

A large, stylized white graphic on the left side of the slide, consisting of three concentric, open-ended arcs that form a partial 'C' shape.

Des données et des modèles pour comprendre la chalarose

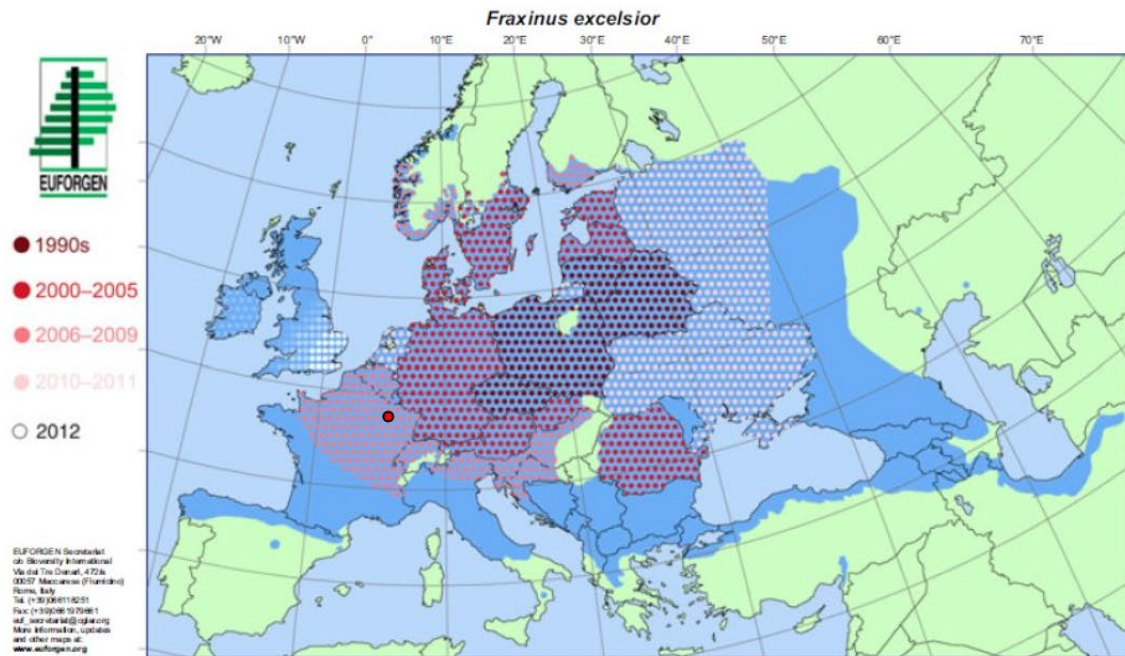
Coralie FRITSCH – INRIA, IECL

En collaboration avec

- Anne-Gégout Petit (Inria, IECL)
- Benoît Marçais (INRAE)
- Marie Grosdidier (INRAE)

La chalarose, une maladie fongique qui affecte les frênes

- ▶ émerge en Pologne en 1990
- ▶ 2008 en France
- ▶ invasion rapide et massive



This distribution map, showing the natural distribution area of *Fraxinus excelsior*, was compiled by members of the EUFORGEN Networks

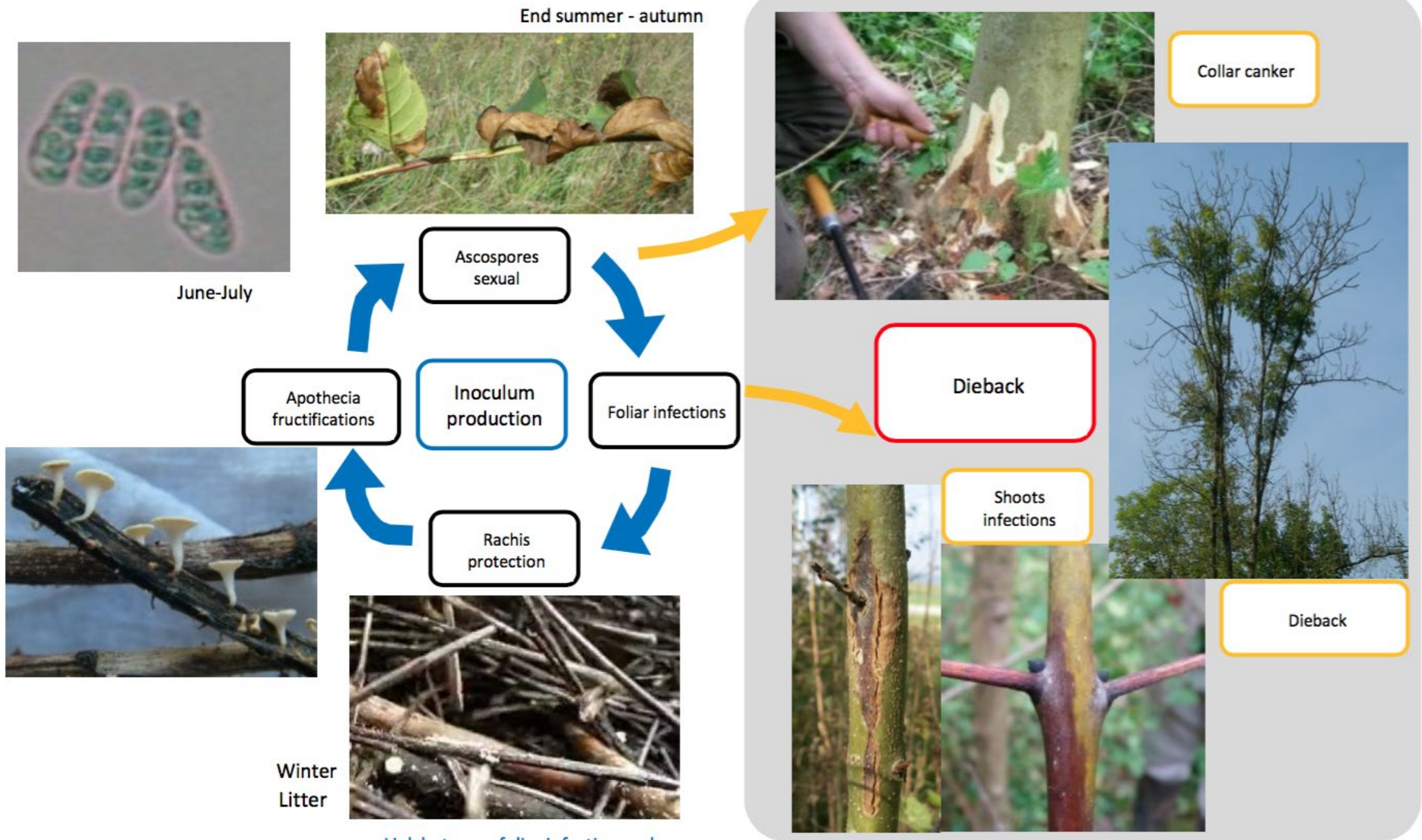
Citation: Distribution map of Common ash (*Fraxinus excelsior*) EUFORGEN 2009, www.euforgen.org.

First published online in 2003 - Updated on 30 July 2008



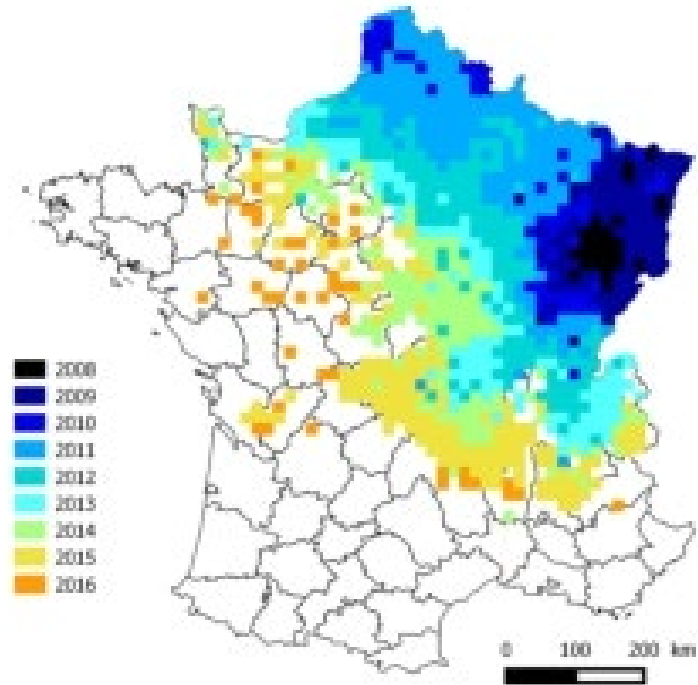
McKinney et al., 2014

Cycle de la maladie



Link between foliar infection and inoculum production

Des données et des modèles pour répondre à des questions biologiques



1 donnée = % de Frênes infectés parmi 30 Frênes observés dans un quadrat
~ 500 données / an

- ▶ modèle pour l'infection des rachis
- ▶ modèle pour le développement des symptômes
- ▶ modèle pour la loi des observations



Estimation des paramètres pour répondre à :

- ▶ quelles données climatiques impactent la chalarose ?
- ▶ vitesse de propagation
- ▶ par où la chalarose a atteint les Pyrénées ?
- ▶ ...

Le modèle

Modèle de réaction-diffusion pour la dynamique des rachis infectés

$$\nu_a(x) = \begin{cases} (\beta_0 + \beta_1 h_a(x)) R_a(x) & \text{if } R_a(x) \geq r \\ (\beta_0 + \beta_1 h_a(x)) \frac{R_a(x)^2}{r d(x)} & \text{if } R_a(x) < r \end{cases}$$

production de spores
dispersion des spores
infection des feuilles
infection de rachis

$$\frac{\partial w_a(t, x)}{\partial t} = D \Delta w_a(t, x) + \frac{\nu_a(x)}{\tau}$$

$$\chi_a = (w_a(\tau, x) \wedge S) d(x)$$

$$R_{a+1}(x) = \chi_a(x) + \chi_{a-1}(x)$$

Observations : $N_a^i p_a^i \sim \text{Bin}(N_a^i, q_a^i)$

avec $N_a^i = \text{Nb arbres observés}$, $p_a^i = \%$ arbres malades parmi ceux observés

où $q_{a+1}^i = C_{\text{pers}} q_a^i + \tilde{q}_{a+1}^i (1 - C_{\text{pers}} q_a^i)$, $\tilde{q}_{a+1}^i = \frac{\chi_a^{if}(T_a^i)}{r_S d(i)} \wedge 1$

10 Paramètres à estimer : $D, \beta_0, \beta_1, r, S, C_{\text{init}}, r_S, \gamma, \kappa, C_{\text{pers}}$

Le modèle

Modèle de réaction-diffusion pour la dynamique des rachis infectés

$$\nu_a(x) = \begin{cases} (\beta_0 + \beta_1 h_a(x)) R_a(x) & \text{if } R_a(x) \geq r \\ (\beta_0 + \beta_1 h_a(x)) \frac{R_a(x)^2}{r d(x)} & \text{if } R_a(x) < r \end{cases}$$

production de spores
dispersion des spores
infection des feuilles
infection de rachis

$$\frac{\partial w_a(t, x)}{\partial t} = D \Delta w_a(t, x) + \frac{\nu_a(x)}{\tau}$$

$$\chi_a = (w_a(\tau, x) \wedge S) d(x)$$

$$R_{a+1}(x) = \chi_a(x) + \chi_{a-1}(x)$$

r : effet Allee

$h_a(x)$: pluviométrie

T_a^i : température

C_{pers} : proba. persistance symptômes

Observations : $N_a^i p_a^i \sim \text{Bin}(N_a^i, q_a^i)$

avec N_a^i = Nb arbres observés, p_a^i = % arbres malades parmi ceux observés

où $q_{a+1}^i = C_{\text{pers}} q_a^i + \tilde{q}_{a+1}^i (1 - C_{\text{pers}} q_a^i)$, $\tilde{q}_{a+1}^i = \frac{\chi_a^i f(T_a^i)}{r_S d(i)} \wedge 1$

10 Paramètres à estimer : $D, \beta_0, \beta_1, r, S, C_{\text{init}}, r_S, \gamma, \kappa, C_{\text{pers}}$

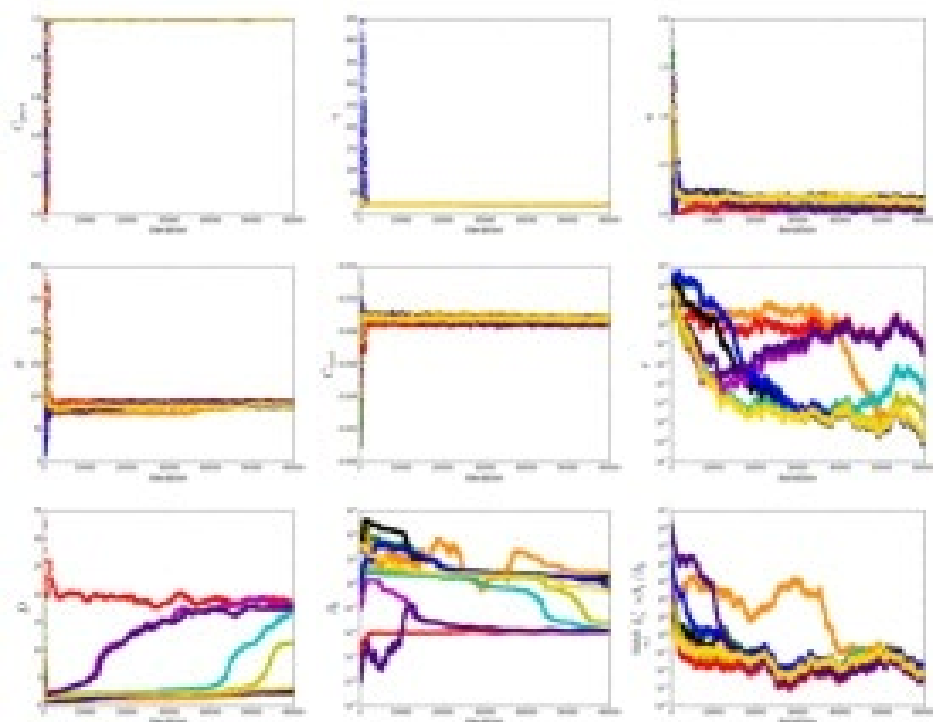
Réduction de modèle et premières estimations grossières

Modèle non identifiable :

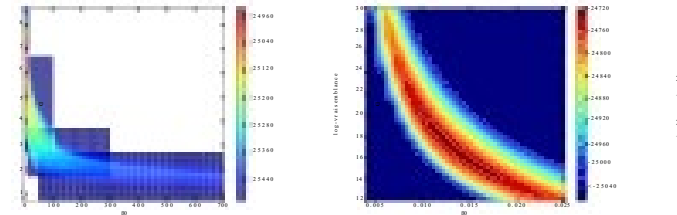
- ▶ $r_S = 1000 \rightarrow$ on fixe l'unité de mesure des rachis infectés

Première estimation statistique grossière :

- ▶ $C_{pers} = 1 \rightarrow$ les frênes ne guérissent pas de leurs symptômes
- ▶ $\beta_1 = 0 \rightarrow$ l'hétérogénéité de la pluviométrie a un impact négligeable
- ▶ $r \approx 0 \rightarrow$ l'effet Allee est négligeable



Vraisemblance sur une grille grossière

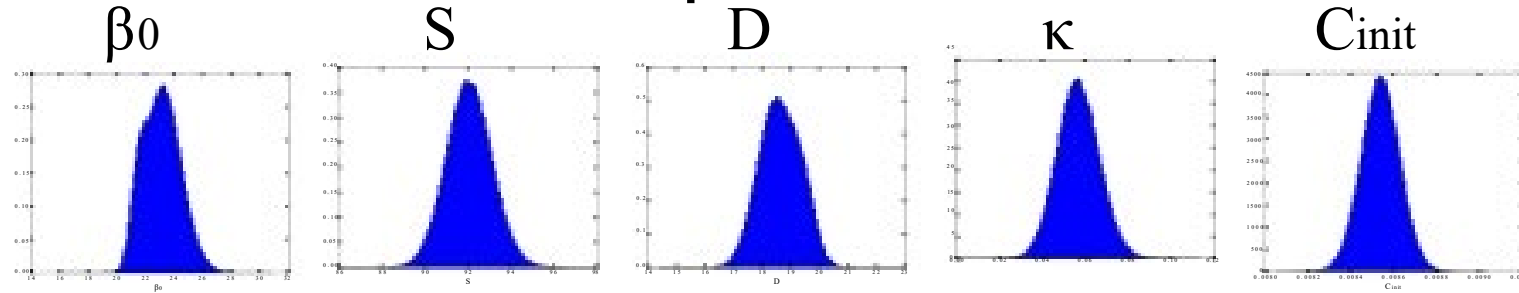


Première estimation de $\beta_0, D, \gamma, \kappa, S, C_{init}$

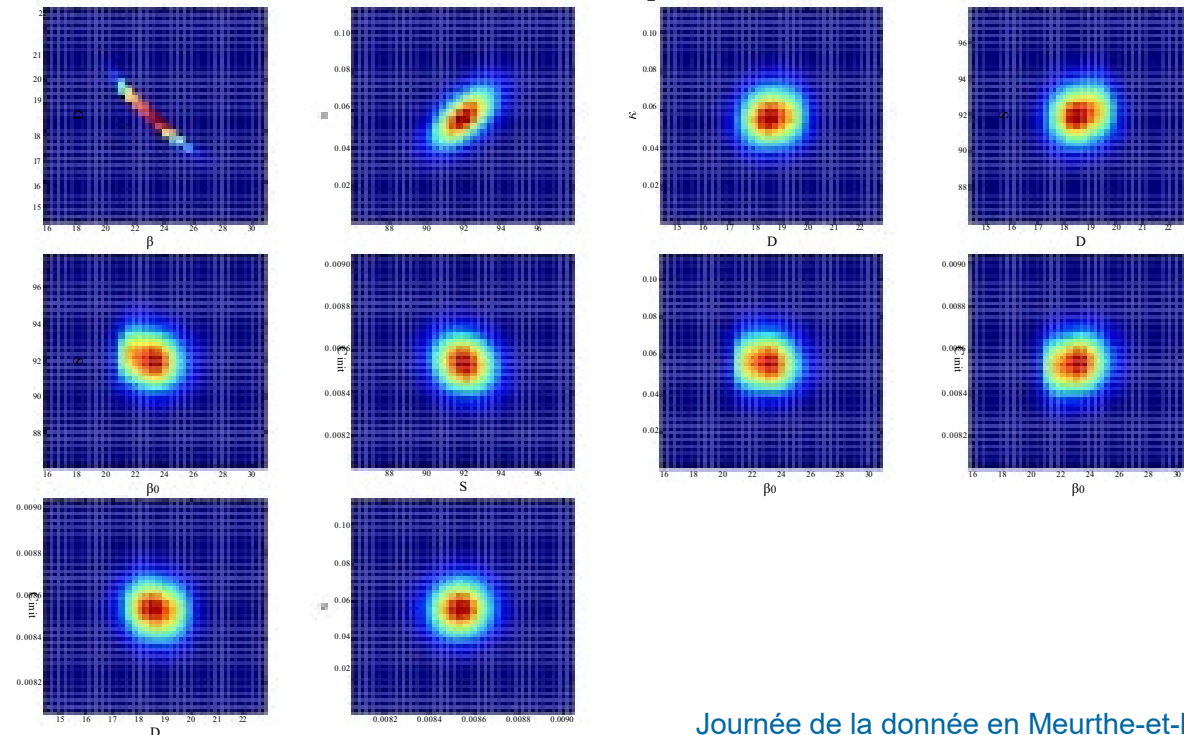
Lois a posteriori

obtenues par un “Adaptive Multiple Importance Sampling Algorithm”

Lois unidimensionnelles a posteriori



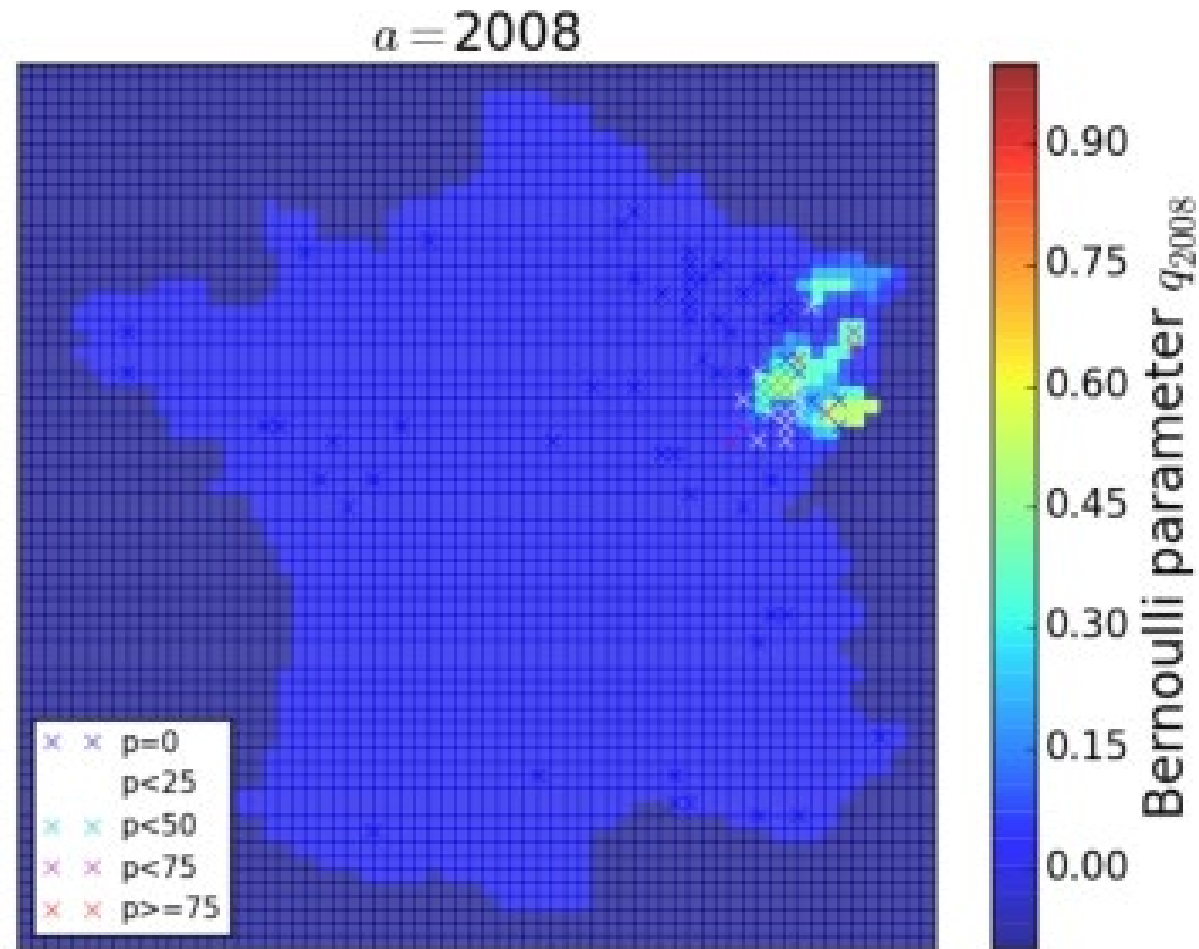
Lois bidimensionnelles a posteriori



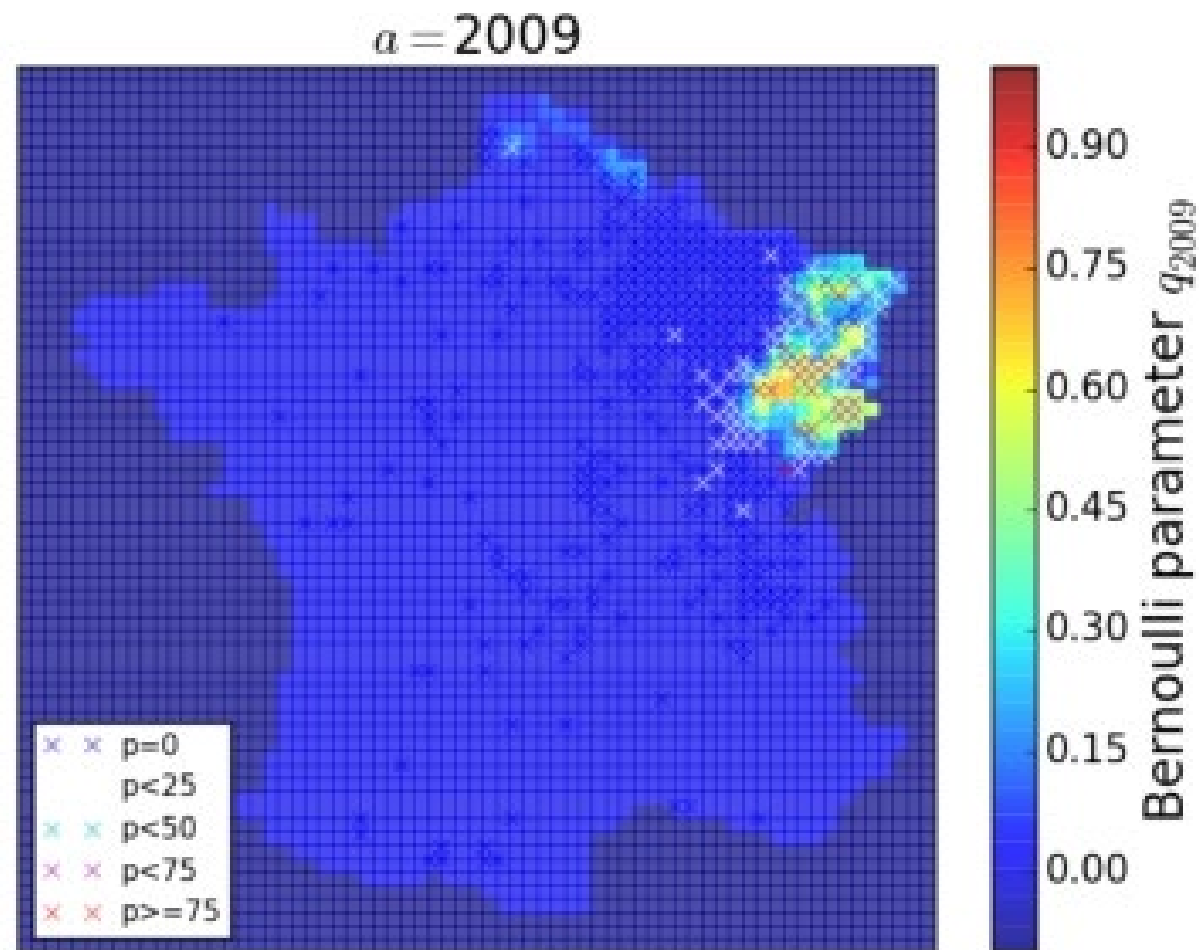
Corrélations :

	D	β_0	κ	S
β_0	-0.98			
κ	0.06	-0.04		
S	0.09	-0.11	0.58	
C_{init}	-0.09	0.07	0.03	-0.14

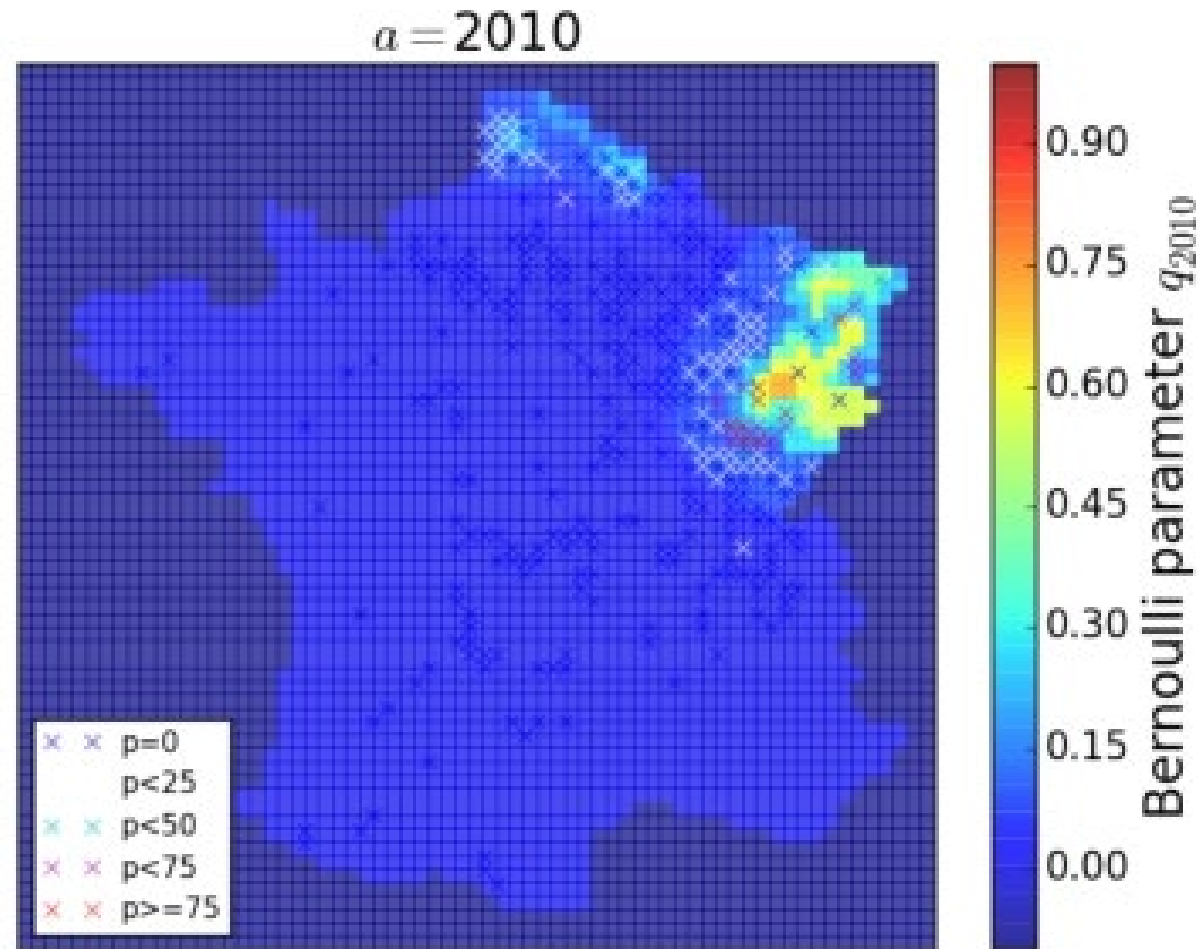
Évolution de la chalarose pour le paramètre qui maximise la vraisemblance



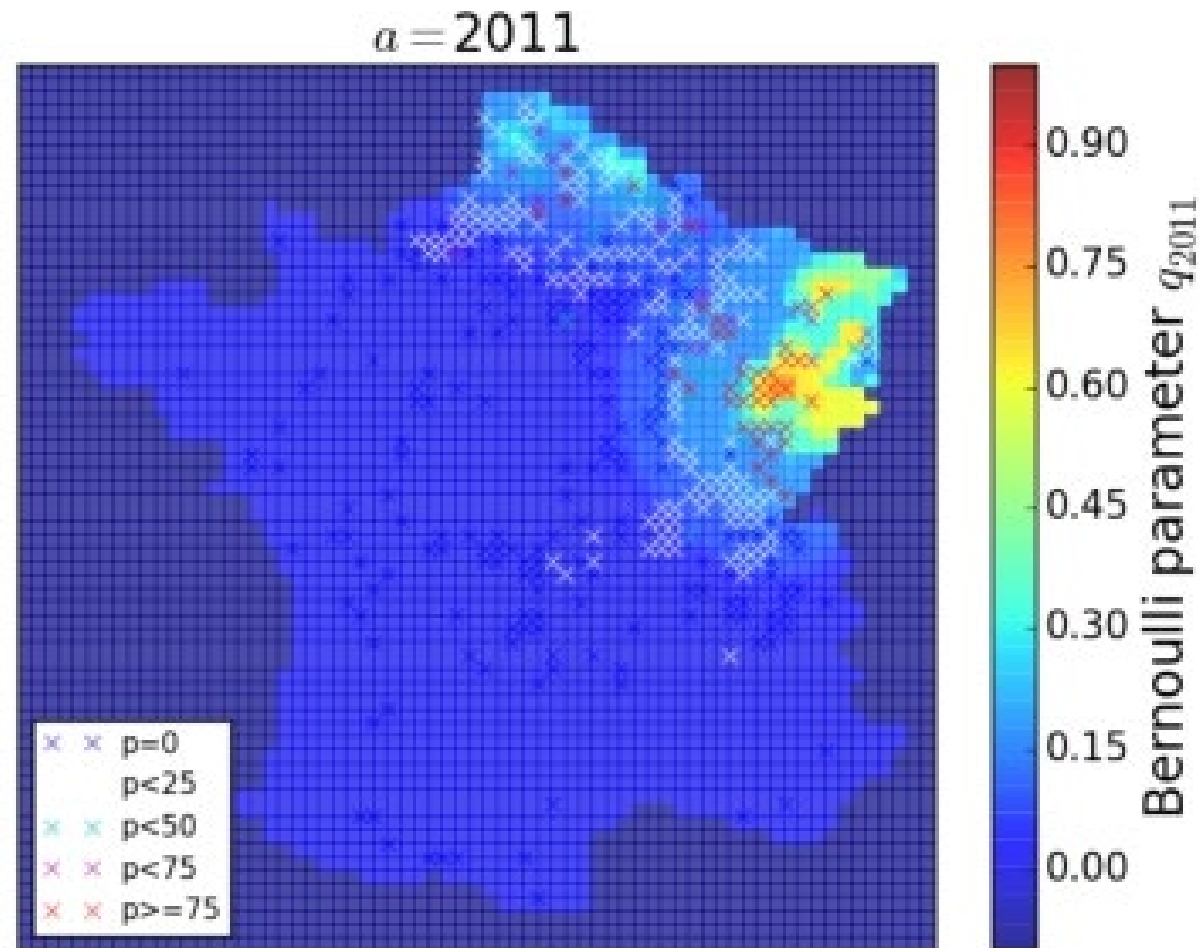
Évolution de la chalarose pour le paramètre qui maximise la vraisemblance



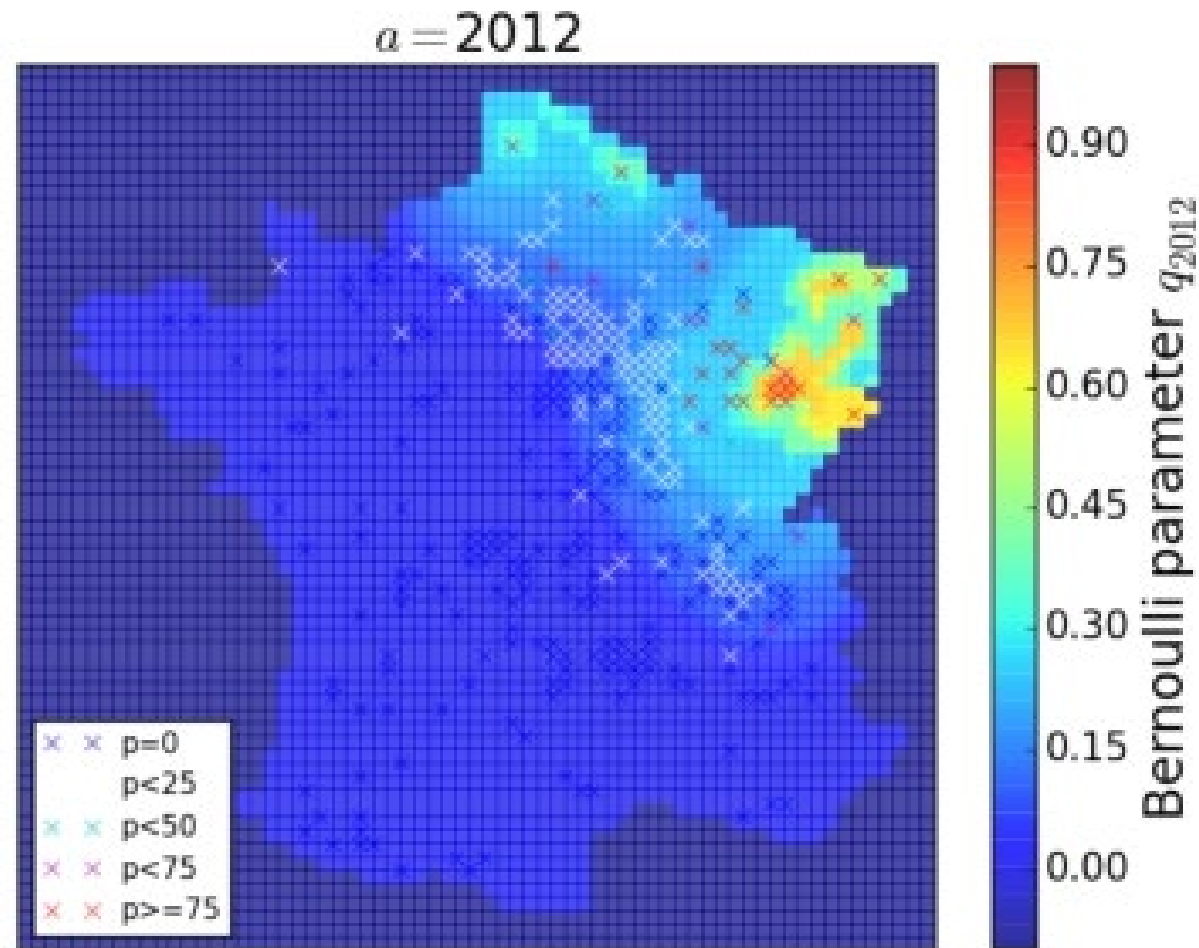
Évolution de la chalarose pour le paramètre qui maximise la vraisemblance



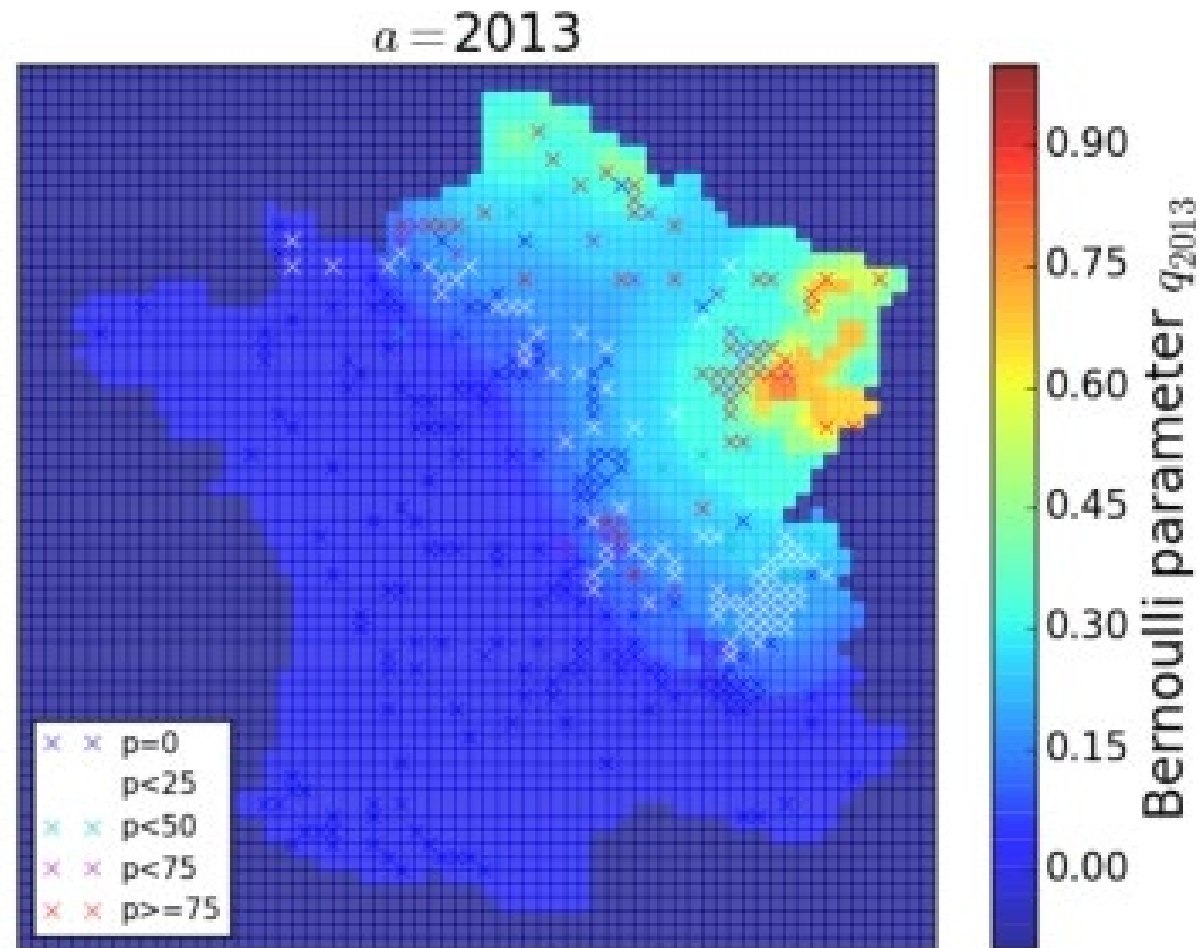
Évolution de la chalarose pour le paramètre qui maximise la vraisemblance



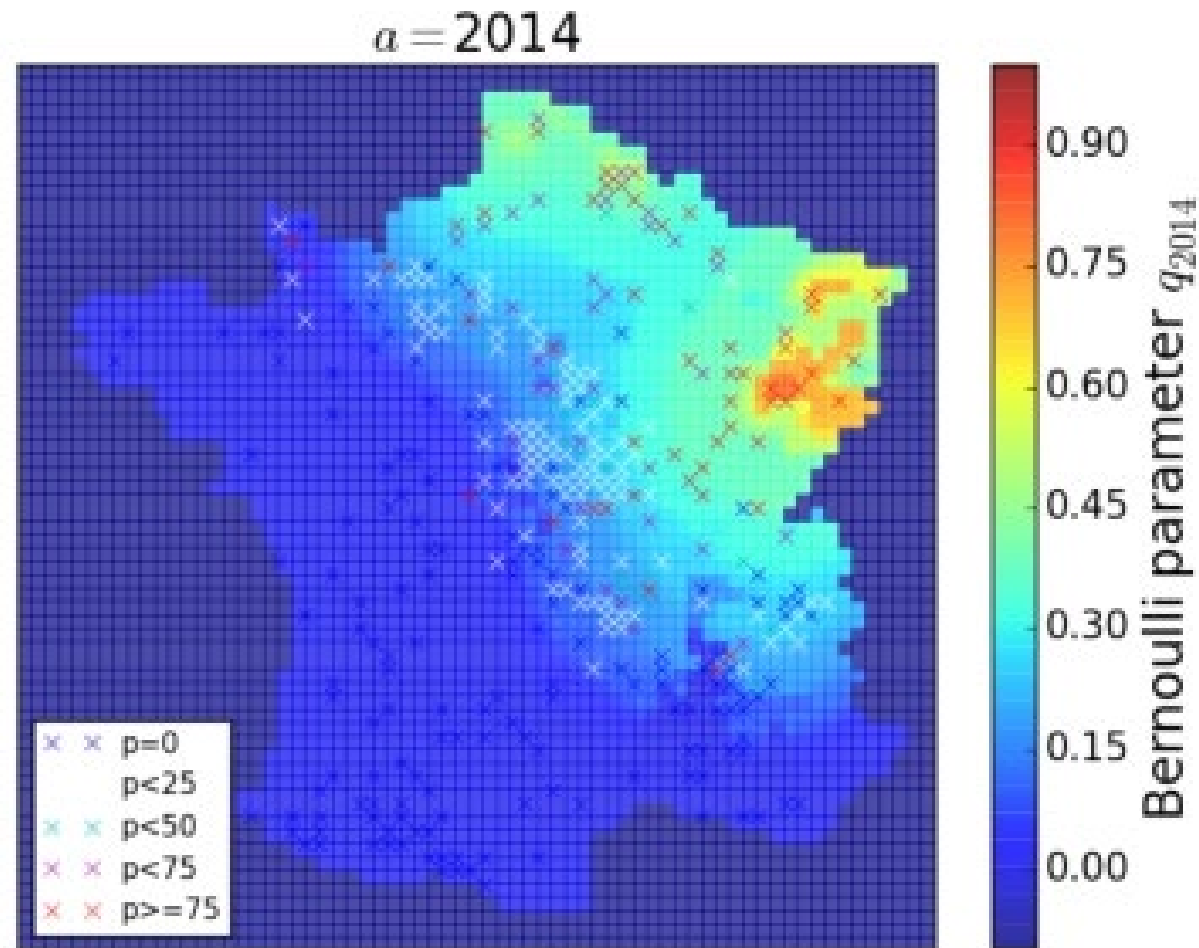
Évolution de la chalarose pour le paramètre qui maximise la vraisemblance



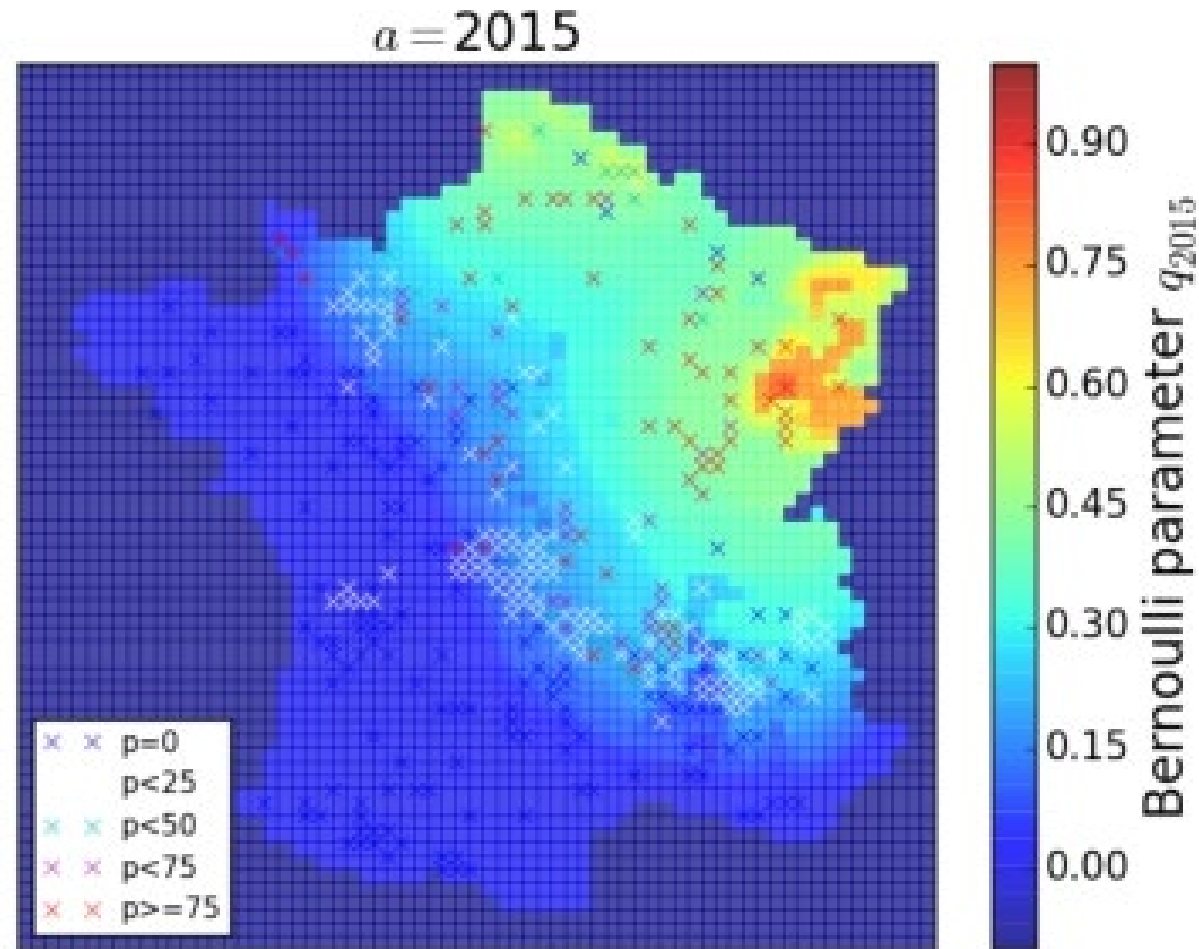
Évolution de la chalarose pour le paramètre qui maximise la vraisemblance



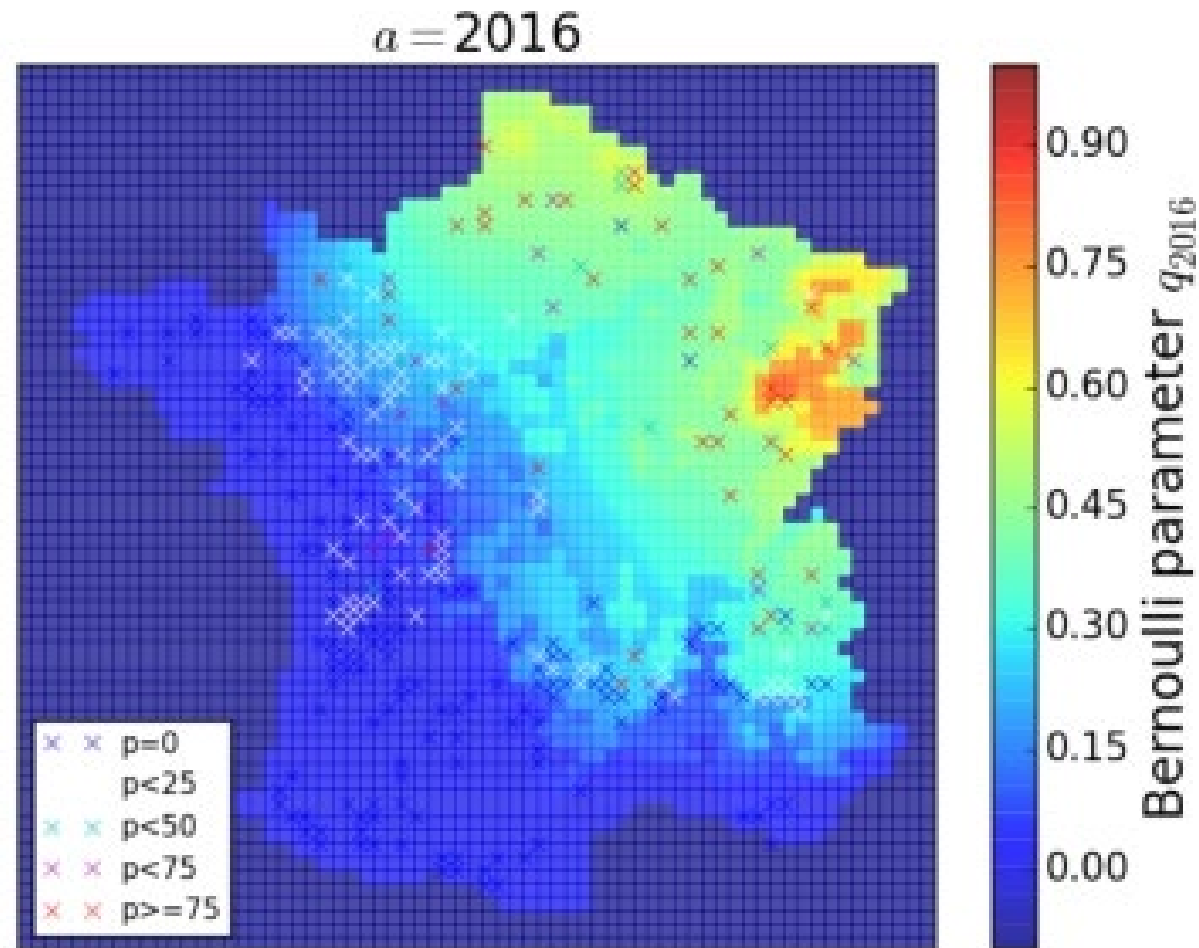
Évolution de la chalarose pour le paramètre qui maximise la vraisemblance



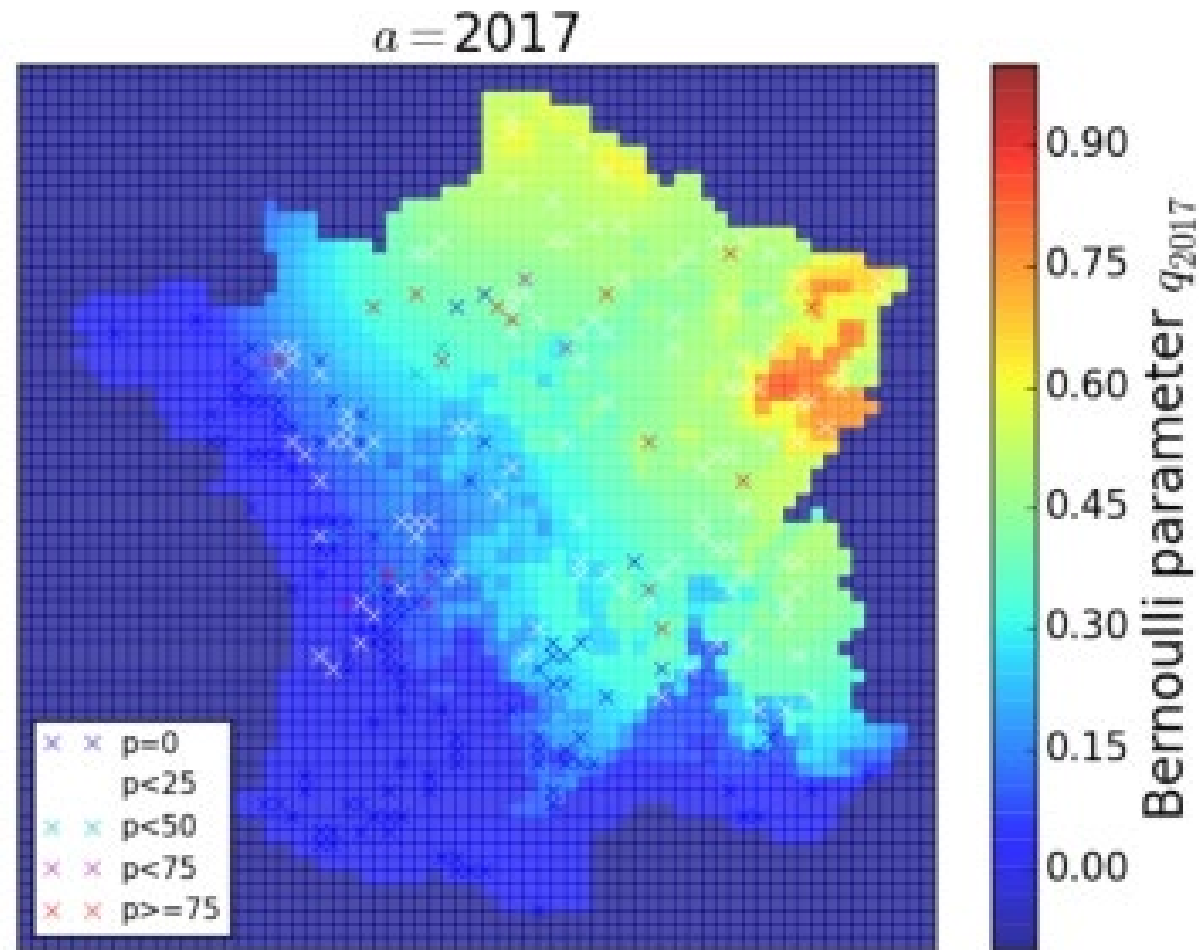
Évolution de la chalarose pour le paramètre qui maximise la vraisemblance



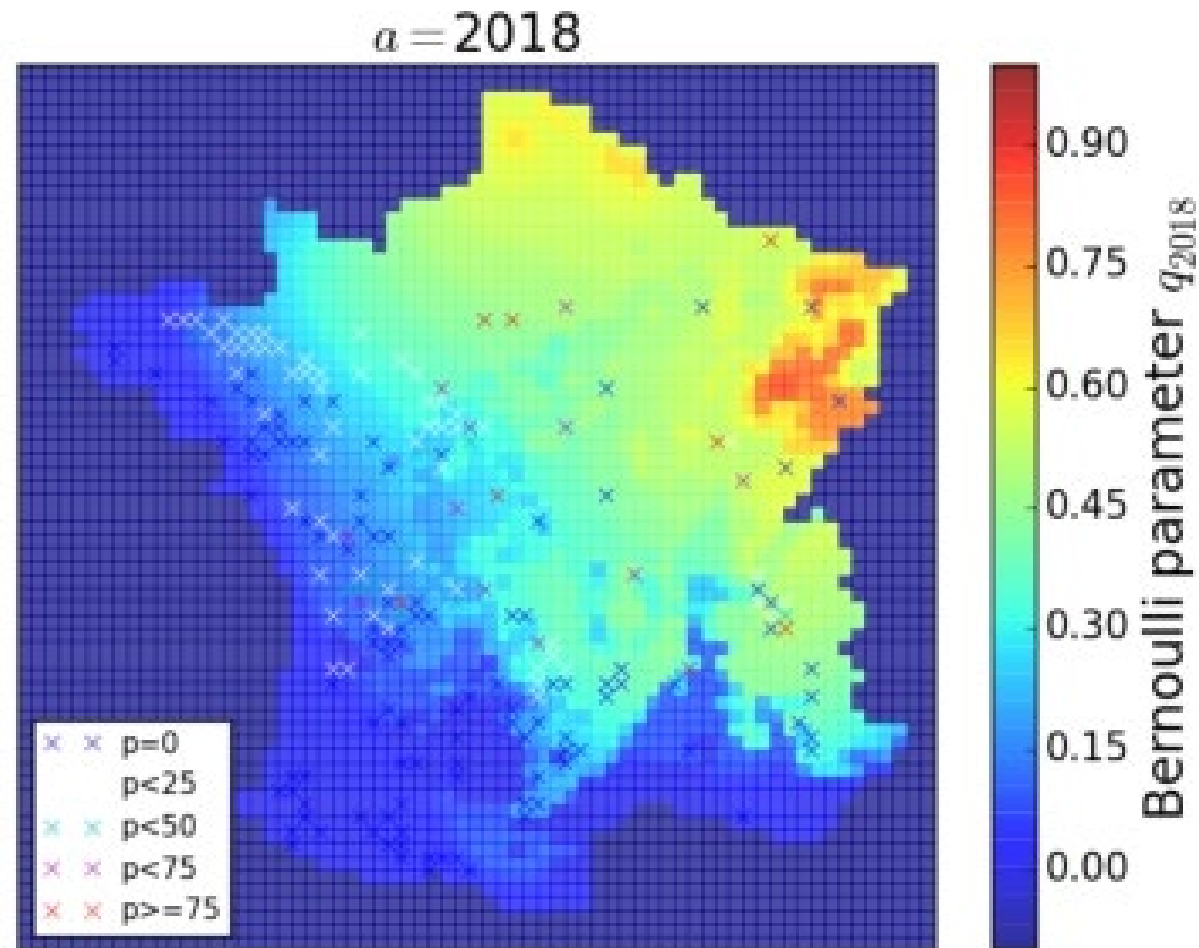
Évolution de la chalarose pour le paramètre qui maximise la vraisemblance



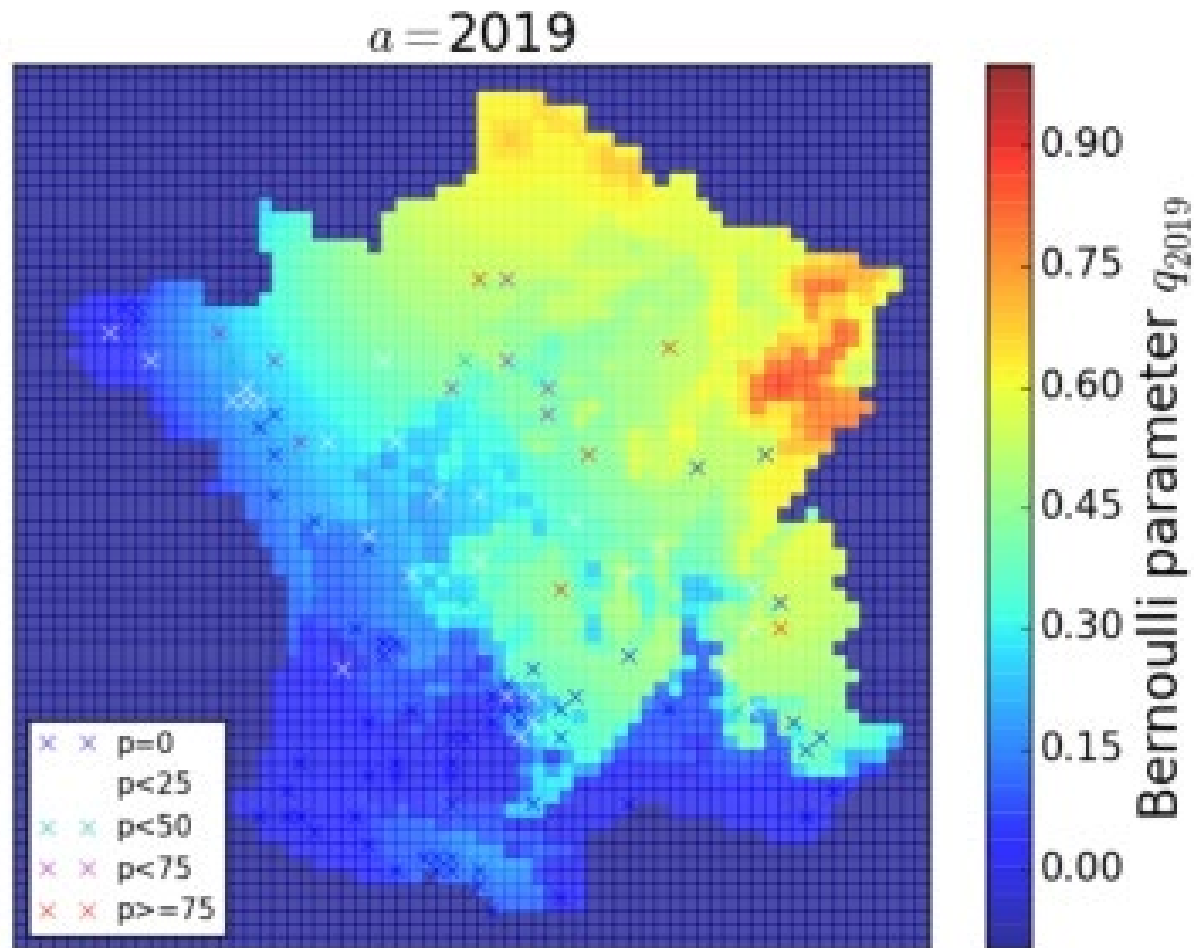
Évolution de la chalarose pour le paramètre qui maximise la vraisemblance



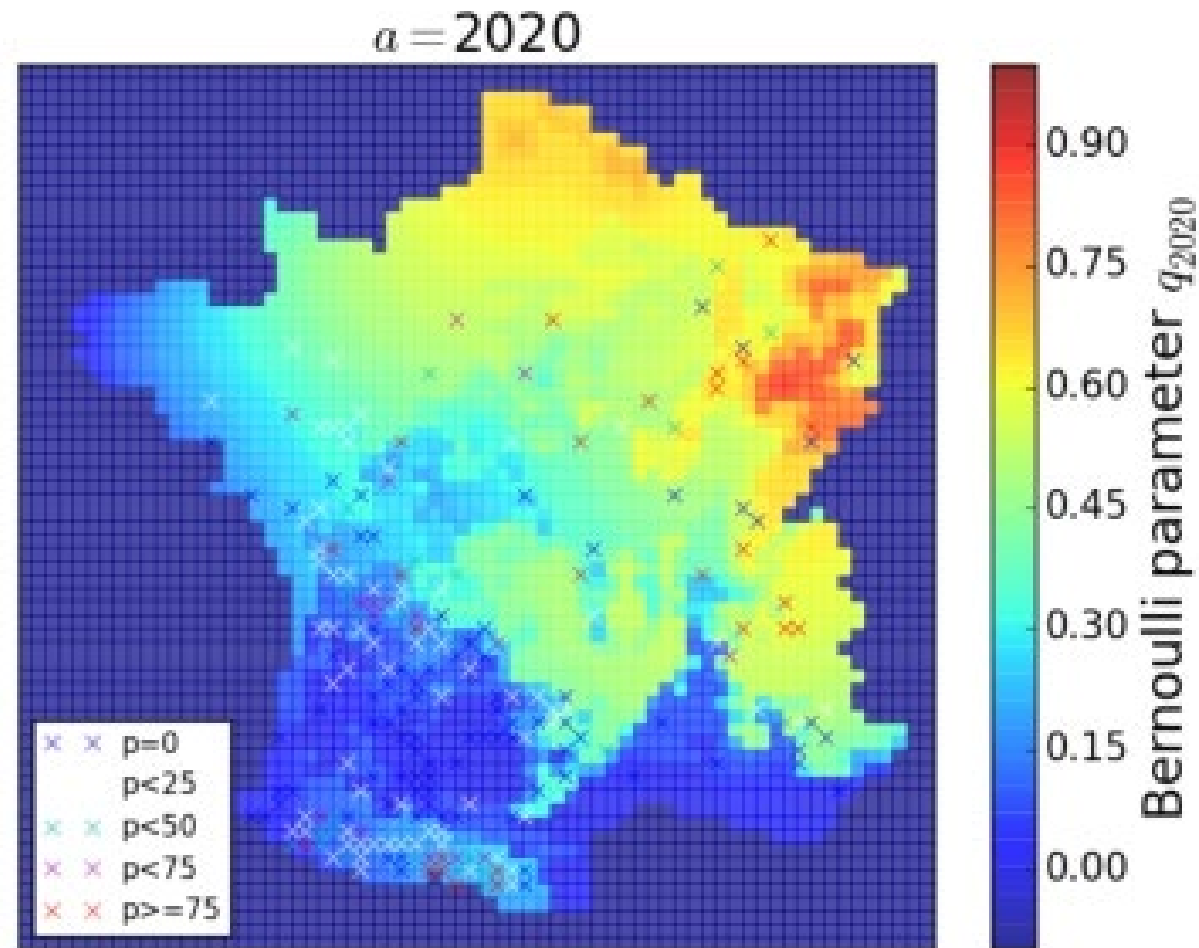
Évolution de la chalarose pour le paramètre qui maximise la vraisemblance



Évolution de la chalarose pour le paramètre qui maximise la vraisemblance

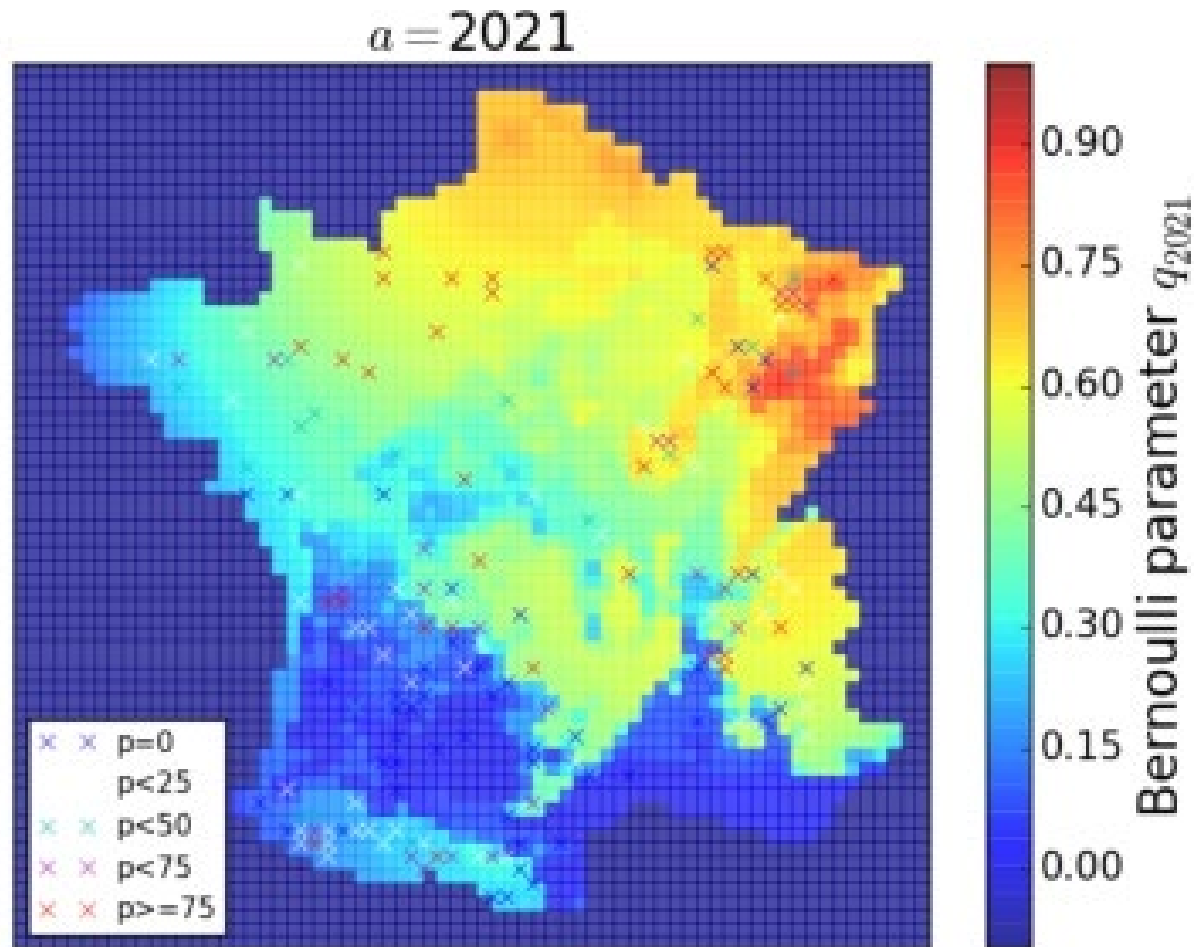


Évolution de la chalarose pour le paramètre qui maximise la vraisemblance



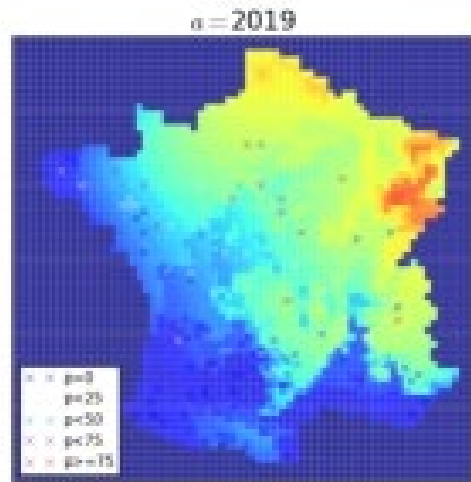
Données 2020 non utilisées pour l'estimation des paramètres

Évolution de la chalarose pour le paramètre qui maximise la vraisemblance

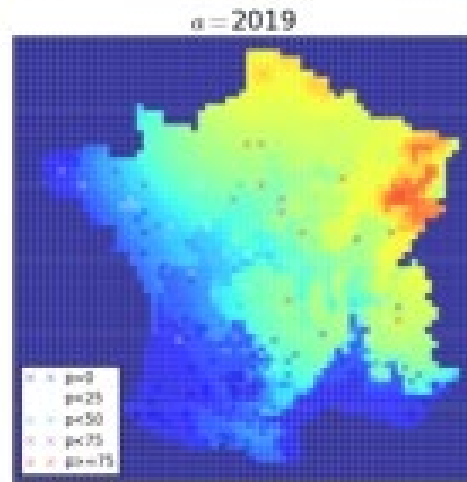


Données 2021 non utilisées pour l'estimation des paramètres

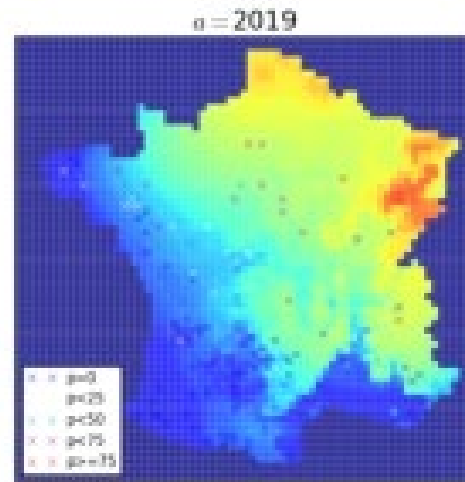
Comparaison des dynamiques pour plusieurs indices de température



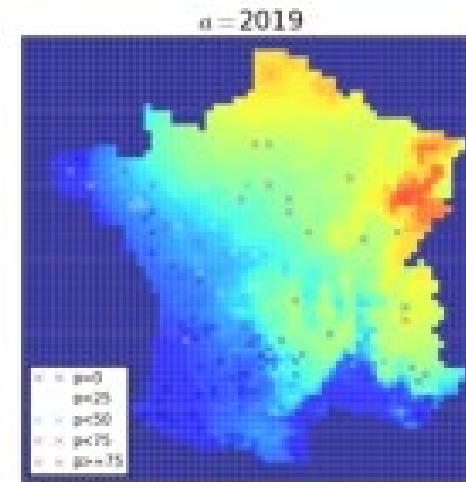
NjS28
log-vrais. : -24713



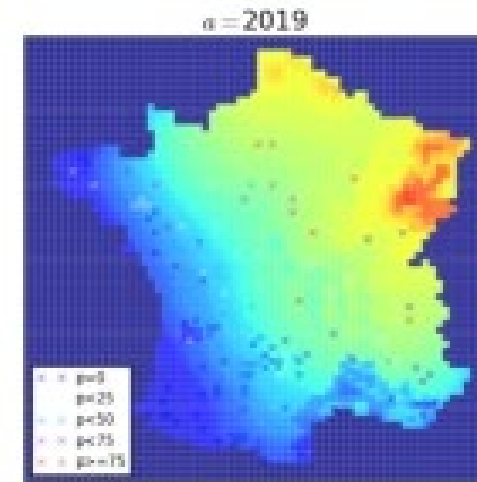
TX78
log-vrais. : -24779



T30
log-vrais. : -24850



STs28
log-vrais. : -24975



T35
log-vrais. : -25240

Conclusion

Un modèle qui reproduit

- ▶ le front de propagation
- ▶ le “blocage” de l’épidémie dans le sud
- ▶ le “saut” de la Garonne

Réponses à certaines questions initiales des biologistes :

- ▶ passage dans les Pyrénées
- ▶ indice de température : nombres de jour au dessus de 28°C
- ▶ hétérogénéité de la pluviométrie négligeable
- ▶ effet Allee négligeable

Pour la suite :

- ▶ vitesse de propagation du front → étude d’EDP + paramètres estimés du modèle de réaction diffusion

