

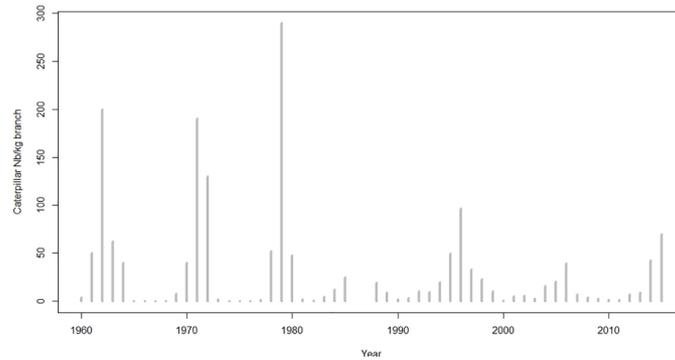
Développement de modèles génériques pour l'étude des ravageurs forestiers

Collot Dorian
Christelle Robinet

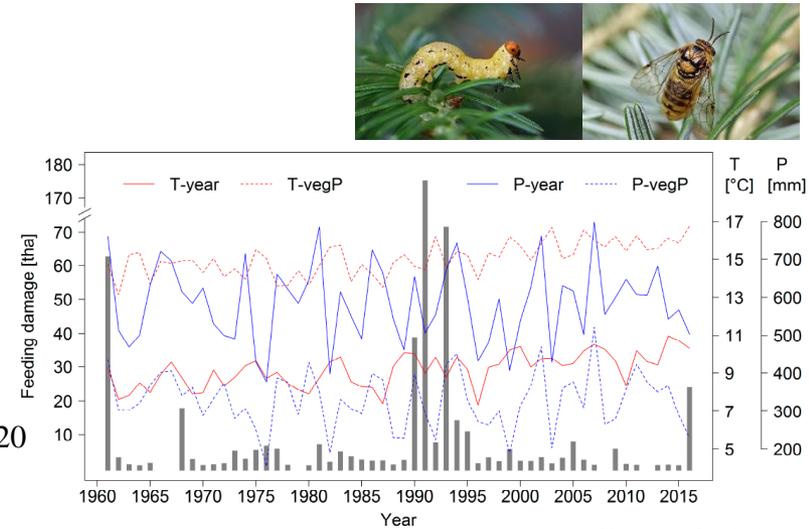
Introduction



Etat stationnaire des ravageurs



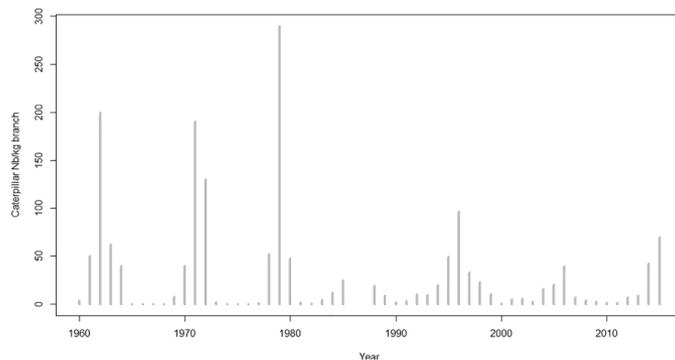
Rozenberg et al., 2020



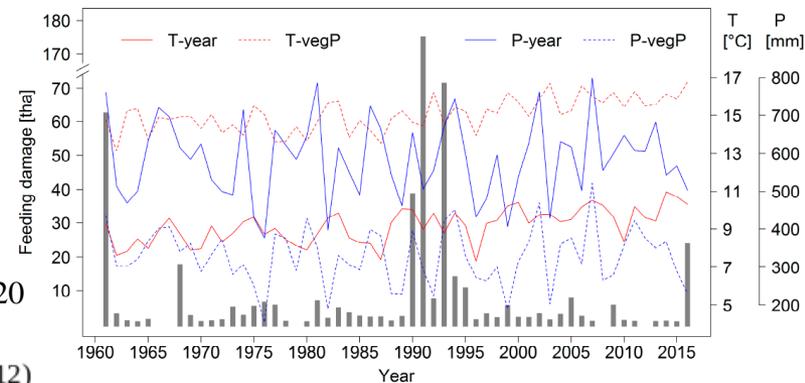
Moller et al., 2017



Modification de l'état stationnaire

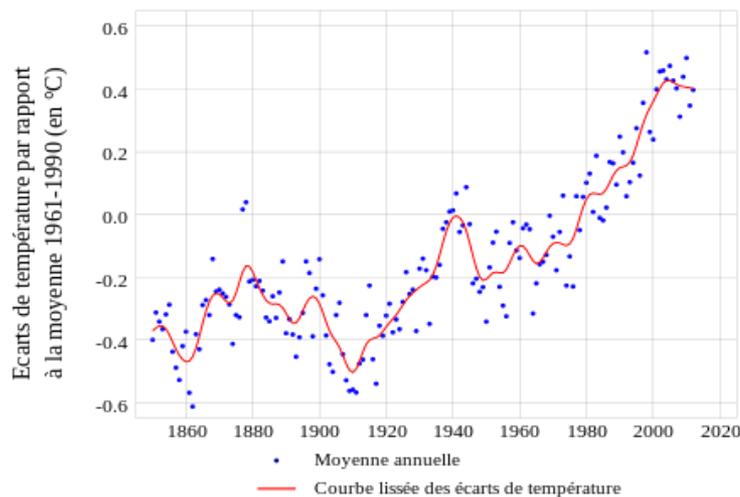


Rozenberg et al., 2020

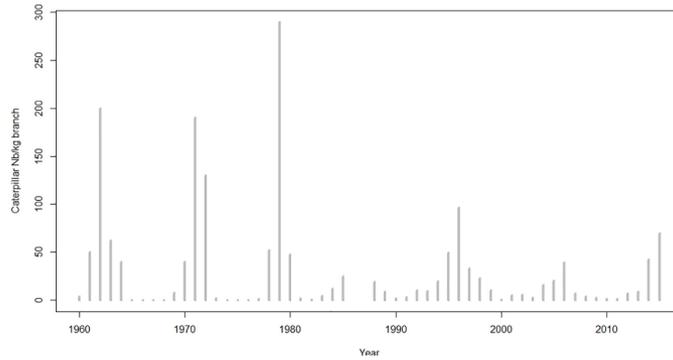


Moller et al., 2017

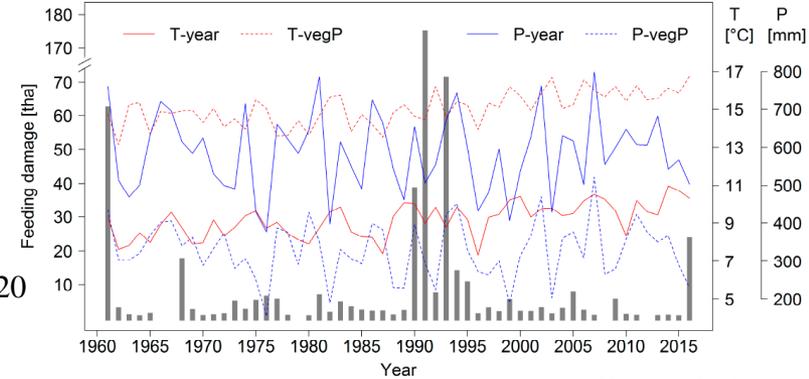
Écarts des températures globales de surface (1850-2012)



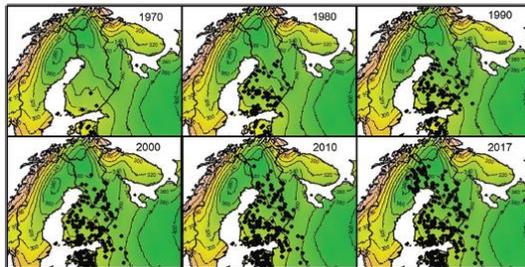
Modification de l'état stationnaire



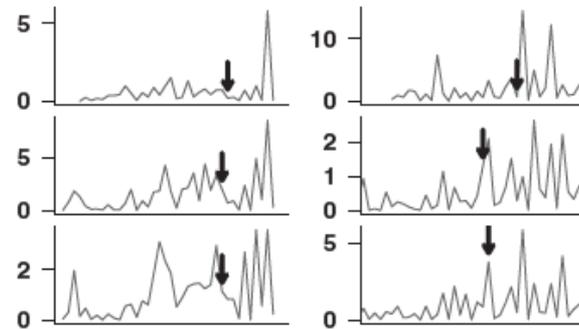
Rozenberg et al., 2020



Moller et al., 2017



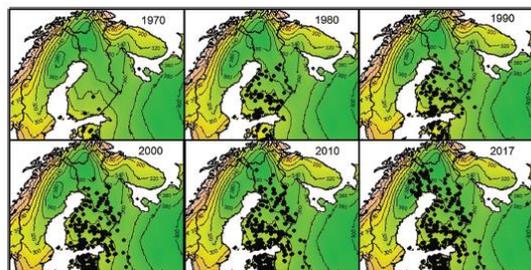
Okland et al., 2019



Estay et al., 2012

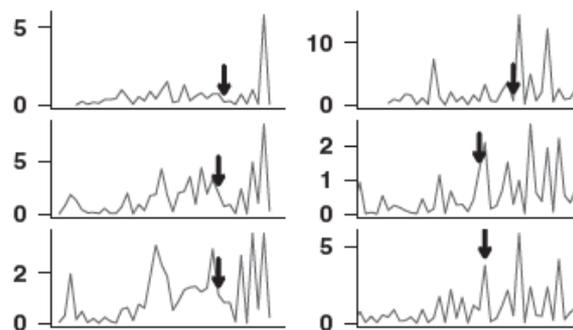


Modélisation de l'émergence de ravageurs



Okland et al., 2019

Dispersion des espèces

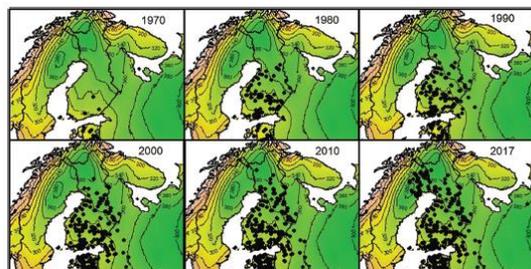


Estay et al., 2012



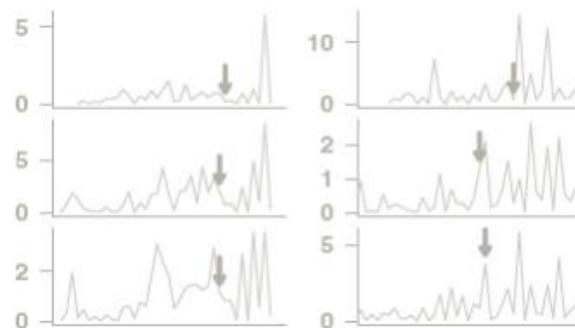
Pullulation des ravageurs

Modélisation de l'émergence de ravageurs

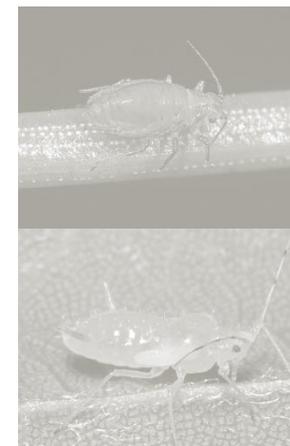


Okland et al., 2019

Dispersion des espèces

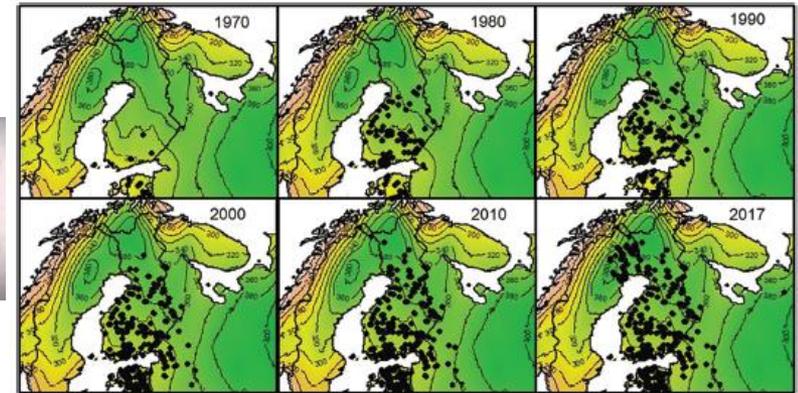
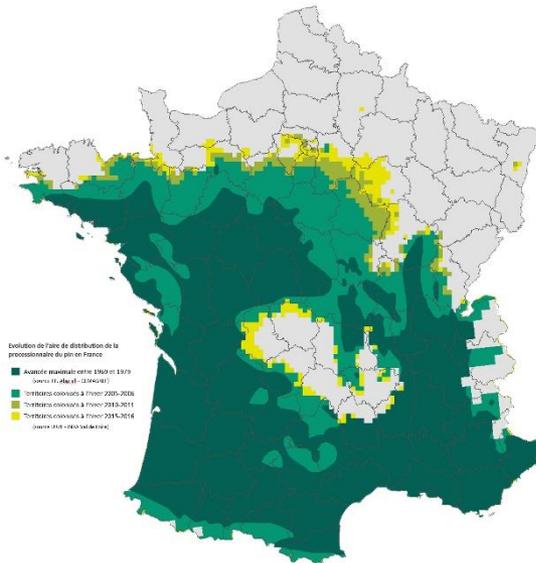


Estay et al., 2012



Pullulation des ravageurs

Dispersion des espèces

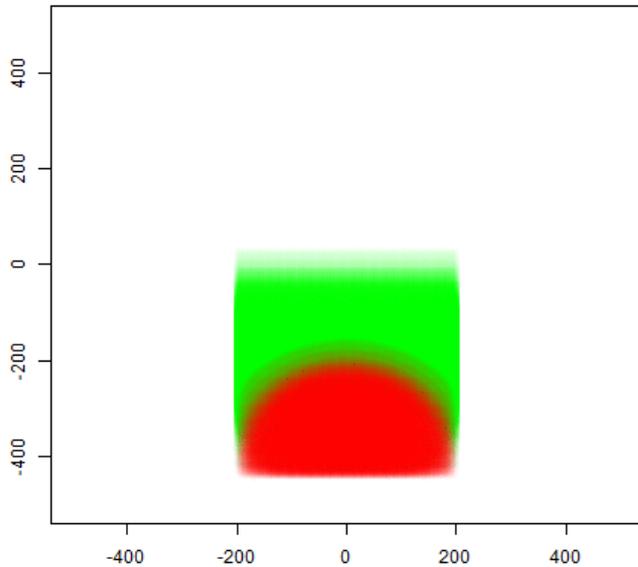


Okland et al., 2019

La dispersion dépend :

- des changements moyens de l'environnement
- des capacités de dispersion/reproduction de l'espèce

Changement aire de distribution et dispersion



$K(x,y,t)$: Aire potentielle de l'espèce (dépend du temps et de la position).

$N(x,y,t)$: la taille de la population au temps t , à la position (x,y) .

α : vitesse (de l'aire potentielle sous l'effet) du changement climatique

r : taux de croissance de la population

D : coefficient de diffusion

$$\frac{\partial K}{\partial t} = -\alpha \cdot \left(\frac{\partial K}{\partial x} + \frac{\partial K}{\partial y} \right)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = r \cdot N(x,y,t) \cdot \left(1 - \frac{N(x,y,t)}{K(x,y,t)} \right) + D \cdot \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \quad N(x,y,0) = N_{eq}(\alpha = 0)$$

Roques, Roques, Beresticky and Kretzschmar, 2008

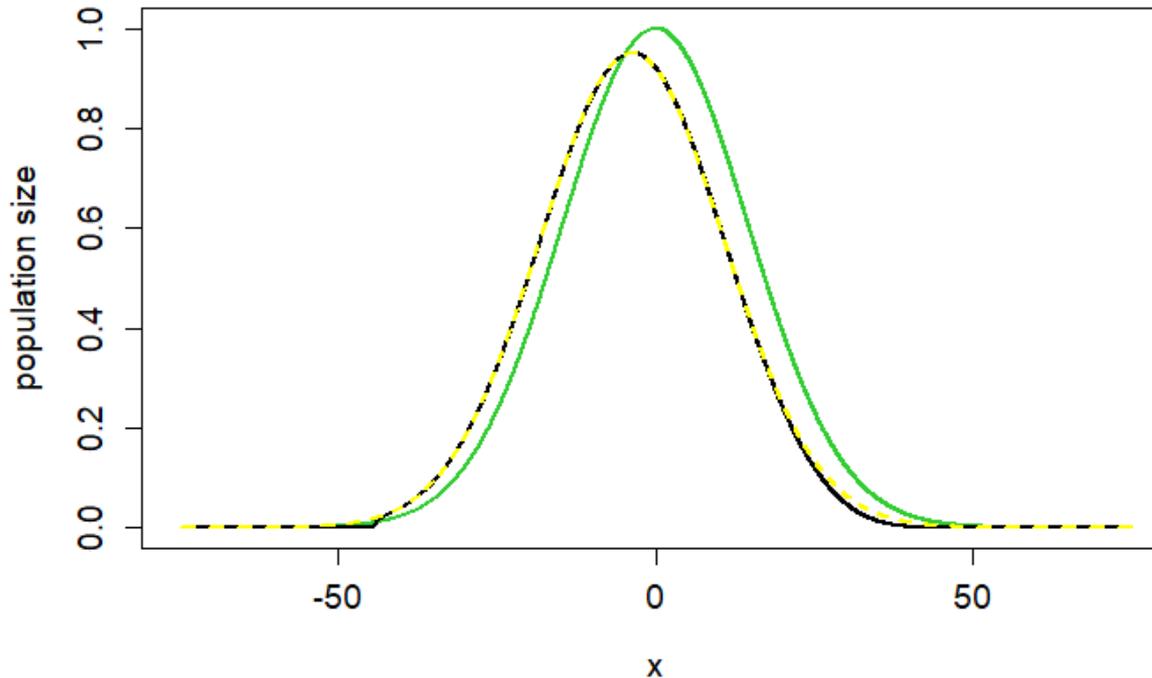
Si $K < \varepsilon, N = 0$

Effet des paramètres r et D

$$K(x, t) = \exp(-j \cdot x^2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = r \cdot N(x, t) \cdot \left(1 - \frac{N(x, t)}{K(x, t)}\right) + D \cdot \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2}\right) - \alpha \cdot \left(\frac{\partial N}{\partial x}\right)$$

Si $K < 10^{-2}, N = 0$



- Extinction : $\alpha < f(rD)$
- Ecart $\approx (\alpha / r)^m$

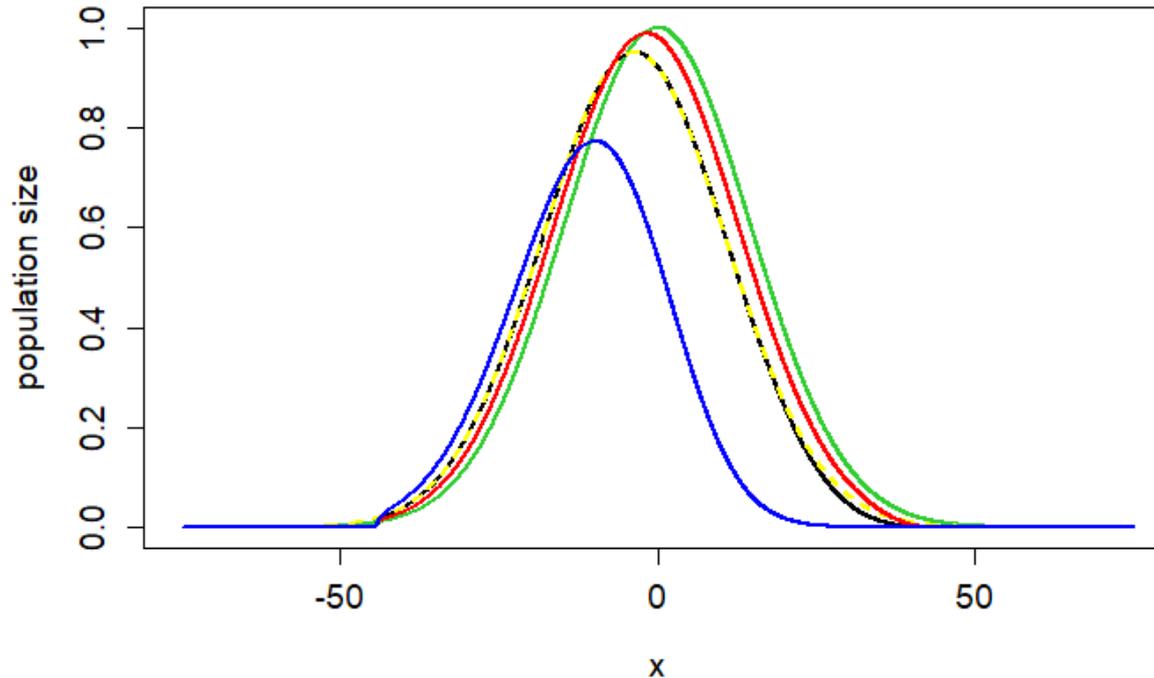
$$\frac{N_{tot}}{K_{tot}} = \gamma j + 0,5 \cdot (1 - \gamma) + 0,5 \cdot \sqrt{(1 - \gamma)^2 + 8 \left((\gamma)^2 - \left(\frac{\alpha}{r}\right)^2 \right)}$$

$$\gamma = \frac{2 \cdot D \cdot j}{r}$$

Effet des paramètres r et D

$$\frac{\partial N}{\partial t} = r \cdot N(x, t) \cdot \left(1 - \frac{N(x, t)}{K(x, t)}\right) + D \cdot \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2}\right) - \alpha \cdot \left(\frac{\partial N}{\partial x}\right)$$

Si $K < 10^{-2}, N = 0$



- Extinction : $\alpha < f(rD)$

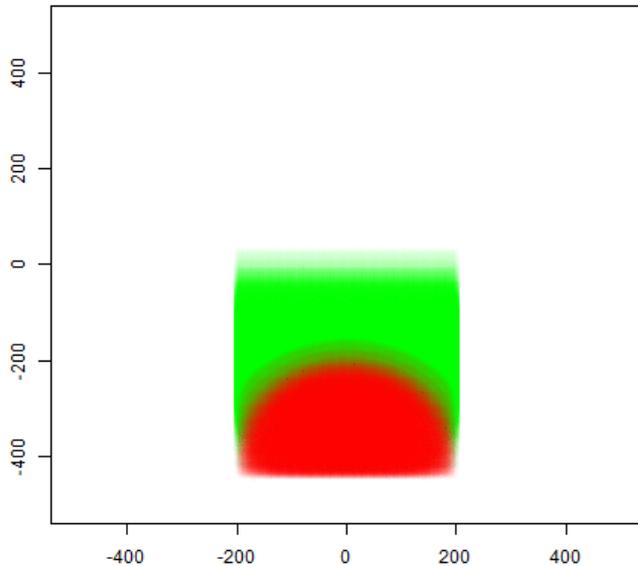
- Ecart $\approx (\alpha / r)^m$

- $\frac{N_{tot}}{K_{tot}} = \gamma j + 0,5 \cdot (1 - \gamma) +$

$$0,5 \cdot \sqrt{(1 - \gamma)^2 + 8 \left((\gamma)^2 - \left(\frac{\alpha}{r}\right)^2 \right)}$$

$$\gamma = \frac{2 \cdot D \cdot j}{r}$$

Changement aire de distribution et dispersion



$K(x,y,t)$: Aire potentielle de l'espèce (dépend du temps et de la position).

$N(x,y,t)$: la taille de la population au temps t , à la position (x,y) .

α : vitesse (de l'aire potentielle sous l'effet) du changement climatique

r : taux de croissance de la population

D : coefficient de diffusion

$$\frac{\partial K}{\partial t} = -\alpha \cdot \left(\frac{\partial K}{\partial x} + \frac{\partial K}{\partial y} \right)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = r \cdot N(x,y,t) \cdot \left(1 - \frac{N(x,y,t)}{K(x,y,t)} \right) + D \cdot \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \quad N(x,y,0) = N_{eq}(\alpha = 0)$$

Roques, Roques, Beresticky and Kretzschmar, 2008

Si $K < \varepsilon, N = 0$

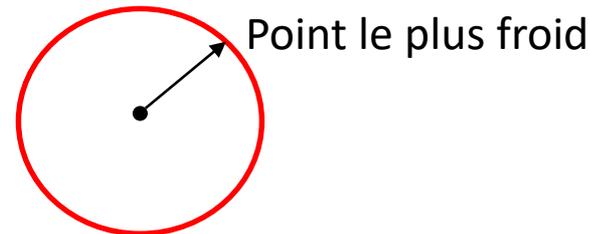
Quelle est la direction de la vitesse α ?

Les régions qui auparavant étaient trop froides se réchauffent et deviennent habitables pour l'espèce. Les régions tempérées deviennent trop chaudes et l'espèce ne peut plus y vivre. Les espèces se déplacent des régions chaudes vers les régions froides.

Quelle est la direction de la vitesse α ?

Les régions qui auparavant était trop froides se réchauffent et deviennent habitables pour l'espèce. Les régions tempérées deviennent trop chaudes et l'espèce ne peut plus y vivre. Les espèces se déplacent des régions chaudes vers les régions froides.

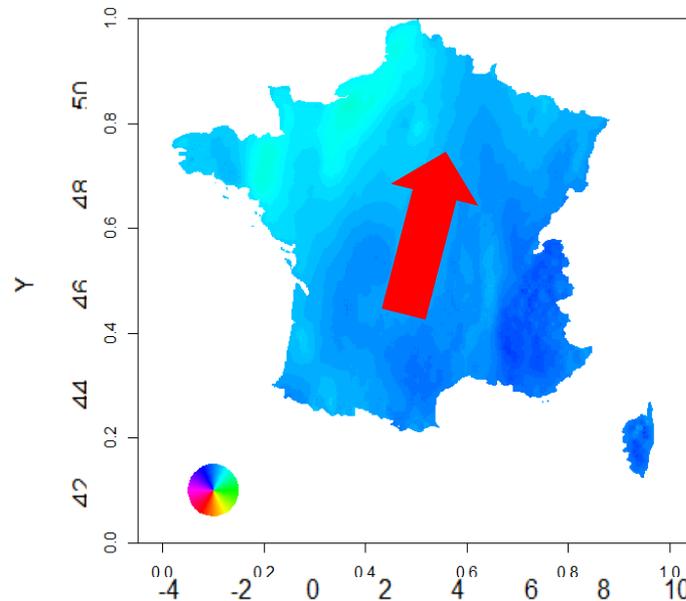
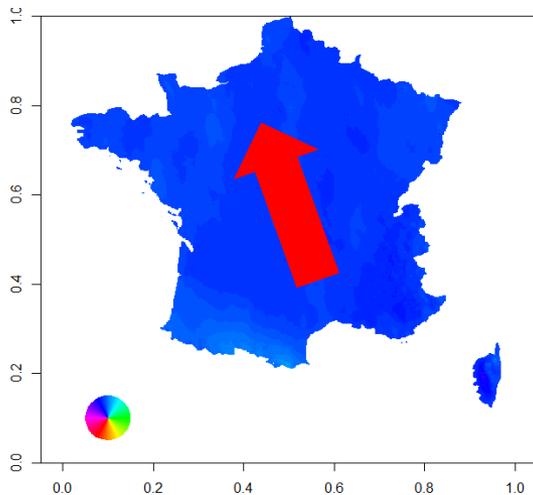
Le sens de la dispersion est corrélé au gradient spatiale de température



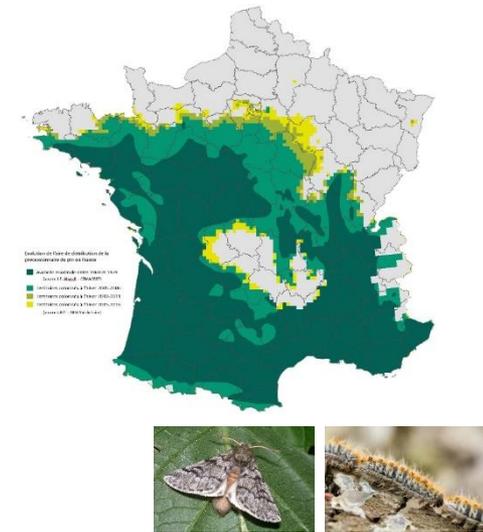
Quelle est la direction de la vitesse α ?

Les régions qui auparavant était trop froides se réchauffent et deviennent habitables pour l'espèce. Les régions tempérées deviennent trop chaudes et l'espèce ne peut plus y vivre. Les espèces se déplacent des régions chaudes vers les régions froides.

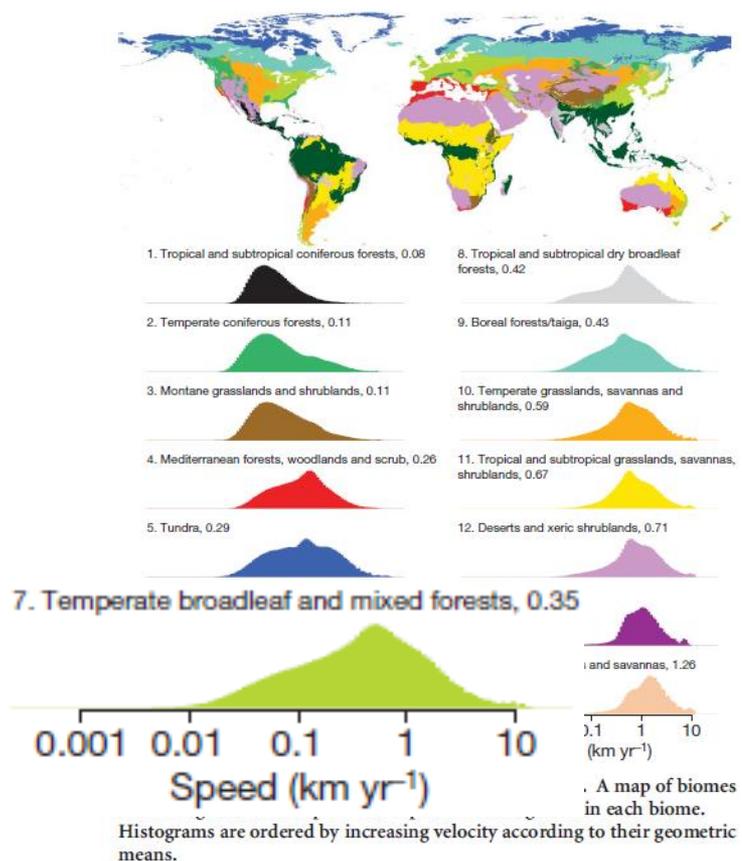
Le sens de la dispersion est corrélé au gradient spatiale de température



Correction de l'effet du relief

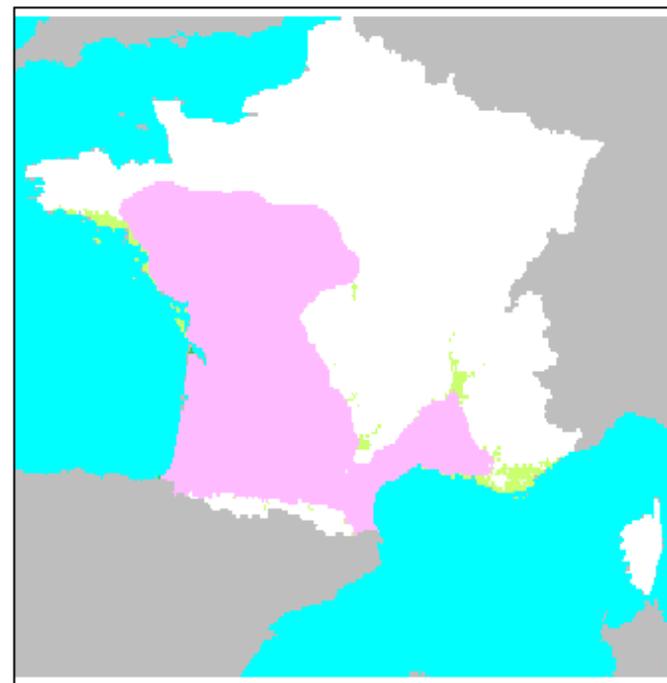


Quelle est l'intensité de la vitesse α ?



Loarie et al, 2009

2001-2001



Modèle de dispersion : conclusion

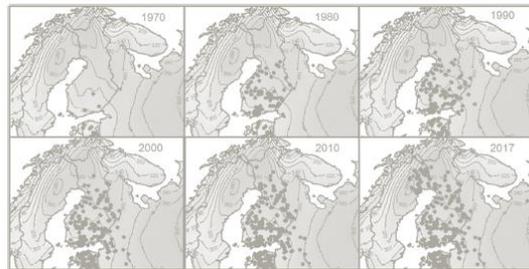
On a construit un modèle qui permet de prédire les changements d'aire de répartition des espèces en fonction du changement climatique.

Ce modèle est :

- générique
- rapide à simuler

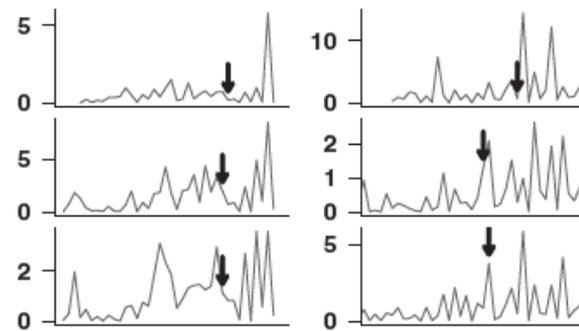
Mais donne des informations, notamment sur les “obstacles” que peut rencontrer l'espèces.

Modélisation de l'émergence de ravageurs



Okland et al., 2019

Dispersion des espèces



Estay et al., 2012

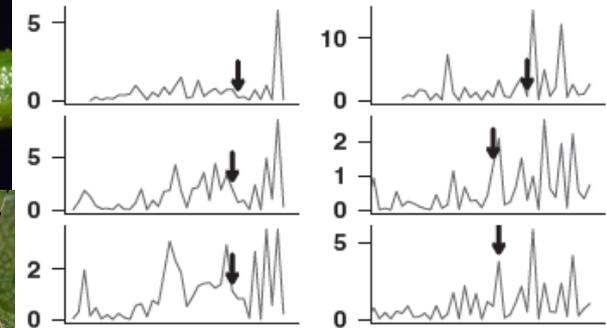
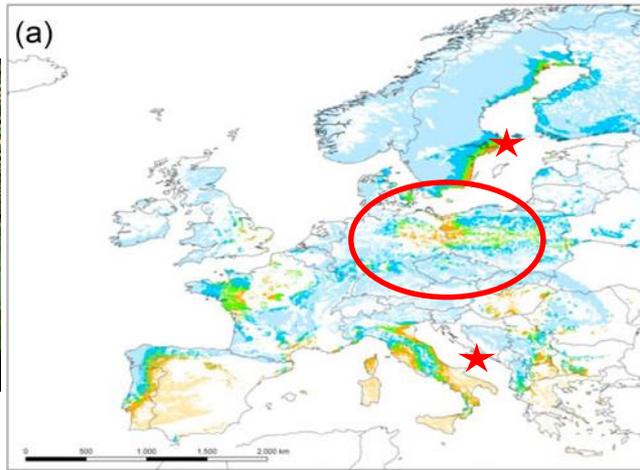


Pullulation des ravageurs

Pullulations une année donnée sur un site donné



Ray et al., 2016



Estay et al., 2012

Contraintes sur le modèle :

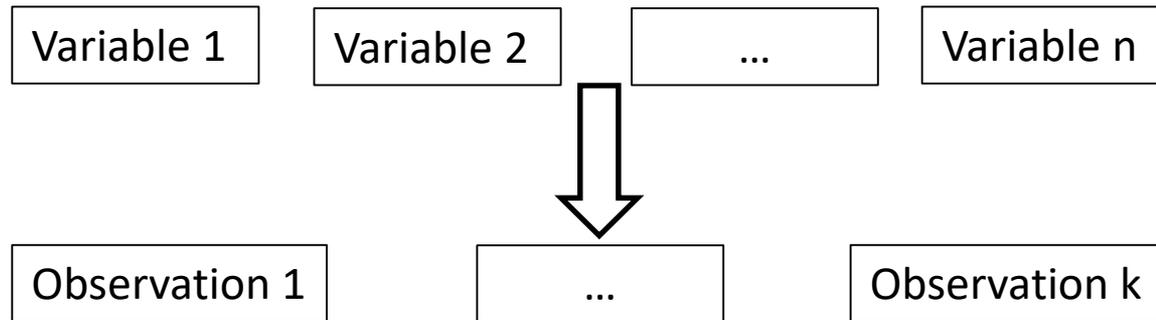
- Multiple facteurs.
- Applicable à beaucoup d'espèces => 4 ordres
- Facile à interpréter et à modifier.

Détermination des facteurs de pullulations

$$P(\text{pullulation}) = f(\text{Météo}, \text{Biotique}, \text{Topographie}, \text{Année passée})$$

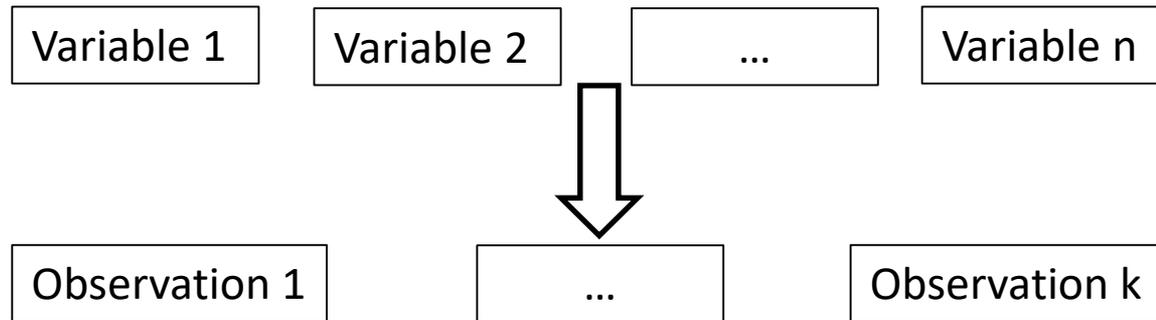
Météo (par saison /deux années)	hôte	topographie	Année passée
Température moyenne	Présence conifère	Orientation	Outbreak sites adjacents
Somme des précipitations	Présence feuillu	Altitude	Outbreak sur le site
Index de <i>de Martonne</i> $\left(\frac{P}{T+10}\right)$	Densité d'hôte	Type de Sol	Cyclicité
Température minimale	(% mélange)	Volume de bois mort	

Construction du modèle



Etape 1 : Sélection des variables en fonction de l'espèce choisie

Construction du modèle



Etape 1 : Sélection des variables en fonction de l'espèce choisie

Soubeyrand et al, 2009

- $T^{\circ} < -36^{\circ}\text{C}$ létale
- % de lac
- % de pin

De Someviele et al, 2004

- arbre mature
- Sol drainé

Holusa et al, 2017

- Pente

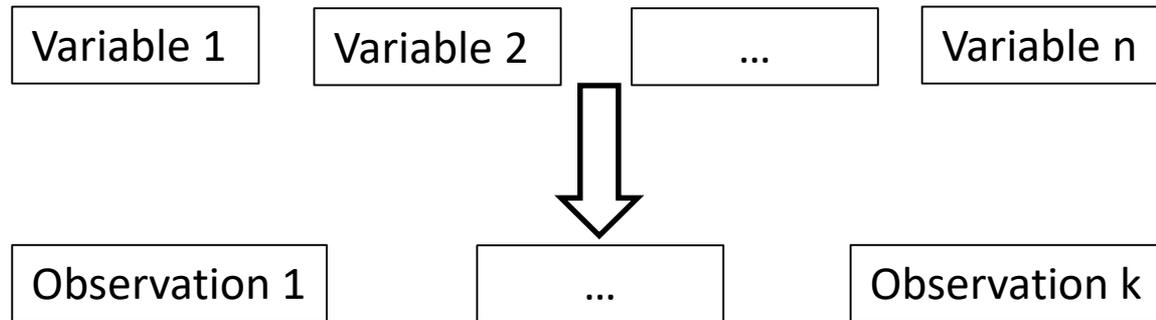
Geri et Goussard, 1984

- Pin sylvestre > P. noir > P. maritime

Moller et al, 2017

- Somme des T° minimales du 3 au 13 août ($< 95^{\circ}\text{C}$)
- Somme des précipitations du 7 au 17 avril
- Ecart type des T° moyennes par jour de l'année précédente ($< 7,5^{\circ}\text{C}$)
- Evapotranspiration moyenne du 3 au 20 août de l'année précédente (> 42)

Construction du modèle



Etape 1 : Sélection des variables en fonction de l'espèce choisie

Soubeyrand et al, 2009

- $T^{\circ} < -36^{\circ}\text{C}$ létale

~~% de lac~~

- % de pin

De Someviele et al, 2004

~~- arbre mature~~

- Sol drainé

Holusa et al, 2017

- Pente

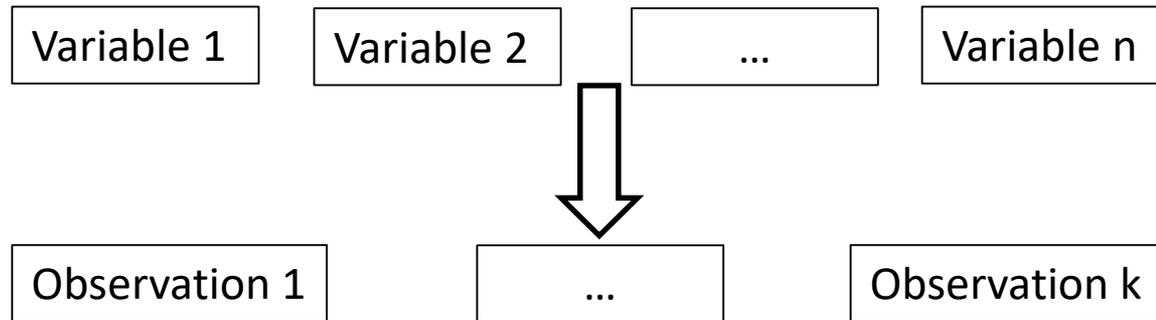
Geri et Goussard, 1984

~~Pin sylvestre > P. noir > P. maritime~~

Moller et al, 2017

- Somme des T° minimales du 3 au 13 août ($< 95^{\circ}\text{C}$)
- Somme des précipitations du 7 au 17 avril
- ~~Ecart type des T° moyennes par jour de l'année précédente ($< 7,5^{\circ}\text{C}$)~~
- Evapotranspiration moyenne du 3 au 20 août de l'année précédente (> 42)

Construction du modèle



Etape 1 : Sélection des variables en fonction de l'espèce choisie

Soubeyrand et al, 2009

- T° minimale

~~- % de lac~~

- % de pin

De Someviele et al, 2004

~~- arbre mature~~

- Sol drainé

Holusa et al, 2017

- Pente

Geri et Goussard, 1984

~~- Pin sylvestre > P. noir > P. maritime~~

Moller et al, 2017

- T° moyenne en été

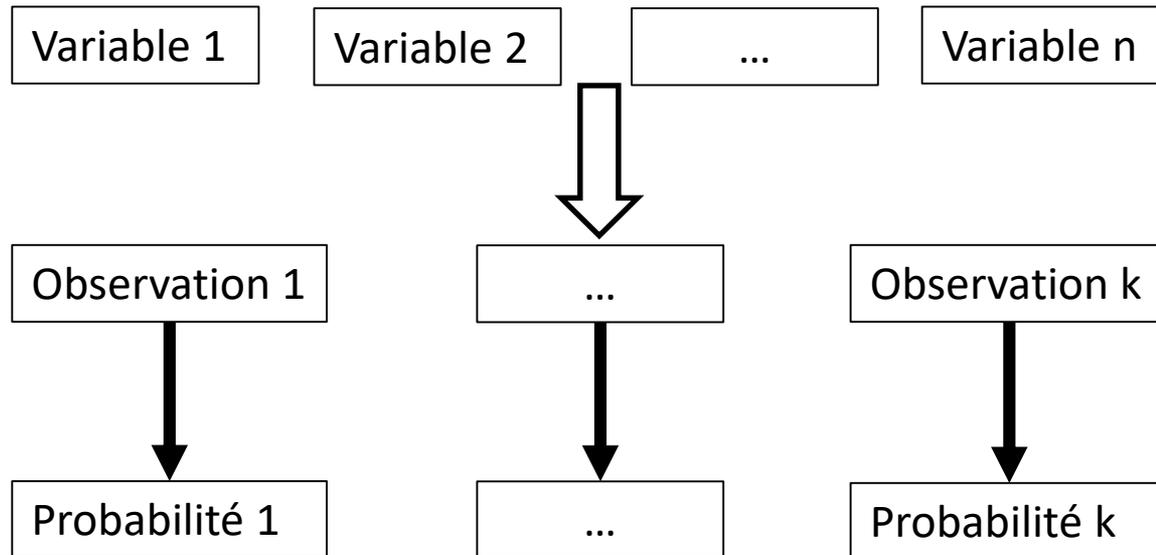
- Somme des précipitations au printemps

~~- Ecart type des T° moyennes par jour de l'année~~

~~précédente (< 7,5°C)~~

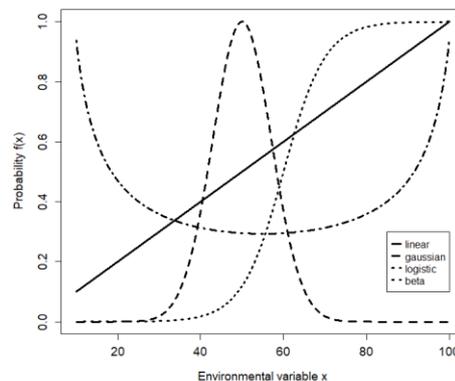
- Indice de de Martonne en été

Construction du modèle



Etape 1 : Sélection des variables en fonction de l'espèce choisie

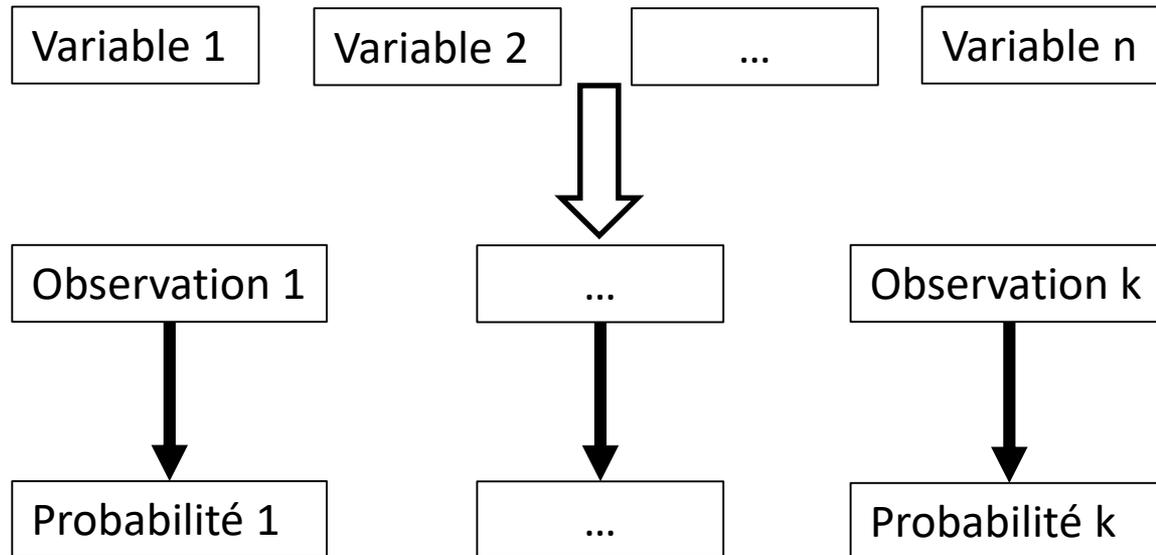
Etape 2 : Calcul d'une probabilité pour chaque observation



Littérature:

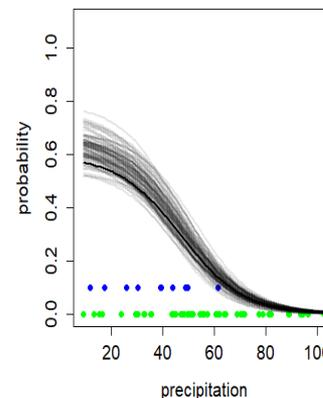
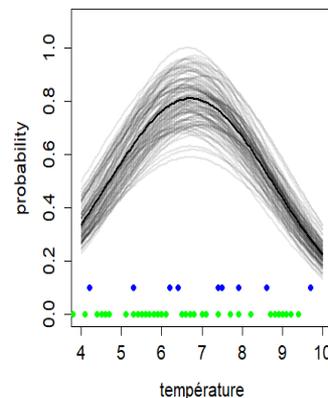
- $T^{\circ} < -36^{\circ}\text{C}$ létale
- T° optimales de développement...

Construction du modèle



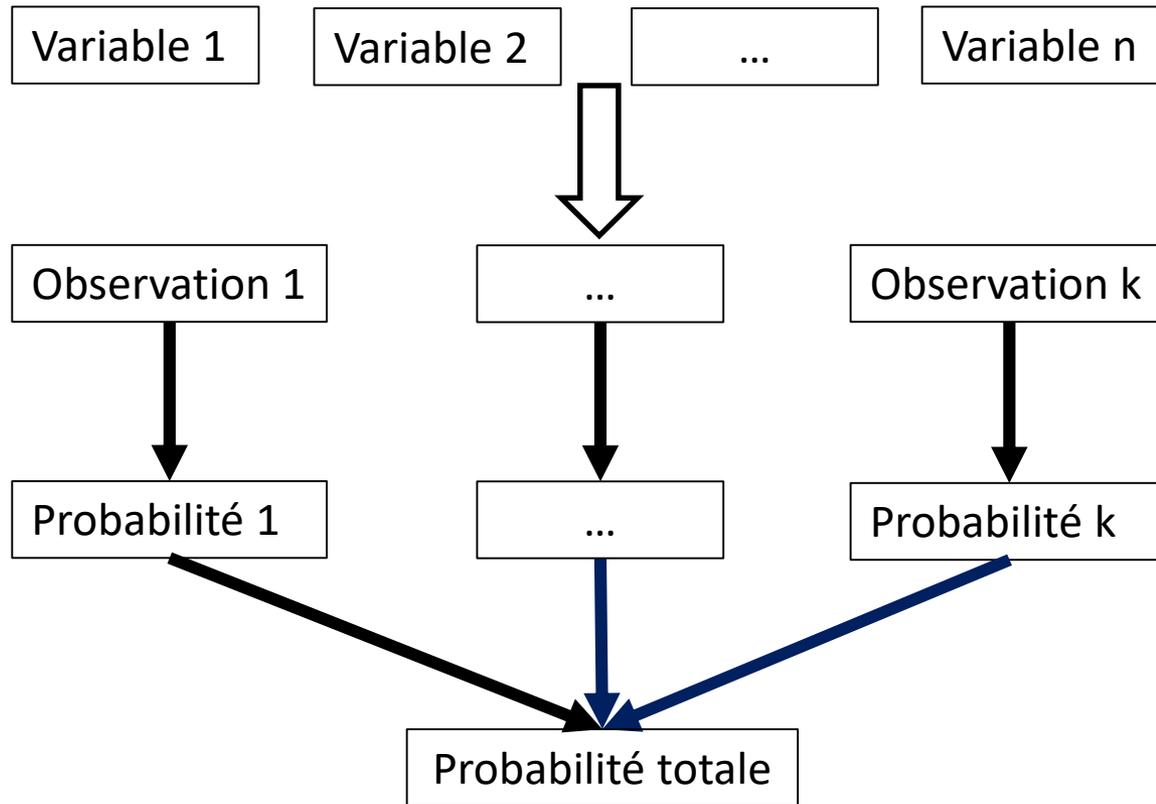
Etape 1 : Sélection des variables en fonction de l'espèce choisie

Etape 2 : Calcul d'une probabilité pour chaque observation



*Données du DSF
et de la littérature*

Construction du modèle



Etape 1 : Sélection des variables en fonction de l'espèce choisie

Etape 2 : Calcul d'une probabilité pour chaque observation

Etape 3 : « Fusion » des probabilités pour obtenir la probabilité totale

Moyenne géométrique : $Probabilité\ totale = \sqrt[k]{\prod_{i=1}^k probabilité(observation_i)}$

Application

Etape 3

http://127.0.0.1:5847/ Open in Browser Publish

ET ou OU ou MEAN ou MIN
MEAN

taille de la grille
20 200

Variable 1
chablis

type
 gauss
 linear
 logistic
 beta

min 0 max 1 p_max 0.99

a 0.13 b 0.08

Variable 2
orientation

type
 gauss
 linear
 logistic
 beta

min 0 max 3.14 p_max 1

a -0.2 b 0.31

Variable 3
densité hote conif

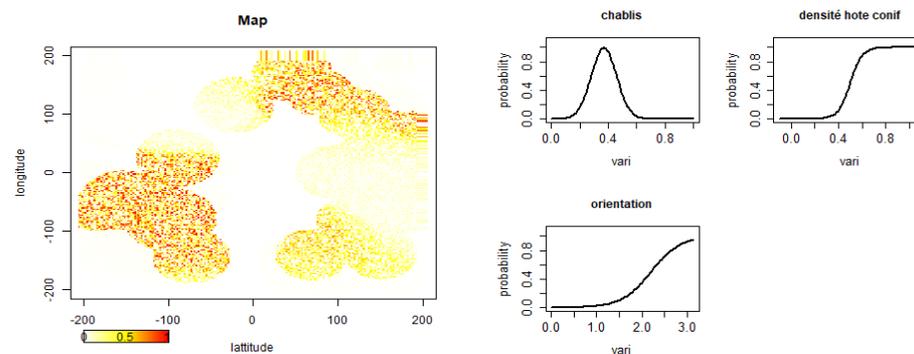
type
 gauss
 linear
 logistic
 beta

min -0.1 max 1.1 p_max 1

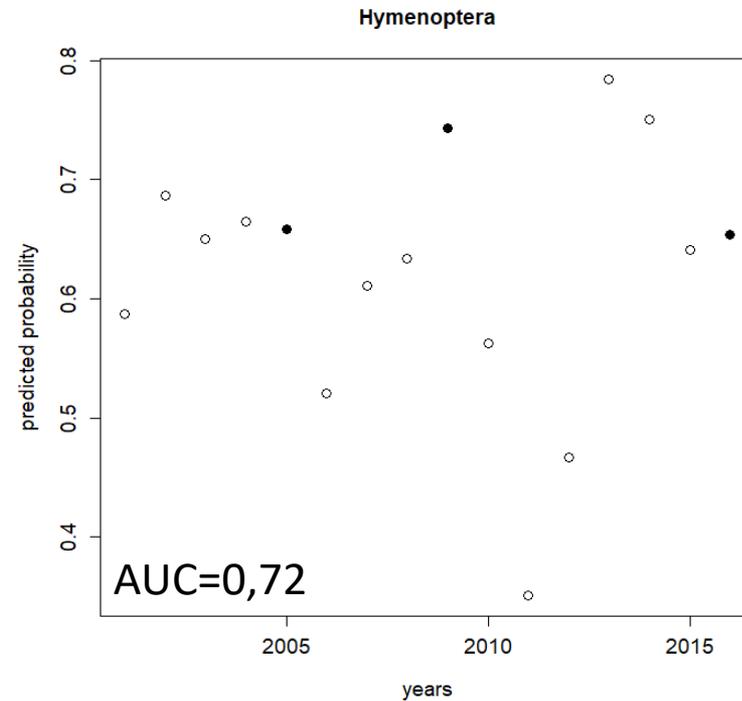
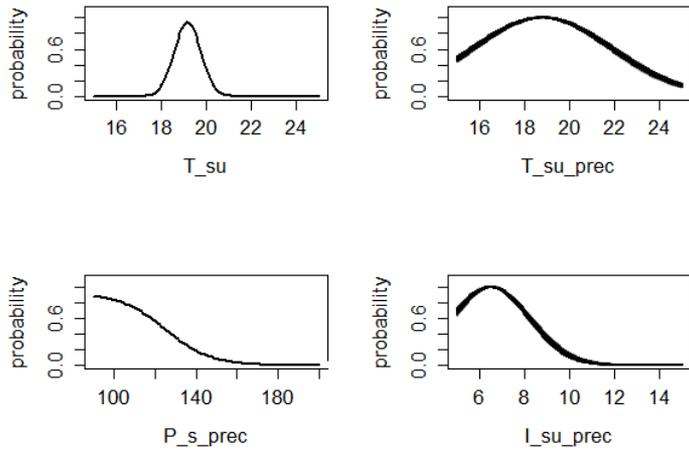
a 0 b 2

Etape 1

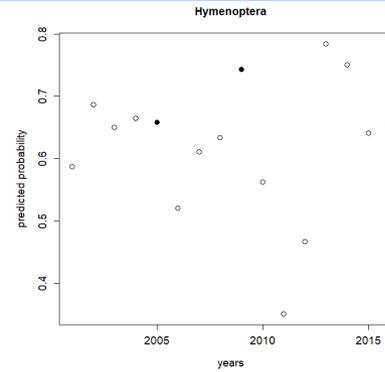
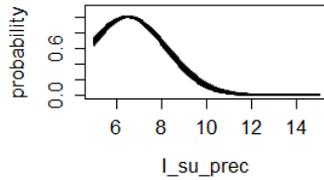
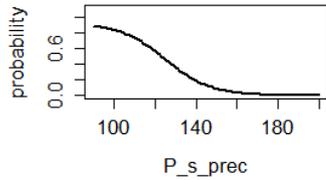
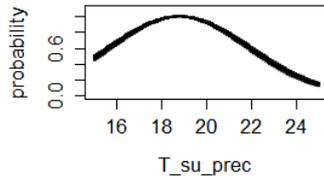
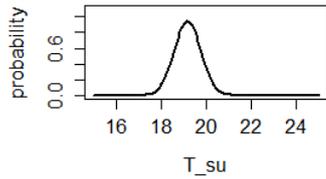
Etape 2



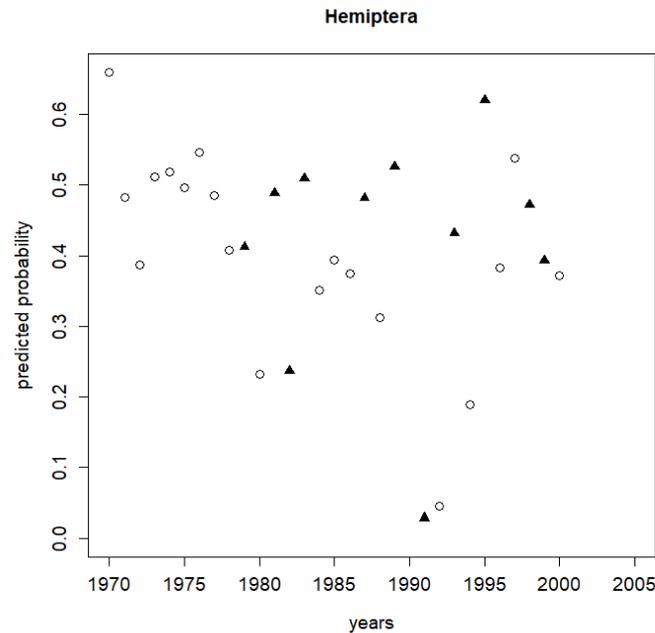
Exemple



Exemple



AUC=0,72



AUC=0,56

Modèle de pullulation : conclusion

On a construit un modèle qui permet de prédire les pullulations en se basant sur les conditions locales. (article en préparation)

Il est possible d'ajouter des variables assez simplement.

Le modèle est paramétré pour des profils d'espèces afin de rester générique => relier aux traits des espèces.

Par exemple, le pourcentage de mélange des essences affecte plutôt les espèces spécialistes.

Application

Etape 3

http://127.0.0.1:5847/ Open in Browser Publish

ET ou OU ou MEAN ou MIN
MEAN

taille de la grille
20 200

Variable 1
chablis

type
 gauss
 linear
 logistic
 beta

min 0 max 1 p_max 0.99

a 0.13 b 0.08

Variable 2
orientation

type
 gauss
 linear
 logistic
 beta

min 0 max 3.14 p_max 1

a -0.2 b 0.31

Variable 3
densité hote conif

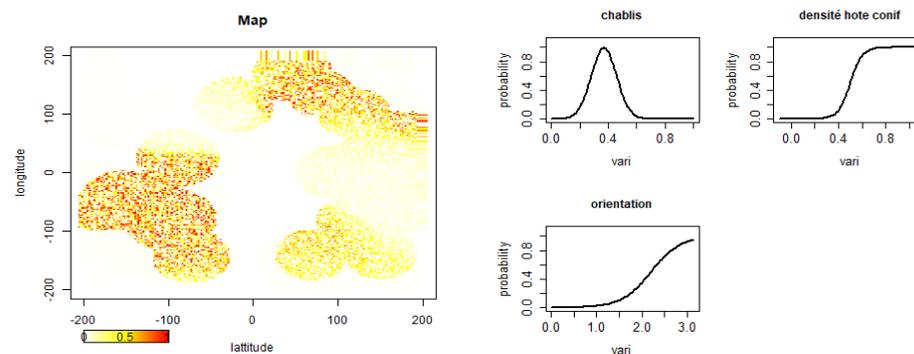
type
 gauss
 linear
 logistic
 beta

min -0.1 max 1.1 p_max 1

a 0 b 2

Etape 1

Etape 2



Conclusion

On a construit un premier modèle qui permet de prédire les pullulations en se basant sur les conditions locales, utile pour la gestion.

Le second modèle permet de prédire les changements d'aires de répartition en prenant en compte à la fois les changements de l'environnement et la dynamique de la population.

URZF :

Christelle Robinet

Jérôme Rousselet

Alain Roques

Mathieu Laparie

Wageningen :

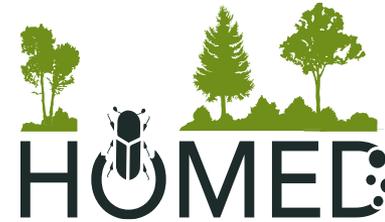
Bob Douma

Université de Padoue :

Andrea Battisti

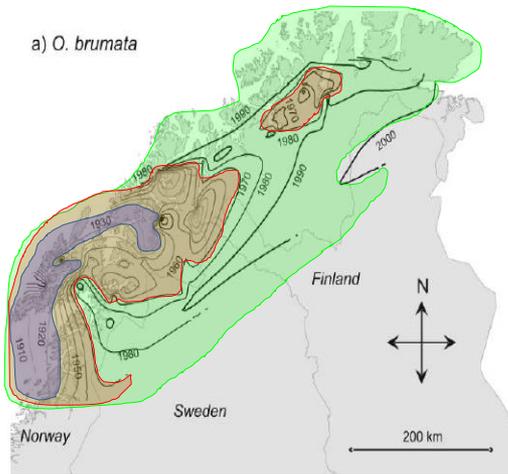
Département Santé Forêt :

François-Xavier Saintonge

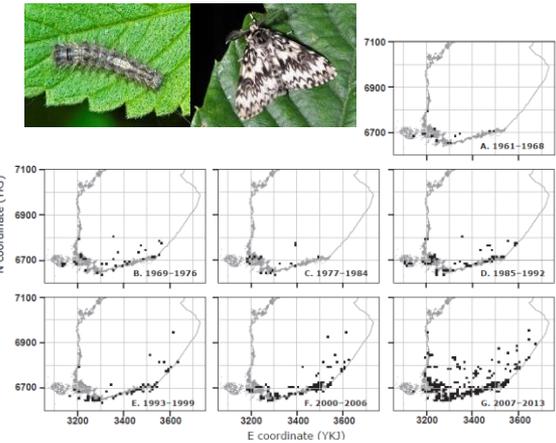
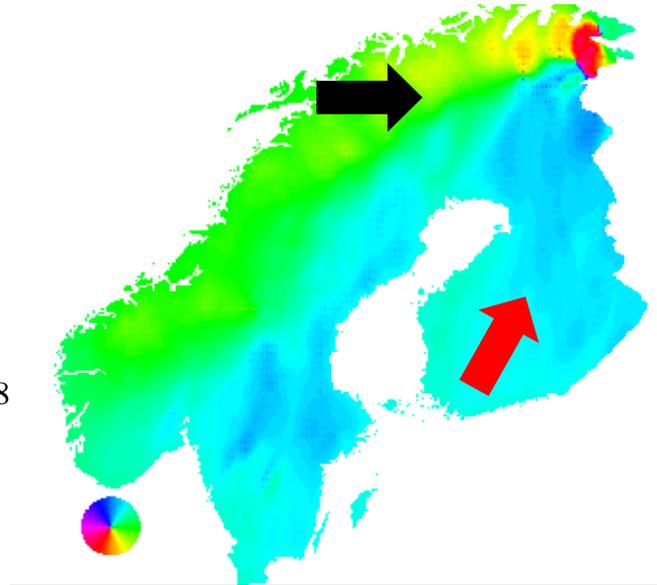


Merci de votre attention

Quelle est la direction de la vitesse α ?



Jepsen et al., 2008



Falt-Nardmann et al., 2018