

Abondance et croissance d'une population de salmonidés : un modèle hiérarchique sous WinBUGS

Jean-Baptiste Lecomte & Christophe Laplanche

27/04/11



1 Introduction

- Problématique
- Objectifs
- Approche Bayésienne

2 Matériels et Méthodes

- Modèle biologique
- Modèles mathématiques

3 Résultats

- Modèle température
- Modèle Abondance et Croissance

4 Discussion

- Avantages
- Perspectives

Mise en contexte

Gestion de la biodiversité

- Protection des populations sauvages
- Protection de leurs habitats

Intérêt

- Besoins d'outils pour les gestionnaires
- Importance économique

Recherche

- Étude en milieu naturel
- Phénomènes régissant les populations naturelles

Les modèles : des outils

Variables mesurées

- Variables biologiques
 - **Taille**
 - **Poids**
 - Nombre d'oeufs pondus
- Covariables environnementales
 - **Température**
 - Débit
 - Qualité de l'habitat

Variables latentes

- **Abondance** (/m²)
- **Croissance** (mm/j).
- Biomasse (g/m²)
- Production (g/m²/j)
- Mortalité
- Recrutement

(Penczak et al., 1981; Pauly and Moreau, 1997; Kwak and Waters, 1997; Lobón-Cerviá, 2009)

Publications récentes

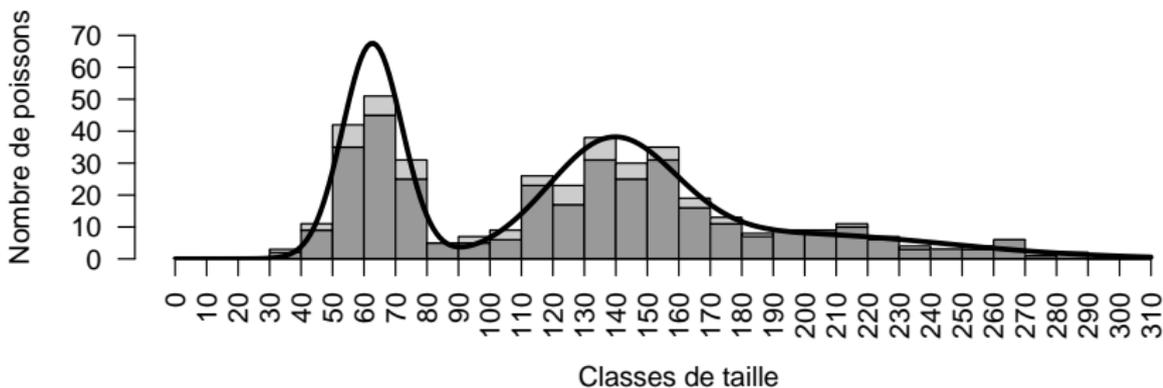
- Modèle hiérarchique Bayésien d'estimation de taille d'une population de truite fario (Wyatt, 2002)
 - 20 sites
 - classe d'âge : 0+
- Estimation de la taille d'une population (Mäntyniemi, S. and Romakkaniemi, A. and Arjas, E., 2005)
 - Probabilité de capture variable
 - classe d'âge : 0+
- Modèle hiérarchique Bayésien d'abondance (Rivot et al., 2008)
 - Qualité de l'habitat
 - Temps

Pourquoi ce choix ?

- Méthode adaptée aux systèmes complexes
 - Nombreux sites d'échantillonnage
 - Série temporelle
 - Groupes d'individus
- Comparaison de modèles
- Très flexible
- Optimisation globale
- WinBUGS & OpenBUGS (Ntzoufras, 2009)

Travaux précédents

- Histogramme des pêches sur un site et une année
- Mélange de gaussienne (Ruiz and Laplanche, 2010)



Travaux précédents

- Modèle hiérarchique de croissance avec variations temporelles (Jiao et al., 2010)
 - Courbe de croissance de von Bertalanffy
- Relation du taux de croissance avec la température
 - Travaux en laboratoire (Elliott et al., 1995)
 - Étude en milieu naturel (Mallet et al., 1999)
- Modèle température : relation air/eau (Mohseni et al., 1998)

1 Introduction

- Problématique
- Objectifs
- Approche Bayésienne

2 Matériels et Méthodes

- Modèle biologique
- Modèles mathématiques

3 Résultats

- Modèle température
- Modèle Abondance et Croissance

4 Discussion

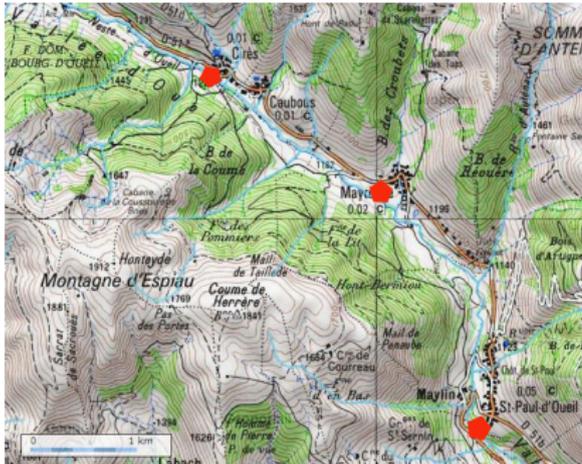
- Avantages
- Perspectives

Écologie de la truite : *Salmo trutta fario*

- Population étudiée : non migratrice (Gouraud et al., 2001)
- Espèce dominante



Site d'étude : La Neste d'Oueil



Geoportail



Type de données

Neste d'Oueil

- 3 sites : Cires, Mayrègne, Saint-Paul d'Oueil
- Tailles des poissons : retraits successifs, 2 passages
- Rivière échantillonnée pendant 5 ans (2005 : 2009)
 - Échantillonnage en octobre : 2005 à 2009
 - Échantillonnage en juillet : 2006 et 2008
- Covariables environnementales
 - Micro habitat
 - Profondeur
 - Vitesse
 - Type de sédiment

Températures : NESTE d'Oueil

Données disponibles : station Saint Paul d'Oueil

- Températures moyennes journalières de l'eau (2006-2009) (EDF R&D)
- Températures moyennes decadaires de l'air (2006-2009) (Météo France)
- Températures moyennes mensuelles de l'air (2005-2006) (Météo France)

Variables mesurées

nombre ($C_{o,i,j}$)
des poissons pêchés

longueur ($L_{o,j,f}$)
des poissons pêchés

température de l'air (T_d^a)

température de l'eau (T_d^w)

aire de la station (A)

Variables latentes

...

Niveaux hiérarchiques

observation $o \in \{1, \dots, O\}$

jour julien $d \in \{1, \dots, D\}$

classe de taille $i \in \{1, \dots, I\}$

passage $j \in \{1, \dots, J\}$

cohorte $k \in \{1, \dots, K\}$

individu $f \in \{1, \dots, n_{o,j}\}$
(rivière)

Variables mesurées

nombre ($C_{o,i,j}$)
des poissons pêchés
longueur ($L_{o,j,f}$)
des poissons pêchés
température de l'air (T_d^a)
température de l'eau (T_d^w)
aire de la station (A)

Variables latentes

...

Niveaux hiérarchiques

observation $o \in \{1, \dots, O\}$
jour julien $d \in \{1, \dots, D\}$
classe de taille $i \in \{1, \dots, I\}$
passage $j \in \{1, \dots, J\}$
cohorte $k \in \{1, \dots, K\}$
individu $f \in \{1, \dots, n_{o,j}\}$
(rivière)

Variables mesurées

nombre ($C_{o,i,j}$)
des poissons pêchés
longueur ($L_{o,j,f}$)
des poissons pêchés
température de l'air (T_d^a)
température de l'eau (T_d^w)
aire de la station (A)

Variables latentes

...

Niveaux hiérarchiques

observation $o \in \{1, \dots, O\}$
jour julien $d \in \{1, \dots, D\}$
classe de taille $i \in \{1, \dots, I\}$
passage $j \in \{1, \dots, J\}$
cohorte $k \in \{1, \dots, K\}$
individu $f \in \{1, \dots, n_{o,j}\}$
(rivière)

Variables mesurées

nombre ($C_{o,i,j}$)
des poissons pêchés
longueur ($L_{o,j,f}$)
des poissons pêchés
température de l'air (T_d^a)
température de l'eau (T_d^w)
aire de la station (A)

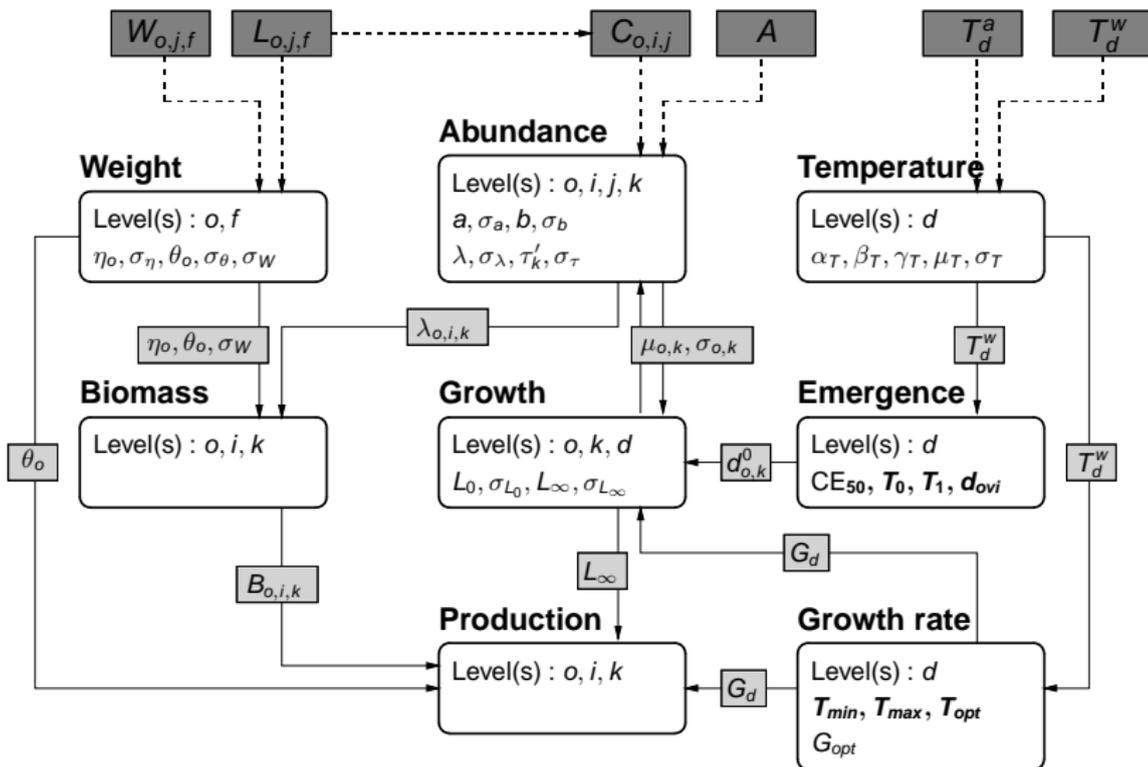
Variables latentes

...

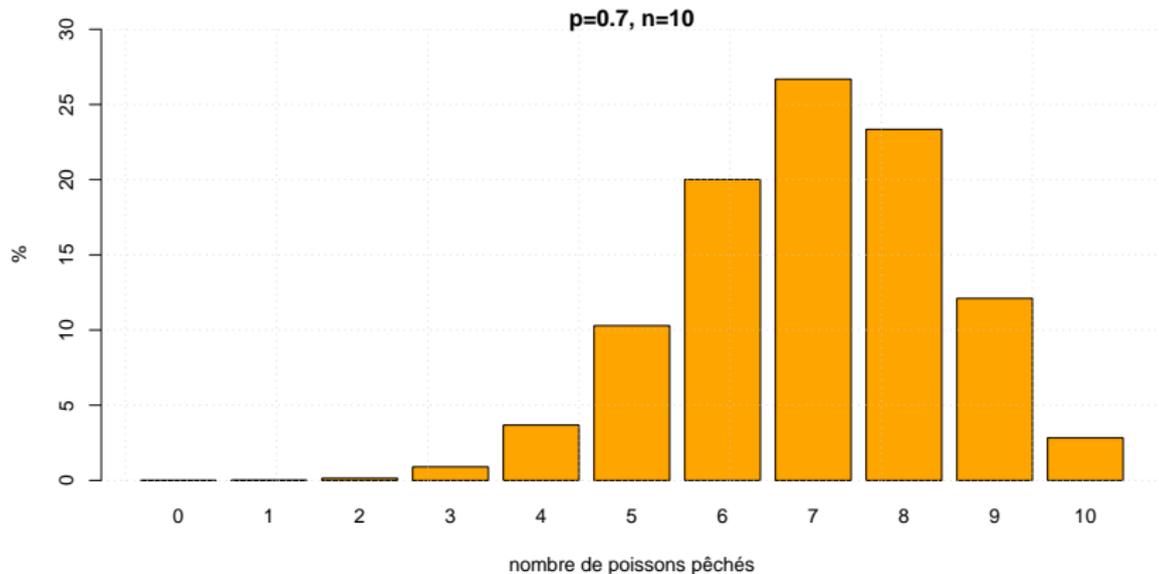
Niveaux hiérarchiques

observation $o \in \{1, \dots, O\}$
jour julien $d \in \{1, \dots, D\}$
classe de taille $i \in \{1, \dots, I\}$
passage $j \in \{1, \dots, J\}$
cohorte $k \in \{1, \dots, K\}$
individu $f \in \{1, \dots, n_{o,j}\}$
(rivière)

Structure du modèle



Modèle des observations

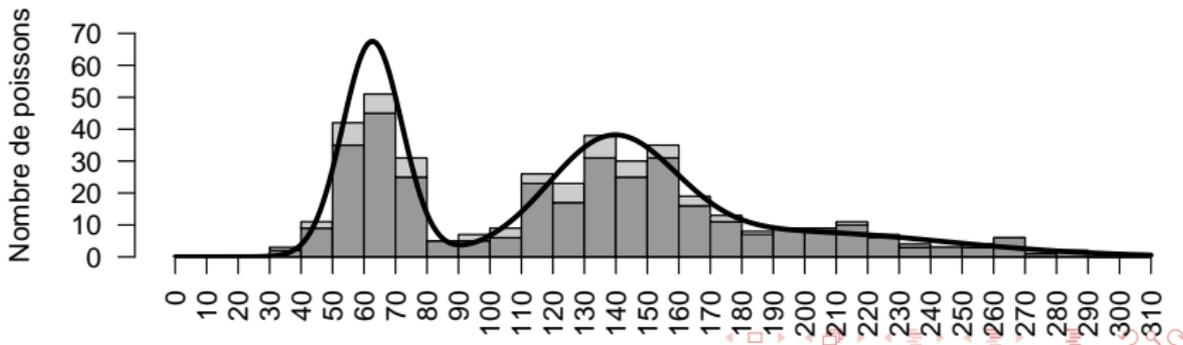


$$C_{o,i,j} \sim \text{Binomial}(p_{o,i}, n_{o,i,j})$$

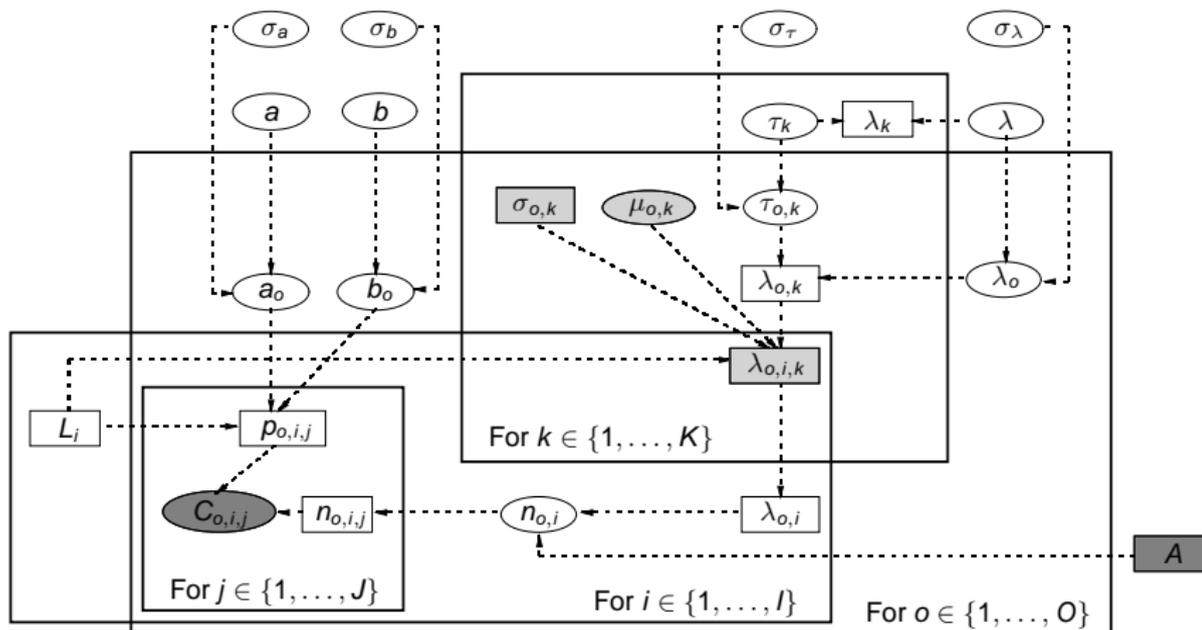
Sous-modèle d'abondance

Nombre de poissons de classe de taille i au sein du site h

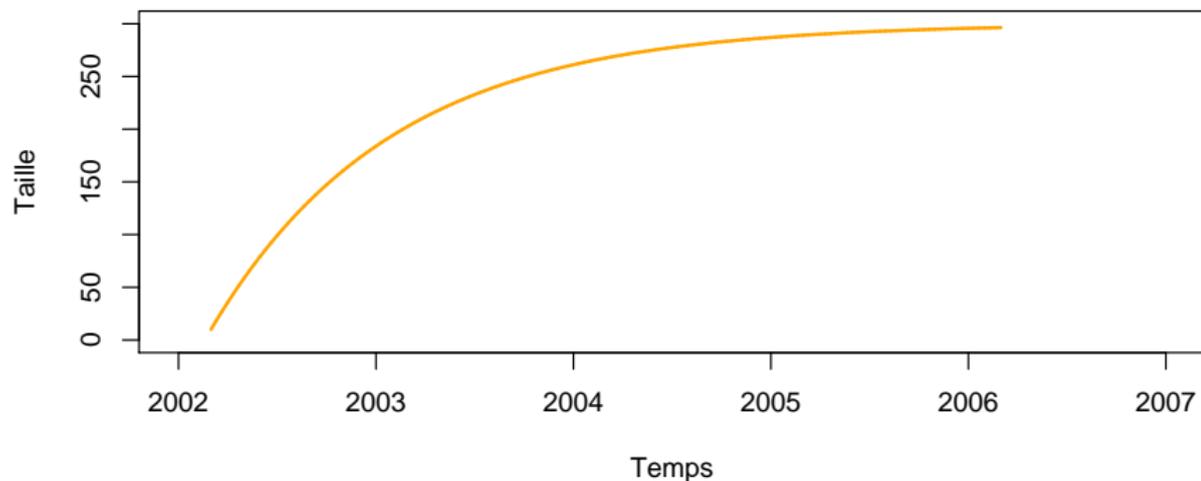
$$\lambda_{h,i} = \lambda_h \Delta_l \sum_{k=1}^q \frac{\tau_{h,k}}{\sigma_{h,k}} F\left(\frac{l_i - \mu_{h,k}}{\sigma_{h,k}}\right) \quad n_{y,o,i} \sim \text{Poisson}(\lambda_{y,o,i} A)$$



Structure du sous-modèle : Abondance



Courbe de croissance de von Bertalanffy



Sous-modèle de croissance

Équation de croissance de von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938)

$$L(t) = L_m - (L_m - L_0)e^{-\gamma t}$$

- L_m : Longueur asymptotique
- L_0 : Longueur à l'émergence
- γ : Taux de croissance

Dérivée de l'équation de croissance de von Bertalanffy

$$dL = (L_m - L_0)\gamma e^{-\gamma t} dt$$

Sous-modèle de croissance

Équation de croissance de von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938)

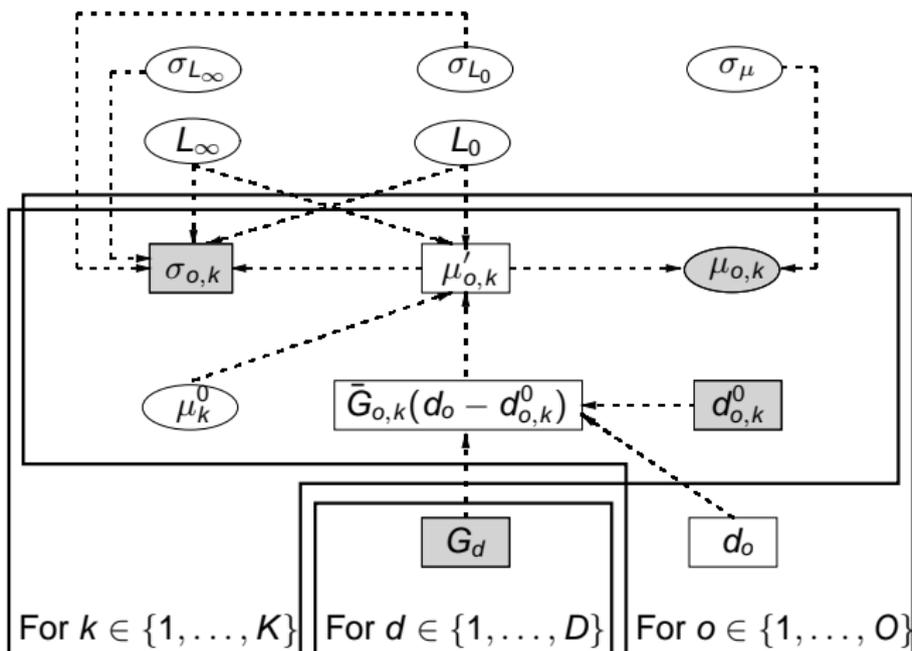
$$L(t) = L_m - (L_m - L_0)e^{-\gamma t}$$

- L_m : Longueur asymptotique
- L_0 : Longueur à l'émergence
- γ : Taux de croissance

Dérivée de l'équation de croissance de von Bertalanffy

$$dL = (L_m - L_0)\gamma e^{-\gamma t} dt$$

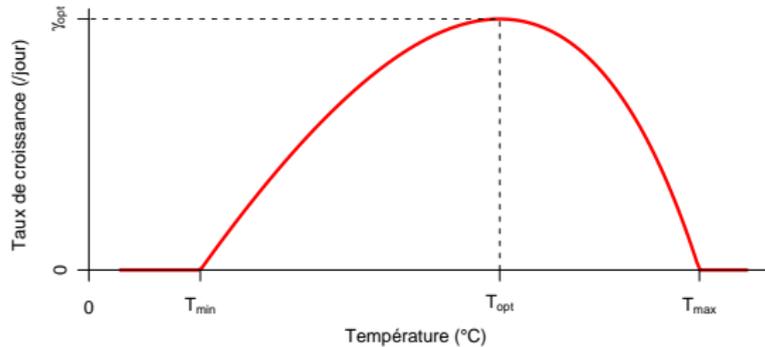
Structure du sous-modèle : Croissance



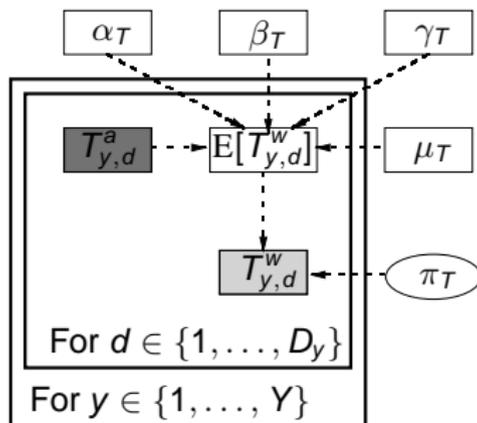
Taux de croissance et température

Modification de l'équation de croissance (Mallet et al., 1999)

$$\gamma_d = \gamma_{opt} \frac{(T_{h,d} - T_{min})(T_{h,d} - T_{max})}{(T_{h,d} - T_{min})(T_{h,d} - T_{max}) - (T_{h,d} - T_{opt})^2}$$



Strucutre du modèle de température (Mohseni et al., 1998)



$$T_{y,d}^w = T_{smin} + \frac{T_{smax} - T_{smin}}{1 + e^{\alpha(\beta - T_{y,d}^a)}}$$

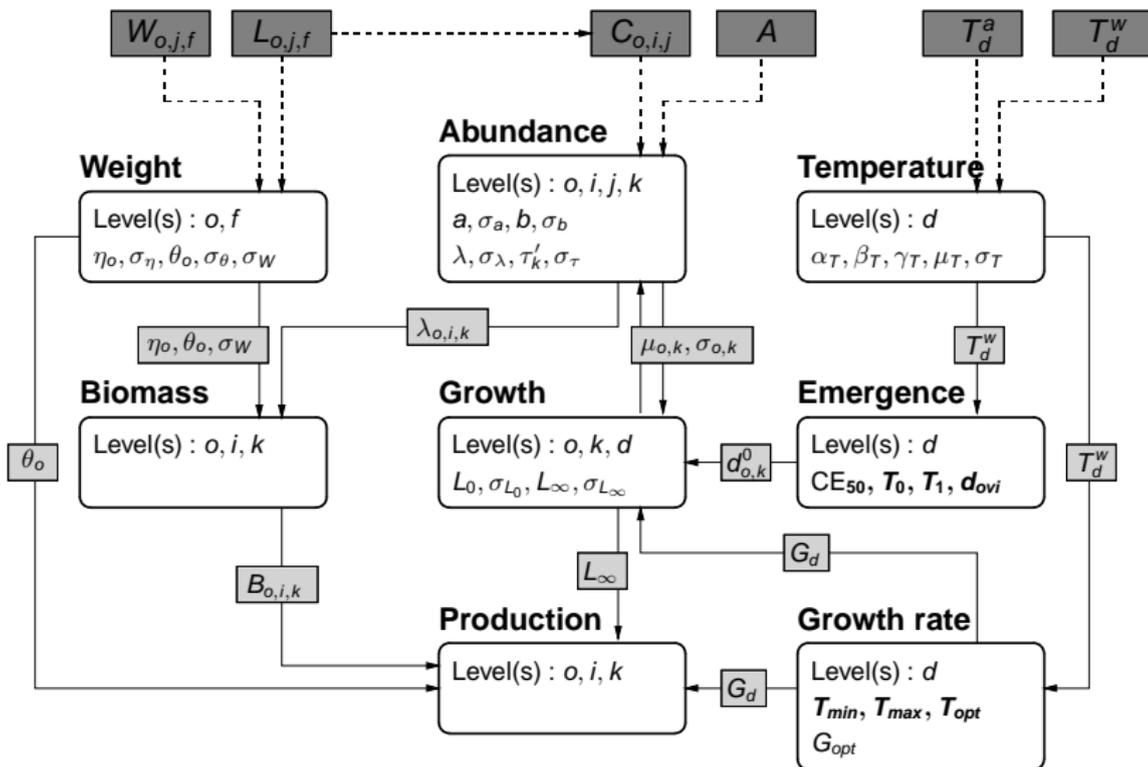
- $T_{y,d}^w$ = Température de l'eau
- $T_{y,d}^a$ = Température de l'air
- T_{smin}, T_{smax} = Température minimale et maximale de la rivière
- α_T = point d'inflexion, β_T = température de l'air à ce point

Sous-modèle Température

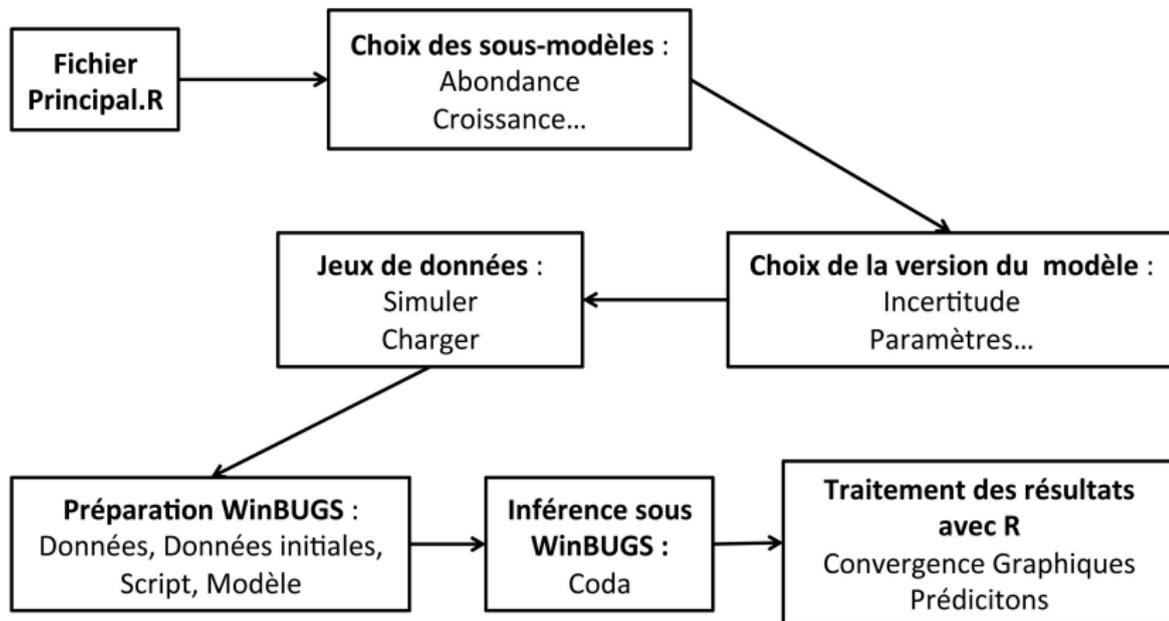
Modèle : Relation Air/Eau

- Estimation des paramètres du modèle : période 2006-2009
- Calage du modèle et adéquation (Nash and Sutcliffe, 1970)
- Extrapolation à la période 2005-2009

Structure du modèle principal



Structure du modèle logiciel



Sous-modèle	Paramètre		Prior
Abondance	λ	\sim	Gamma(0.001, 0.001)
	τ'_k	\sim	Uniform(0, 1)
	π_λ	\sim	Gamma(0.001, 0.001)
	π_τ	\sim	Gamma(0.001, 0.001)
Croissance	L_∞	\sim	Lognormal(6.23, 3.31)
	$L_0 L_\infty$	\sim	Uniform(0, L_∞)
	$\mu_{1,k}^0 \mu_{1,k-1}^0, L_\infty$	\sim	Uniform($\mu_{1,k-1}^0, L_\infty$)
	σ_{L_∞}	\sim	Gamma(0.001, 0.001)
	σ_{L_0}	\sim	Gamma(0.001, 0.001)
	π_μ	\sim	Gamma(0.001, 0.001)
Taux de croissance	γ	\sim	Lognormal(-7.25, 3.41)
Température de l'eau	T_{smax}	\sim	Normal(0, 0.001)
	T_{smin}	\sim	Normal(0, 0.001)
	β_T	\sim	Normal(0, 0.001)
	α	\sim	Normal(0, 0.001)
	π_T	\sim	Gamma(0.001, 0.001)

1 Introduction

- Problématique
- Objectifs
- Approche Bayésienne

2 Matériels et Méthodes

- Modèle biologique
- Modèles mathématiques

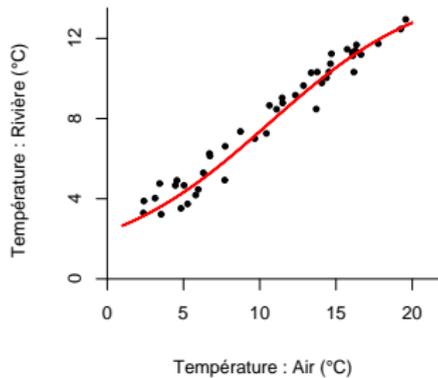
3 Résultats

- Modèle température
- Modèle Abondance et Croissance

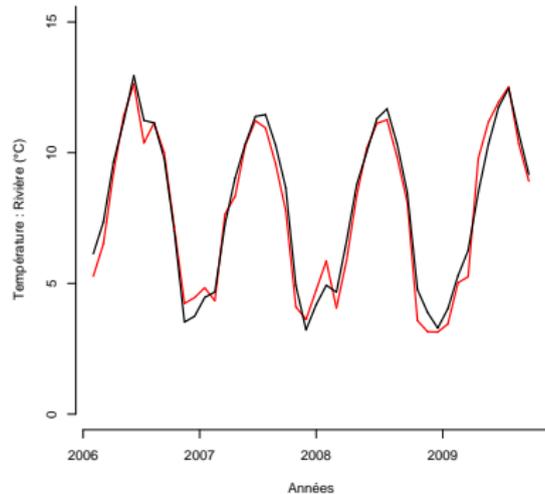
4 Discussion

- Avantages
- Perspectives

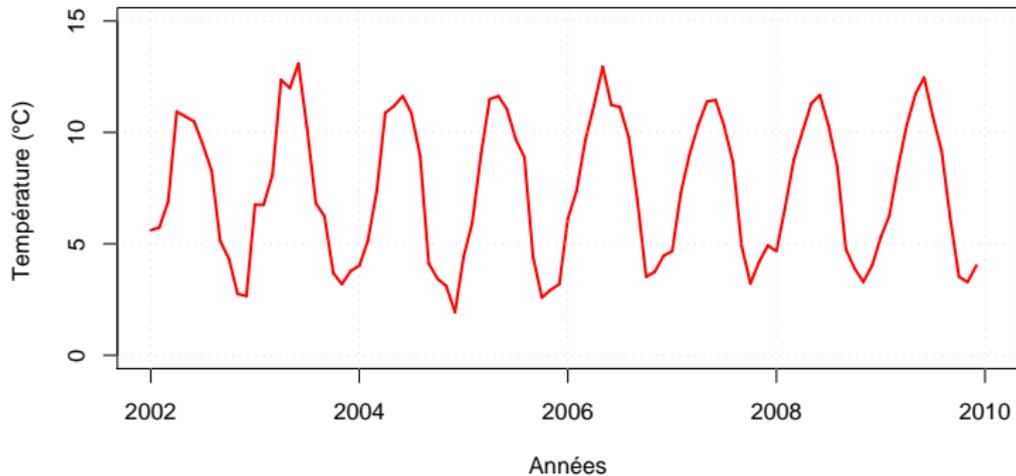
Calage du modèle



NSE = 0.95
RMSE = 0.04°C



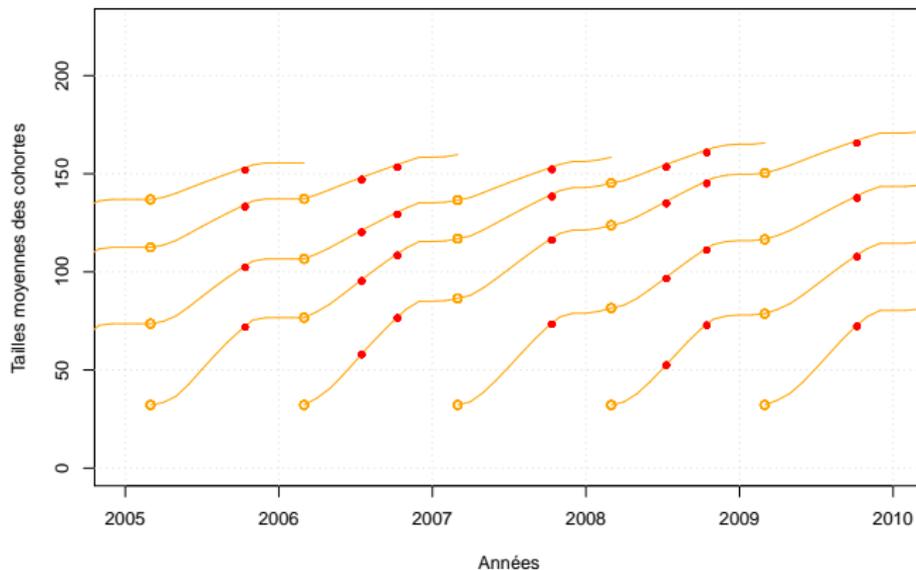
Les données : Températures



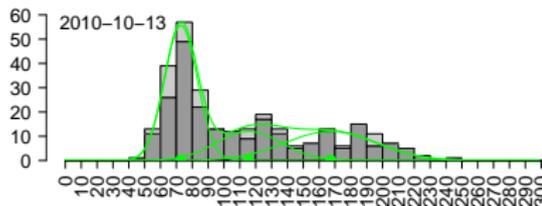
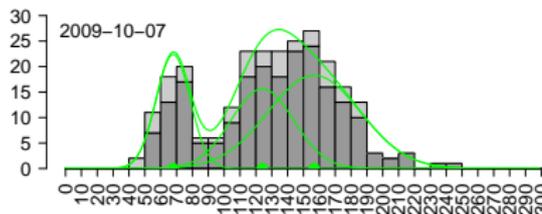
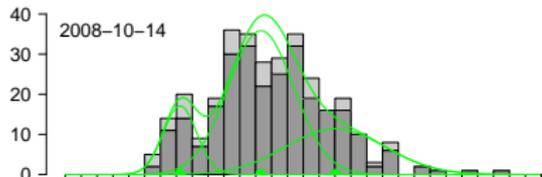
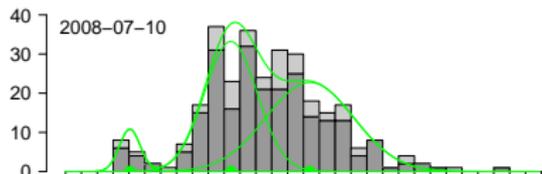
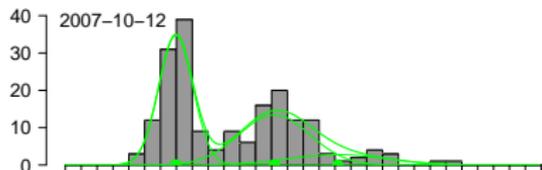
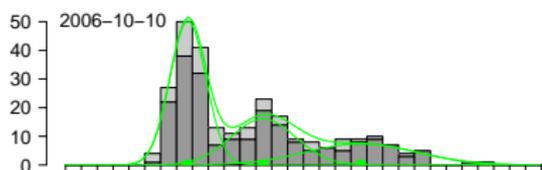
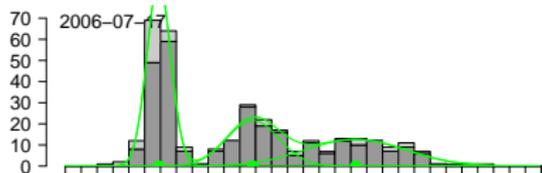
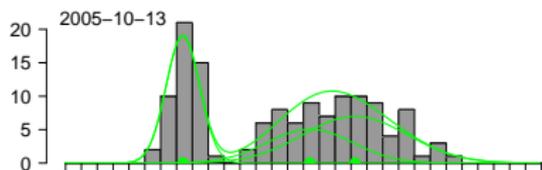
Valeurs estimées des paramètres de croissance

Unit	Parameter	q _{2.5%}	Estimate	q _{97.5%}
Per year	G	0.11	0.25	0.44
mm	L_0	21	30	37
mm	L_∞	318	516	905
mm	σ_{L_0}	0	5	7
mm	σ_{L_∞}	60	105	196
per mm ²	$1/\sigma_\mu^2$	0.4	1.6	4.4
mm/year	GL_∞	99	117	142
–	σ_{L_0}/L_0	0.00	0.17	0.26
–	$\sigma_{L_\infty}/L_\infty$	0.18	0.20	0.23

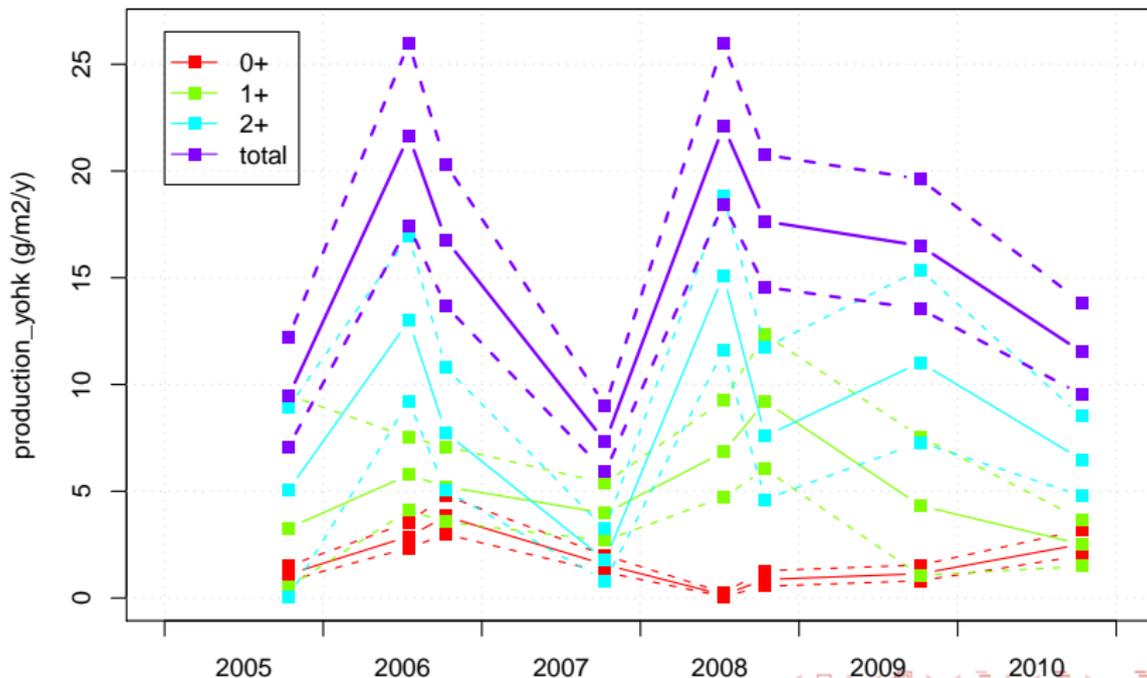
Saint-Paul d'Oueil : Croissance



Histogrammes d'abondance



Saint-Paul d'Oueil : Production



1 Introduction

- Problématique
- Objectifs
- Approche Bayésienne

2 Matériels et Méthodes

- Modèle biologique
- Modèles mathématiques

3 Résultats

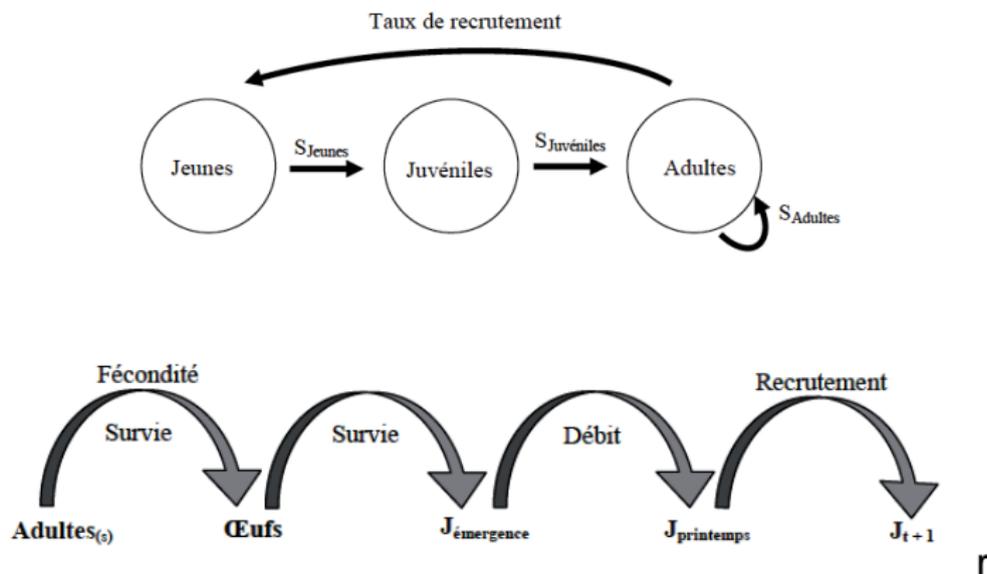
- Modèle température
- Modèle Abondance et Croissance

4 Discussion

- Avantages
- Perspectives

- Calcul simultané des deux sous-modèles
- Transfert d'information entre les deux sous-modèles
- Meilleure description de l'abondance
- Ajout d'une variable représentative de l'état d'une population : taux de croissance
- $\mu_{O,k}$ réel sens biologique : cohorte

Ajout d'un modèle de mortalité et de recrutement



(Daufresne and Renault, 2006)

A long terme

- Prendre en compte des variables environnementales autres que la température (Daufresne and Renault, 2006; Rivot et al., 2008)
- Coupler le modèle à un SIG (Wyatt, 2003)
- Étendre le modèle au niveau du bassin versant
- Logiciel libre (GPLv3) HMSPop
(<http://modtox.myftp.org/software/hmspop>)

Références I

- Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws II). *Hum. Biol*, 10(2) :181–213.
- Daufresne, M. and Renault, O. (2006). Population fluctuations, regulation and limitation in stream-living brown trout. *Oikos*, 113(3) :459–468.
- Elliott, J., Hurley, M., and Fryer, R. (1995). A new, improved growth model for brown trout, *Salmo trutta*. *Functional Ecology*, 9(2) :290–298.
- Gouraud, V., Bagliniere, J., Baran, P., Sabaton, C., Lim, P., and Ombredane, D. (2001). Factors regulating brown trout populations in two french rivers : application of a dynamic population model. *Regulated Rivers : Research & Management*, 17(4-5) :557–569.
- Jiao, Y., Rogers-Bennett, L., Taniguchi, I., Butler, J., and Crone, P. (2010). Incorporating temporal variation in the growth of red abalone (*haliotis rufescens*) using hierarchical bayesian growth models. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 67(4) :730–742.
- Kwak, J. and Waters, T. (1997). Trout production dynamics and water quality in Minnesota streams. *Transactions of the American Fisheries Society*, 126(1) :35–48.

Références II

- Lobón-Cerviá, J. (2009). Recruitment as a driver of production dynamics in stream-resident brown trout (*Salmo trutta*). *Freshwater Biology*, 54(8) :1692–1704.
- Mallet, J., Charles, S., Persat, H., and Auger, P. (1999). Growth modelling in accordance with daily water temperature in european grayling (*thymallus thymallus* l.). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56(6) :994–1000.
- Mäntyniemi, S. and Romakkaniemi, A. and Arjas, E. (2005). Bayesian removal estimation of a population size under unequal catchability. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62(2) :291–300.
- Mohseni, O., Stefan, H., and Erickson, T. (1998). A nonlinear regression model for weekly stream temperatures. *Water Resources Research*, 34(10) :2685–2692.
- Nash, J. and Sutcliffe, J. (1970). River flow forecasting through conceptual models, 1. a discussion of principles. *J. Hydrol*, 10 :282–290.
- Ntzoufras, I. (2009). *Bayesian modeling using WinBUGS*. Wiley.
- Pauly, D. and Moreau, J. (1997). *Méthodes pour l'évaluation des ressources halieutiques*. Cepaduès-Éditions.

Références III

- Penczak, T., Zalewski, M., Suszycka, E., and Molinski, M. (1981). Estimation of the density, biomass and growth rate of fish populations in two small lowland rivers. *Ekologia Polska-Polish Journal of Ecology*, 29(2) :233–255.
- Rivot, E., Prevost, E., Cuzol, A., Bagliniere, J.-L., and Parent, E. (2008). Hierarchical bayesian modelling with habitat and time covariates for estimating riverine fish population size by successive removal method. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65(1) :117–133.
- Ruiz, P. and Laplanche, C. (2010). A hierarchical model to estimate the abundance and biomass of salmonids by using removal sampling and biometric data from multiple locations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 67(12) :2032–2044.
- Wyatt, R. (2002). Estimating riverine fish population size from single-and multiple-pass removal sampling using a hierarchical model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59(4) :695–706.
- Wyatt, R. (2003). Mapping the abundance of riverine fish populations : integrating hierarchical bayesian models with a geographic information system (gis). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 60(8) :997–1006.

Merci de votre attention