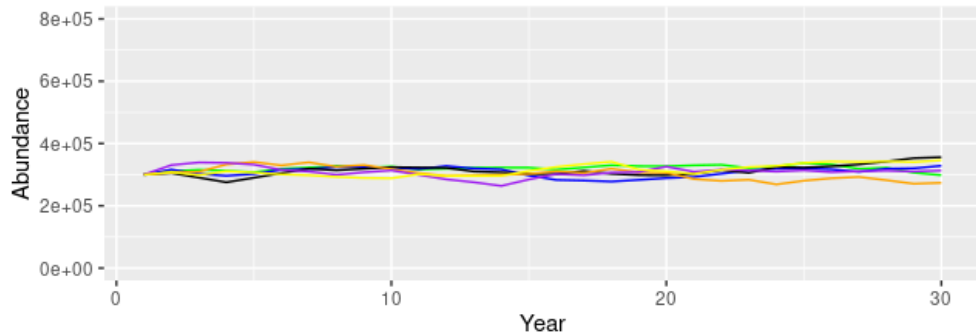
Taux d'extraction Déplétion initiale Taux de croissance Probabilité de flottaison Stochasticité environnementale

En fonction du taux d'extraction ϕ

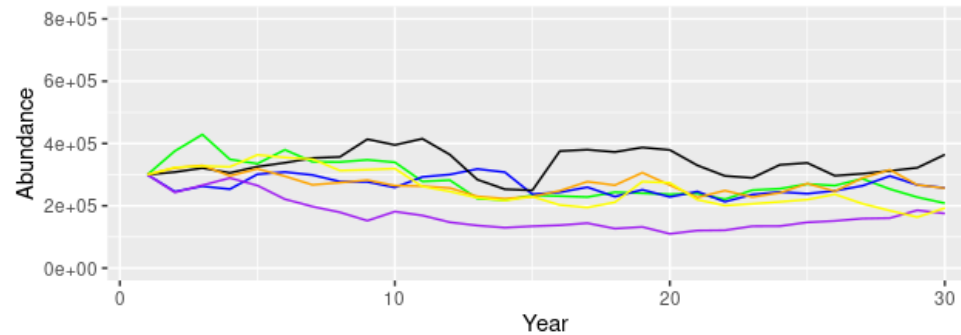


En fonction de la
stochasticité
environnementale σ

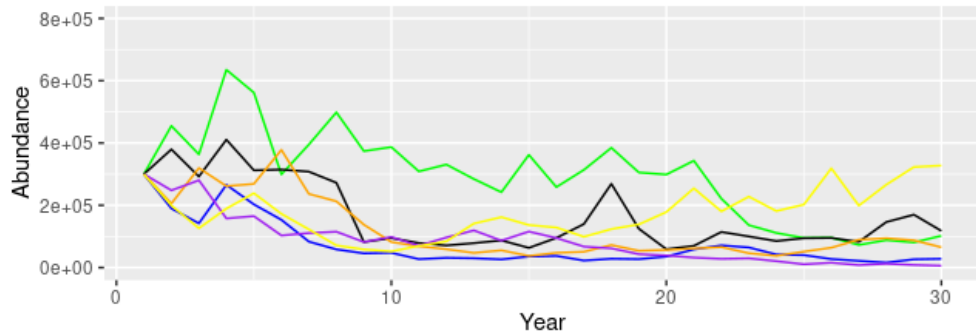
phi = 0.01, D0 = 0.9, r = 0.04, q = 0.25, sigma = 0.03



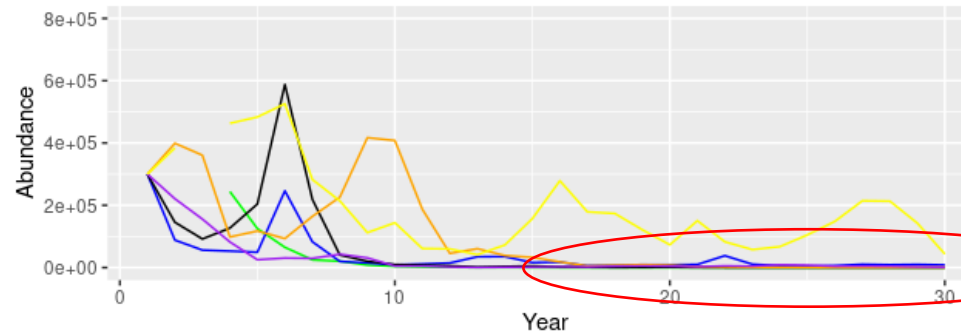
phi = 0.01, D0 = 0.9, r = 0.04, q = 0.25, sigma = 0.1



phi = 0.01, D0 = 0.9, r = 0.04, q = 0.25, sigma = 0.3



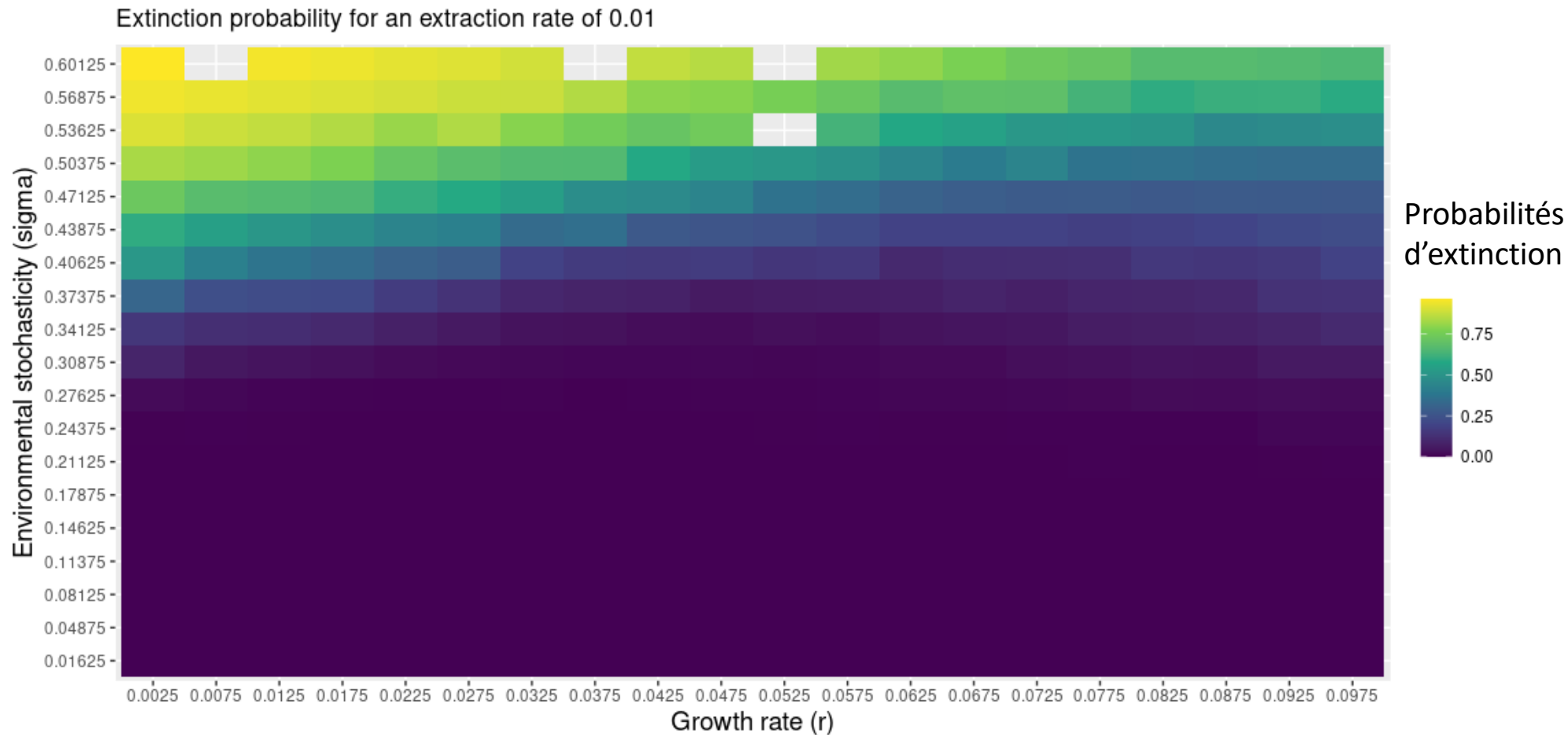
phi = 0.01, D0 = 0.9, r = 0.04, q = 0.25, sigma = 0.6



Extinction

Trajectoires d'abondance en faisant varier la stochasticité environnementale.

Calcul des probabilités d'extinction

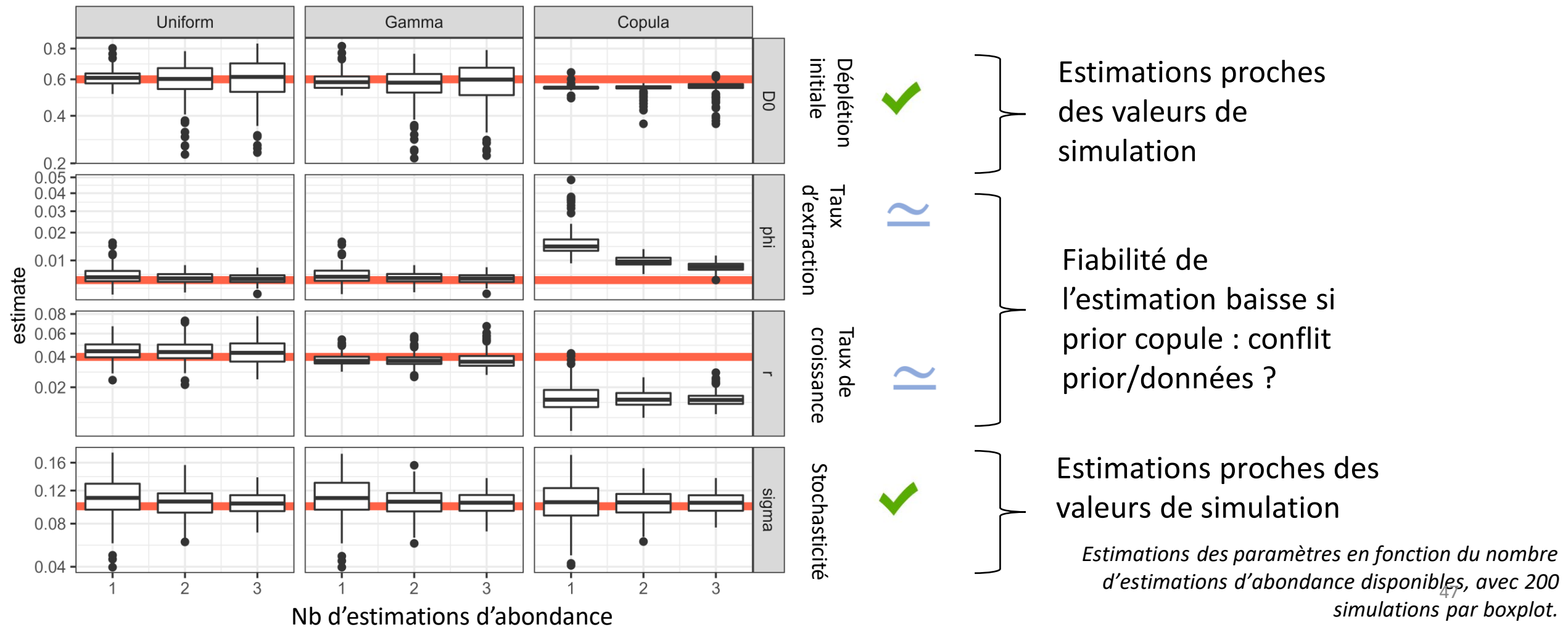


Probabilités d'extinction en fonction de la stochasticité et du taux de croissance.

Estimation bayésienne avec données simulées

Résultats des tests de fiabilité

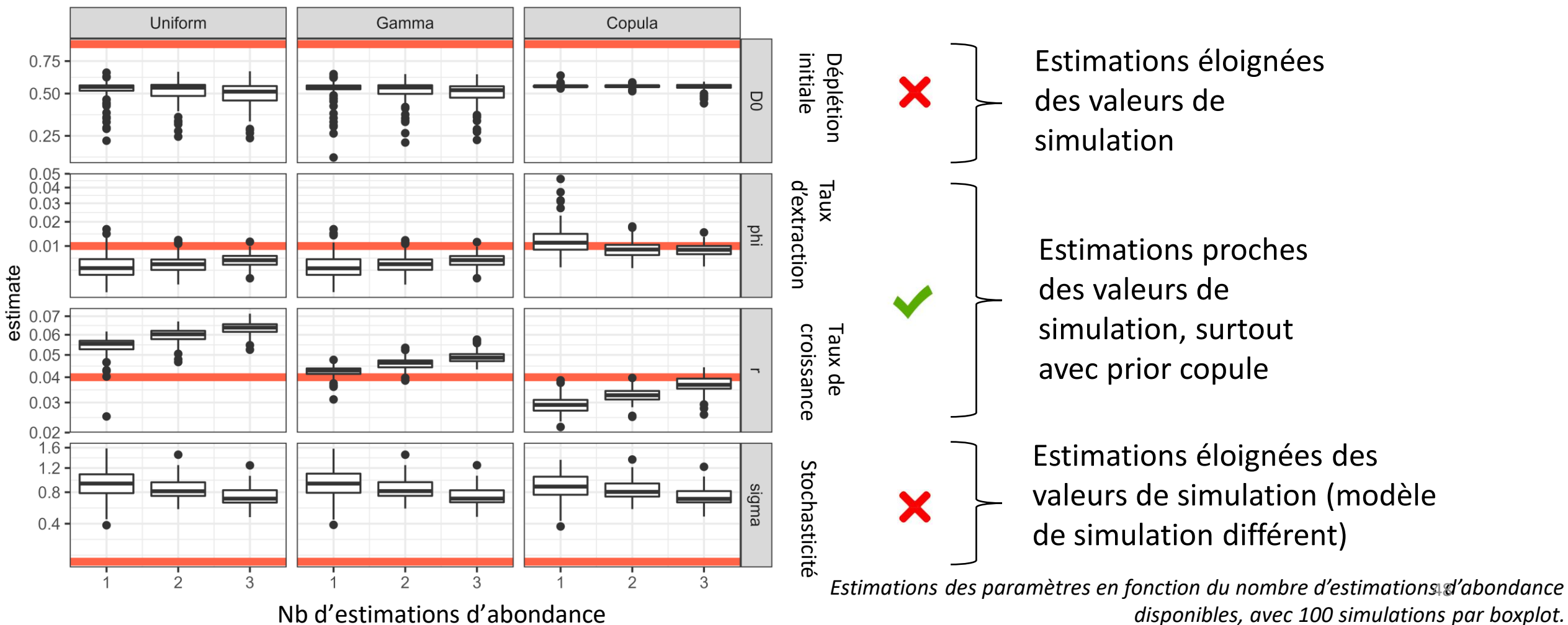
Cas : population croissante, captures croissantes



Estimation bayésienne avec données simulées

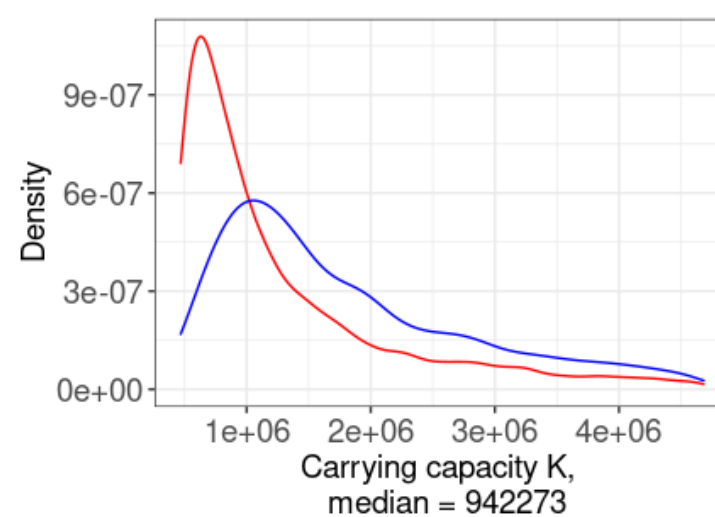
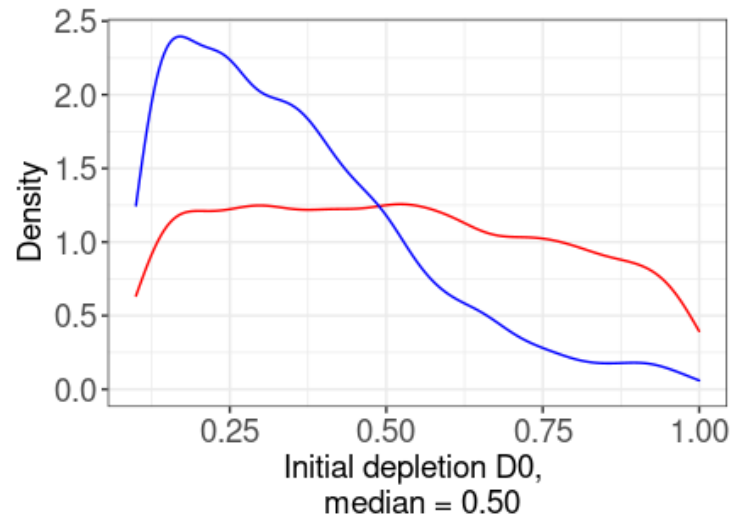
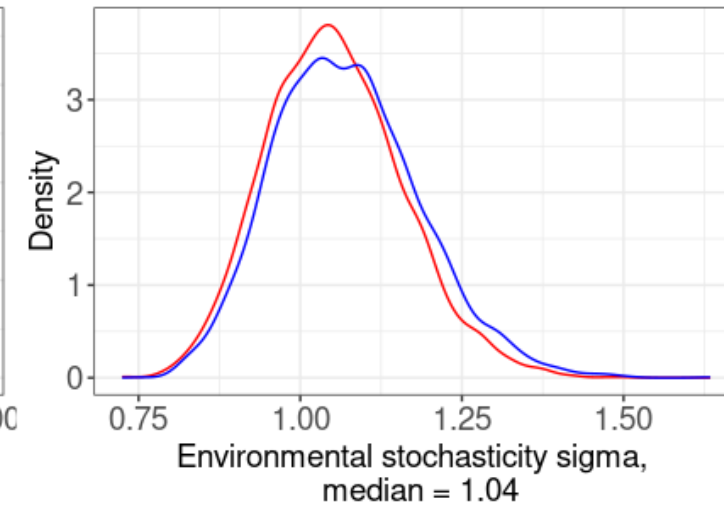
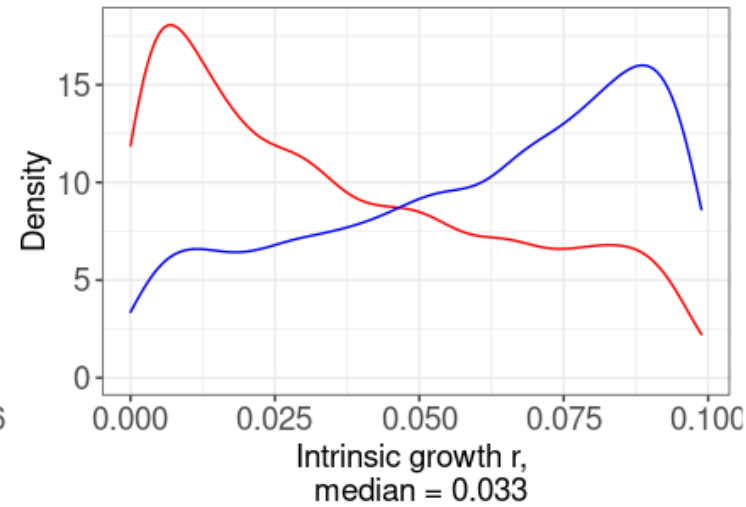
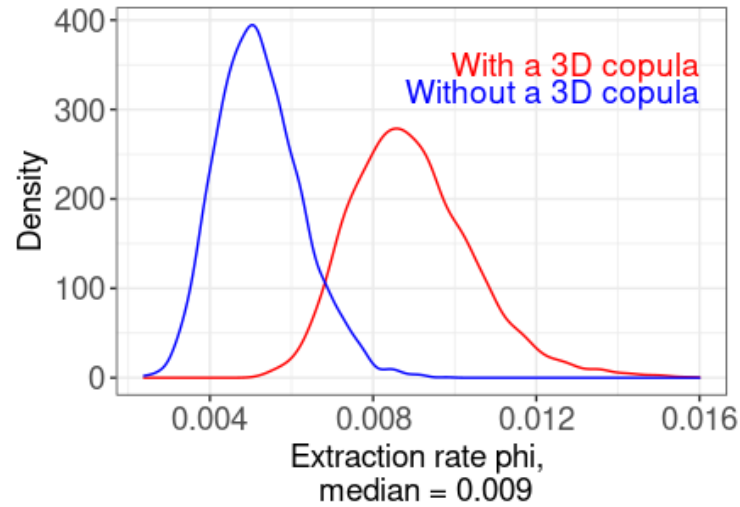
Résultats des tests de fiabilité

Cas : population décroissante ou stable, captures croissantes



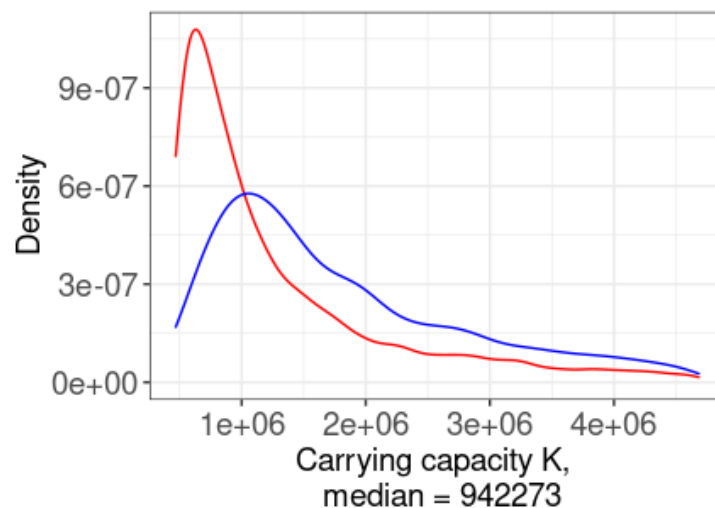
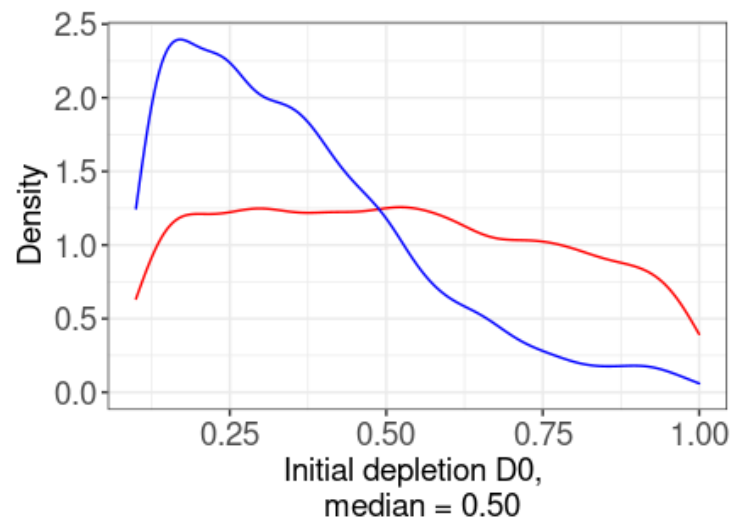
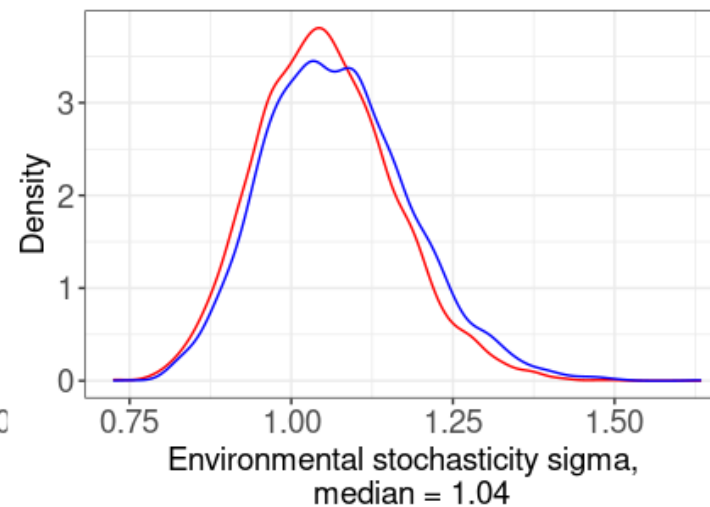
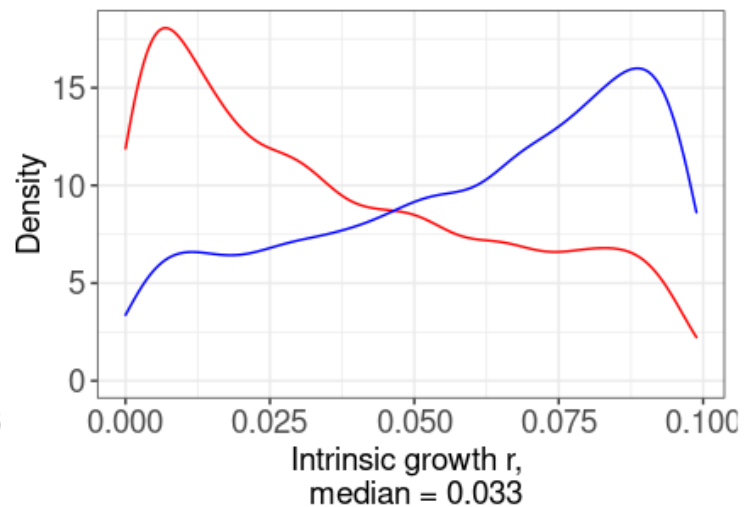
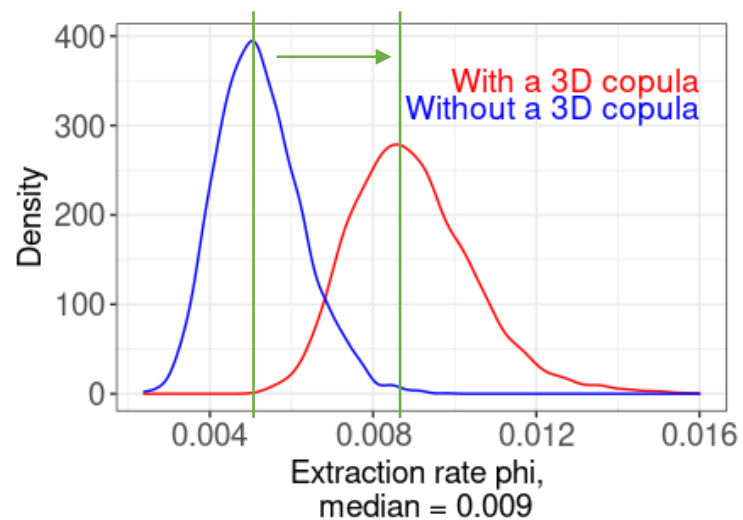
Estimation bayésienne avec données réelles : cas du dauphin commun dans l'Atlantique Nord

Est



Estimations des paramètres avec les données réelles, courbes à posteriori, avec copule (rouge) et avec prior uniforme (bleu).

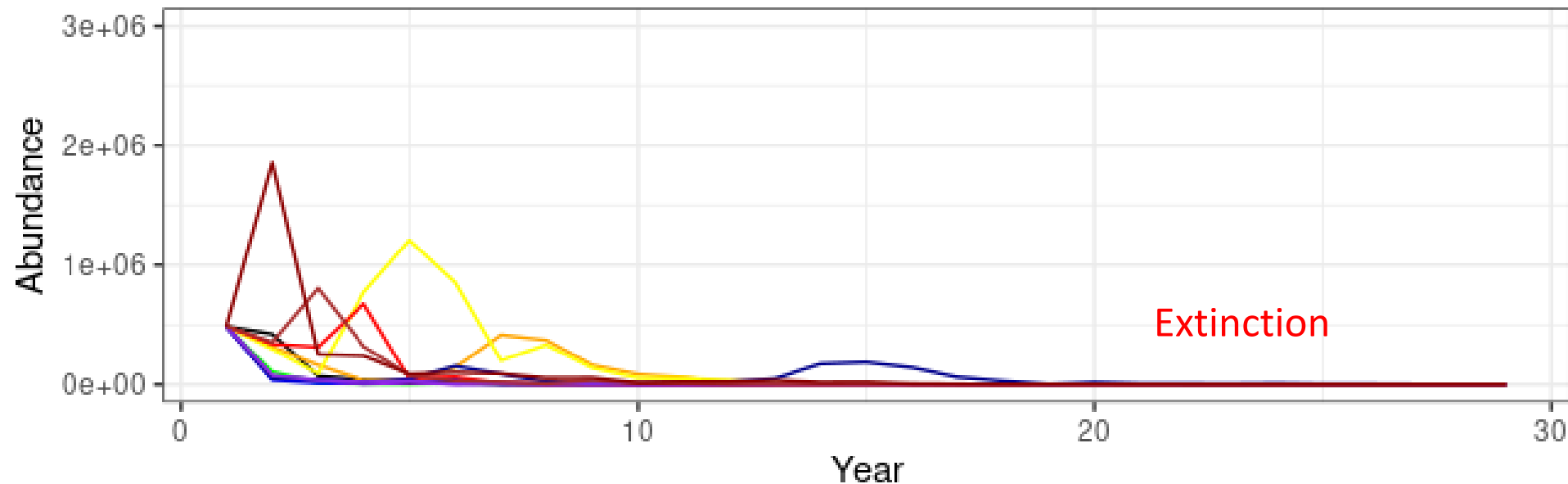
Estimation bayésienne avec données réelles : cas du dauphin commun dans l'Atlantique Nord Est



Estimations des paramètres avec les données réelles, courbes à posteriori, avec copule (rouge) et avec prior uniforme (bleu).

Estimation bayésienne avec données réelles

Estimation des paramètres  Projections d'abondance



Projections d'abondances avec les paramètres estimés, sur 30 ans.

A retenir des résultats

Avec données simulées

- Le risque d’extinction augmente avec la stochasticité
diminue avec le taux de croissance.



Lande (1993) ; Foley (1994) ; Giles
Leigh (1981)

- Estimation possible du taux d’extraction dans tous les cas de figure.

A retenir des résultats

Avec données simulées

- Le risque d’extinction augmente avec la stochasticité
diminue avec le taux de croissance.



Lande (1993) ; Foley (1994) ; Giles
Leigh (1981)

- Estimation possible du taux d’extraction, stochasticité, taux de croissance.

Avec données réelles

- Résultats globalement plus cohérents avec prior joint qu’avec des priors uniformes.
- Estimation cohérente du taux de croissance (Wade 1998) et du taux d’extraction (ASCOBANS).
- Surestimation probable de la stochasticité.



Pourquoi la stochasticité est surestimée ?

- Erreurs d'observation dans les données de captures ;
- Abondance vierge fixée à la première estimation d'abondance (2005).

Déplétion initiale $D_0 = \frac{B_0}{K}$

Abondance vierge

Capacité biotique

The diagram shows the equation $D_0 = \frac{B_0}{K}$. The term B_0 in the numerator is circled in red. An arrow points from B_0 to the text 'Abondance vierge'. Another arrow points from K in the denominator to the text 'Capacité biotique'.

Limites du modèle

Relatives au paramètre q et ϕ

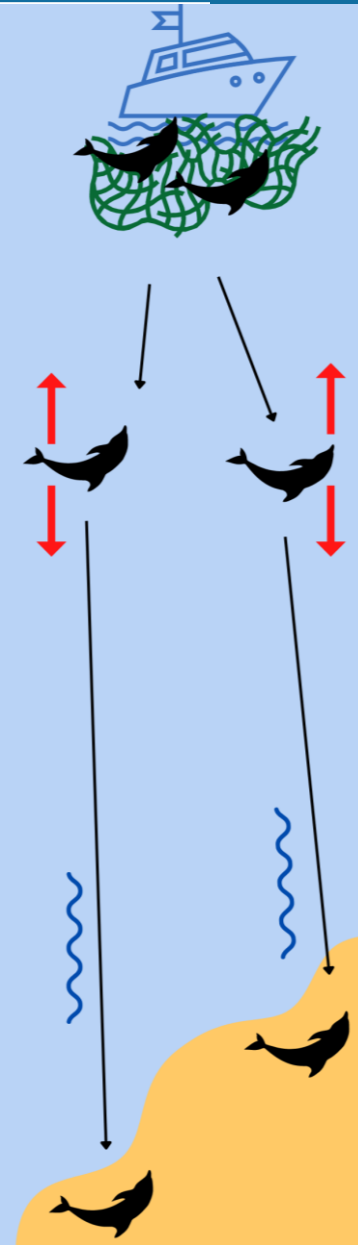
$$C_t^e = q\phi B_t$$

$q = 0,25$

Probabilité
d'être pêchéCarcasse
flotte ou
coule $q = 0,25$

Dérive

Échouage



Limites du modèle

Relatives au paramètre q

$$C_t^e = q\phi B_t$$

$q = 0,25$

Relatives à la stochasticité



Importance d'améliorer la donnée sur les captures accidentelles.

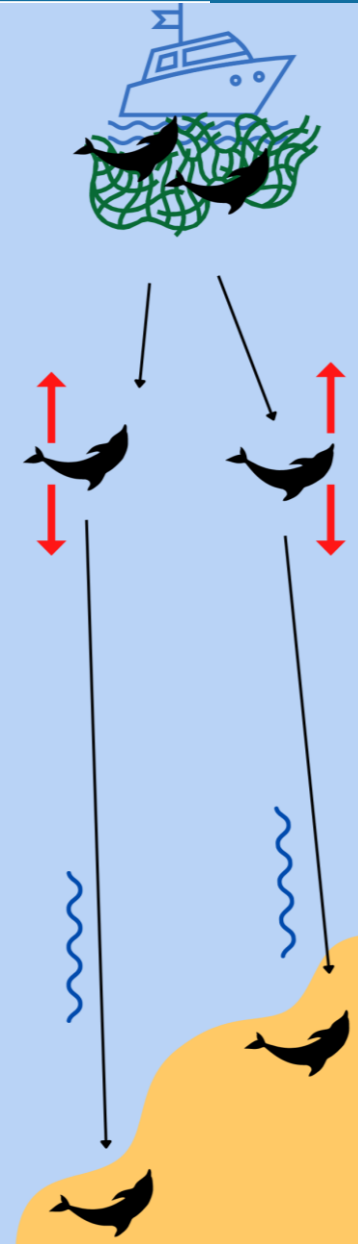
Probabilité
d'être pêché

Carcasse
flotte ou
coule

$q = 0,25$

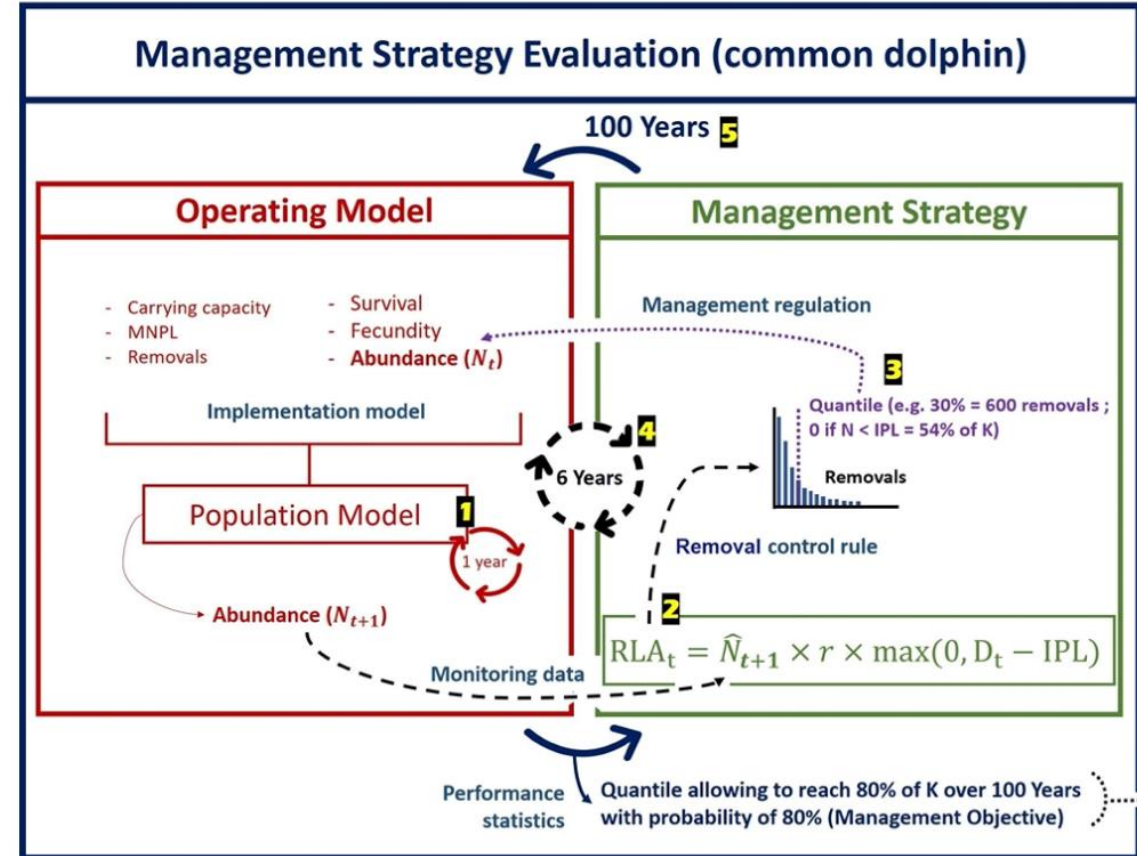
Dérive

Échouage



Perspectives et conclusion

- Essai de modèle SPM stochastique à partir de données d'échouages ;
- Modèle qui n'a pas besoin de valeur de taux de croissance ;
- Modèle applicable à d'autres espèces (stocks à données limitées) ;
- Méthodologie utilisable dans le cadre de Management Strategy Evaluations (MSE).

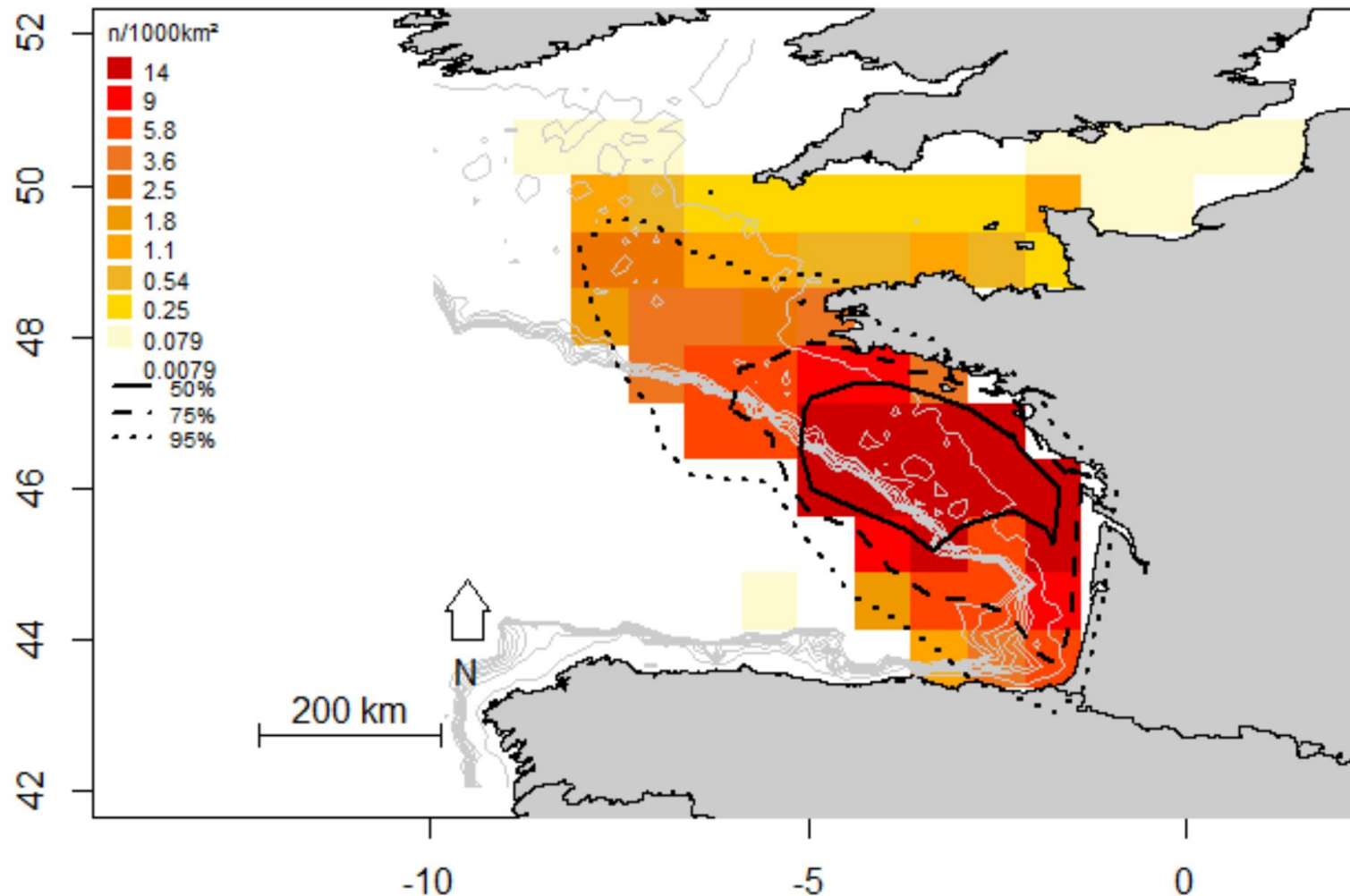


Exemple de formalisation d'une MSE pour les dauphins communs, Rouby (2022)



Ilus

Merci de votre attention !



Zones probables de mortalité des dauphins communs échoués présentant des traces de capture accidentelle entre janvier et avril 2019 ($n=715$). Les enveloppes contiennent 50% (trait plein), 75% (pointillés longs) et 95% (pointillés courts) des mortalités de dauphins communs durant l'hiver 2019. Peltier (2019).

Utiliser vraiment la donnée brute

$$Ct = q \pi \phi Bt$$

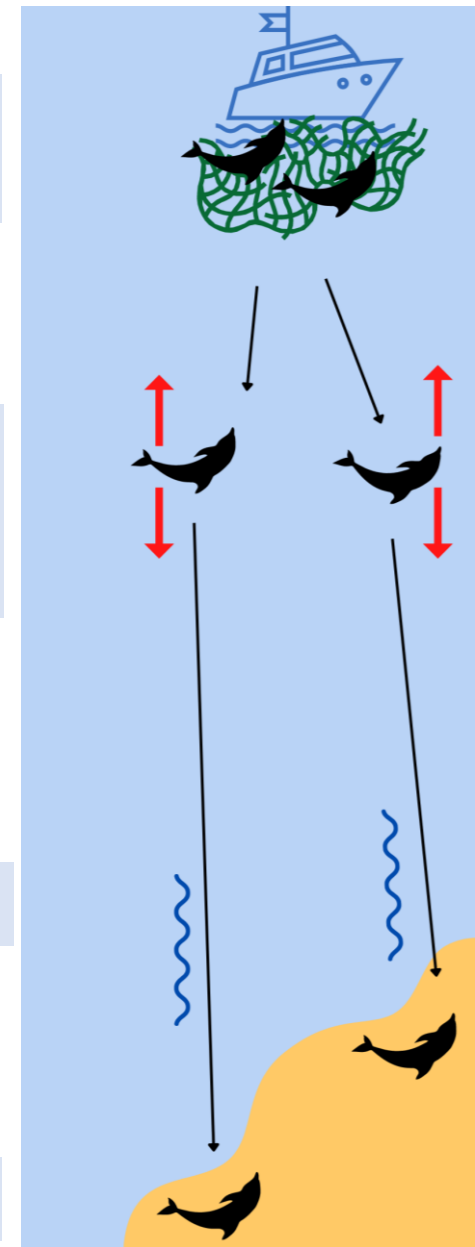
Probabilité de flotter
Dérive

Probabilité
d'être pêché

Carcasse
flotte ou
coule

Dérive

Échouage



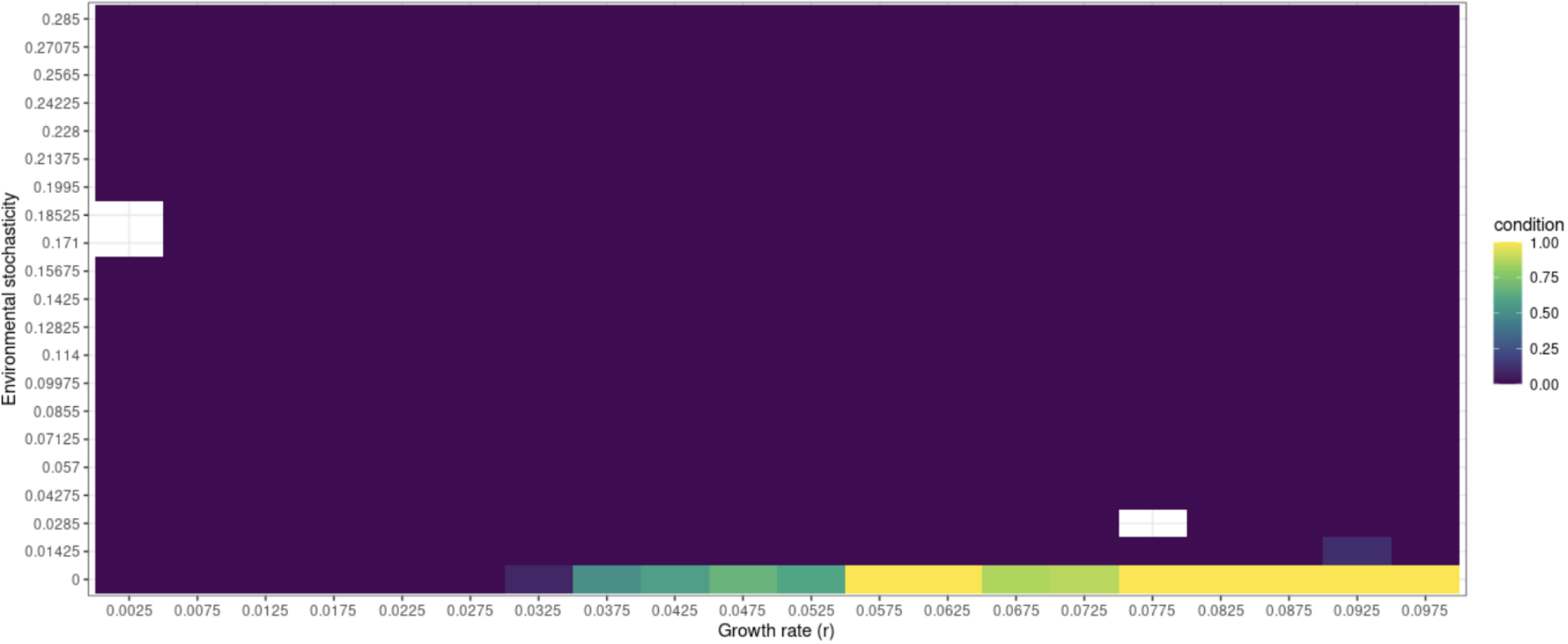
Vraisemblance des biomasses et échouages

$$f_{\theta}(\{B_t^*\}_{t \in \mathcal{I}}, \{C_t^e\}_{t \in \mathcal{J}}) = f(\{B_t^*\}_{t \in \mathcal{I}} | \{C_t^e\}_{t \in \mathcal{J}}, \theta) f(\{C_t^e\}_{t \in \mathcal{J}}, \theta)$$

$$f(\{B_t^*\}_{t \in \mathcal{I}} | \{C_t^e\}_{t \in \mathcal{J}}, \theta) = \prod_{t \in \mathcal{I}} \frac{1}{\sqrt{2\pi B_t^* \tau}} \exp\left(-\left(\log\left(\frac{q\phi B_t^*}{C_t^e}\right) - \frac{\tau^2}{2}\right)^2 \frac{1}{2\tau^2}\right)$$

Copules

Calibration of the simulation model, extraction rate = 0.01



Copules

$$\begin{aligned} \pi(\sigma, r, \phi) = & f_{RG, \theta_{RG}}(\Pi_\phi(\phi), \Pi_\sigma(\sigma)) \times f_{G, \theta_G}(\Pi_\phi(\phi), \Pi_r(r)) \times \\ & f_{RT, \theta_{RT,1}, \theta_{RT,2}}(\Pi_r(r|\phi), \Pi_\sigma(\sigma|\phi)) \times [\pi_\sigma(\sigma)\pi_r(r)\pi_\phi(\phi)] \end{aligned} \quad (\text{A.26})$$

where:

1. $(\pi_\sigma, \pi_r, \pi_\phi)$ are the marginal prior densities of (σ, r, ϕ) , respectively;
2. $\Pi_\phi(\phi)$, $\Pi_\sigma(\sigma)$ and $\Pi_r(r)$ are the marginal prior cdf of (ϕ, σ, r) ;
3. the copula densities $(f_{RG, \theta_{RG}}, f_{G, \theta_G}, f_{RT, \theta_{RT,1}, \theta_{RT,2}})$;
4. $\Pi_r(r|\phi)$ and $\Pi_\sigma(\sigma|\phi)$ are *conditional* prior cdf (given ϕ), defined as follows: from Darsow et al. (1992)

$$\Pi_r(r|\phi) = \Pi(R < r|\phi) = \frac{\partial F_{G, \theta_G}}{\partial u}(\Pi_\phi(\phi), \Pi_r(r),), \quad (\text{A.27})$$

$$\Pi_\sigma(\sigma|\phi) = \Pi(\Sigma < |\sigma|\phi) = \frac{\partial F_{RG, \theta_{RG}}}{\partial u}(\Pi_\phi(\phi), \Pi_\sigma(\sigma)) \quad (\text{A.28})$$

```
// Gumbel copula lpdf from https://spinkney.github.io/helpful_stan_functions/group_gumbel.html
real gumbel_copula(real u, real v, real theta) {
  real neg_log_u = -log(u);
  real log_neg_log_u = log(neg_log_u);
  real neg_log_v = -log(v);
  real log_neg_log_v = log(neg_log_v);
  real log_temp = log_sum_exp(theta * log_neg_log_u, theta * log_neg_log_v);
  real theta_m1 = theta - 1;
  if (theta < 1) {
    reject("theta must be >= 1, found theta = ", theta);
  }
  if (is_inf(theta)) {
    if (u == v) {
      return 0;
    }
    else{
      return negative_infinity();
    }
  }

  return theta_m1 * log_neg_log_u + theta_m1 * log_neg_log_v
  + neg_log_u + neg_log_v - exp(log_temp / theta)
  + log_sum_exp(2 * theta_m1 / -theta * log_temp, log(theta_m1) + (1 - 2 * theta) / theta * log_temp);
}

```

```
// jacobian
real jacobian_gumbel_copula(real u, real v, real theta){
  real neg_log_u = -log(u);
  real psi_u = pow(neg_log_u, theta);
  real neg_log1m_u = -log1m(u);
  real psi_1mu = pow(neg_log1m_u, theta);
  real neg_log_v = -log(v);
  real psi_v = pow(neg_log_v, theta);
  real value;

  value = lmultiply(theta - 1, neg_log_u) - log(u);
  value += lmultiply(inv(theta) - 1, psi_1mu + psi_v);
  value += -pow(psi_1mu + psi_v, -inv(theta));
  return value;
}

```

```
// Gaussian copula lpdf from https://spinkney.github.io/helpful_stan_functions/group_normal.html
real normal_copula(real u, real v, real rho) {
  real rho_sq = square(rho);

  return (0.5 * rho * (-2. * u * v + square(u) * rho + square(v) * rho)) / (-1. + rho_sq)
  - 0.5 * log1m(rho_sq);
}
// jacobian
real jacobian_normal_copula(real u, real v, real theta){
  real value = Phi((inv_Phi(u) - theta * inv_Phi(v)) * inv_sqrt(1 - square(theta)));
  if (value == 0) {
    return negative_infinity();
  }
  else{
    return log(value);
  }
}

```

```

// Tawn Type 2 copula lpdf: see Ouzoulias 2022
real tawn_2_copula(real u, real v, real theta1, real theta2) {
  real log_uv; // is negative
  real t; // is positive and less than 1
  vector[2] temp[3];
  real t_prime_u; // is positive
  real t_prime_v;
  real t_second;
  vector[3] alpha;
  real f_t_prime_u;
  real f_t_prime_v;
  real value;
  // sanity checks
  if (theta1 <= 1) {
    reject("theta1 must be greater than 1; found theta1 = ", theta1);
  }
  if (theta2 < 0) {
    reject("theta2 must be greater than or equal to 0; found theta2 = ", theta2);
  }
  if (theta2 > 1) {
    reject("theta2 must be smaller than or equal to 1; found theta2 = ", theta2);
  }
  // intermediate computations to b stored for efficiency
  log_uv = log(u * v);
  t = multiply(inv(log_uv), v); // log(v) * inv(log_uv);
  for(i in 1:3) {
    temp[i, 1] = pow(t, theta1 + 1 - i);
    temp[i, 2] = pow(1 - t, theta1 + 1 - i);
  }
  t_prime_u = -multiply(inv(u), v) * inv_square(log_uv); // is positive
  //t_prime_u = -log(v) * inv(u * square(log_uv)); // is positive
  t_prime_v = (multiply(inv(v), u * v) - multiply(inv(u), v)) * inv_square(log_uv); // is real;
  //t_prime_v = (inv(v) * log_uv - inv(u) * log(v)) * inv_square(log_uv); // is real
  t_second = -inv(u * v * pow(log_uv, 3)) * (log_uv - 2 * log(v)); // is real
  alpha[1] = (1 - theta1) * inv_square(theta1) * pow(theta2 * temp[1, 2] + temp[1, 1], inv(theta1) - 2);
  alpha[2] = -inv(theta1) * pow(theta2 * temp[1, 2] + temp[1, 1], inv(theta1) - 1);
  alpha[3] = -t_second * theta1 * (theta2 * temp[2, 2] - 1) + t_prime_u * t_prime_v * theta1 * (theta1 - 1) * (theta2 * temp[3, 2] + temp[3, 1]);
  f_t_prime_u = t_prime_u * theta1 * (temp[2, 1] - theta2 * temp[2, 2]);
  f_t_prime_v = t_prime_v * theta1 * (temp[2, 1] - theta2 * temp[2, 2]);

  // probability density function
  value = (1 - theta2) * t_second + alpha[1] * f_t_prime_u * f_t_prime_v + alpha[2] * alpha[3];
  if (value <= 0) {
    return negative_infinity();
  }
  else{
    return log(value);
  }
}

```