

Extraction d'un signal commun pour un ensemble de séries de largeurs de cernes d'arbres avec un modèle bayésien hiérarchique

Jean-Jacques Boreux, Philippe Naveau, Ophélie Guin, Luc Perrault, Jacques Bernier

► **To cite this version:**

Jean-Jacques Boreux, Philippe Naveau, Ophélie Guin, Luc Perrault, Jacques Bernier. Extraction d'un signal commun pour un ensemble de séries de largeurs de cernes d'arbres avec un modèle bayésien hiérarchique. 41èmes Journées de Statistique, SFdS, Bordeaux, 2009, Bordeaux, France, France. 2009. <inria-00386775>

HAL Id: inria-00386775

<https://hal.inria.fr/inria-00386775>

Submitted on 22 May 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EXTRACTION D'UN SIGNAL COMMUN POUR UN ENSEMBLE DE SÉRIES DE LARGEURS DE CERNES D'ARBRES AVEC UN MODÈLE BAYÉSIEN HIÉRARCHIQUE

J.J. Boreux (1), P. Naveau (2), O. Guin (2), L. Perrault (3), J. Bernier (1)

(1) Université de Liège, Belgique

(2) Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, IPSL, UMR CEA-CNRS-UVSQ, France

(3) Institut de recherche d'Hydro-Quebec, Montréal, Canada

ophelie.guin@lsce.ipsl.fr

Résumé. La dendrochronologie est une méthode scientifique de datation basée sur l'analyse des anneaux annuels de croissance ou cernes d'arbres. Elle a été fréquemment appliquée pour reconstruire les variations climatiques des derniers siècles. L'hypothèse fondamentale pour ces reconstructions est que les cernes d'arbres répondent (d'une manière à déterminer) aux variations du climat passé. L'objet de la dendroclimatologie est d'obtenir ces informations. D'un point de vue statistique, le problème de l'extraction d'une information climatique peut être vu comme la recherche d'une variable aléatoire cachée représentant un facteur commun aux cernes d'arbres d'une même espèce échantillonnés sur un site géo-référencé. Habituellement, des techniques classiques de moyenne (Esper et al. 2002) sont appliquées pour estimer le comportement moyen de cette variable cachée "climatique". Les résultats obtenus avec ces techniques dépendent de l'espèce d'arbres, de la région d'étude et de la méthode statistique retenue. Cependant, il manque toujours une quantification précise de l'incertitude associée à la distribution de la variable cachée. Cette présentation propose, sous le paradigme bayésien, un modèle statistique paramétrique impliquant cette variable cachée dans une structure hiérarchique. Nous l'appliquerons successivement à des données simulées et à des largeurs de cerne réellement observées provenant d'une base de données portant sur des arbres échantillonnés en Europe.

Abstract. Dendrochronology, the scientific dating method based on the analysis of tree-ring growth patterns, has been frequently applied in climatology. The basic premise of dendroclimatology is that tree rings can be viewed as climate proxies, i.e. rings are assumed to contain some hidden information about past climate. From a statistical perspective, this extraction problem can be understood as the search of a hidden variable which represents the common signal within a collection of tree-ring width series. Classical

average-based techniques used in dendrochronology have been, with different degrees of success (depending on tree species, regional factors and statistical methods), applied to estimate the mean behavior of this latent variable. Still, a precise quantification of uncertainties associated to the hidden variable distribution is difficult to assess. To model the error propagation throughout the extraction procedure, we propose and study a Bayesian hierarchical model that focuses on extracting an inter-annual signal. Our method is applied to a European tree-ring database.

Mots-clés : Model Baysien hiérarchique, Incertitudes, Splines, Dendrochronologie, Cernes d'arbres, Reconstruction climatique

1 Un modèles Bayésien Hiérarchique

Evaluer les incertitudes statistiques liées au signal commun caché est une des difficultés de la dendrochronologie. Pour résoudre cet important problème, nous avons décidé de travailler avec un modèle Bayésien Hiérarchique. L'idée principale d'un tel modèle est de modéliser de façon statistique un processus complexe, ainsi que ses relations avec des observations à travers une hiérarchie de "couches". Les modèles Bayésiens Hiérarchiques permettent de façon élégante et efficace d'estimer les incertitudes liées à chaque "couche" en identifiant des distributions a priori et a posteriori. Pour une introduction à de tels modèles, voir Gelman *et al.* (2003). Dans les sciences de l'environnement, le modèles Bayésiens Hiérarchiques sont devenus de plus en plus populaire au cours des deux dernières décennies.

Comme nous venons de le dire, dans un modèle Bayésien Hiérarchique, est composé de différentes couches, généralement trois. Le niveau de base, c'est-à-dire la couche des données, qui caractérise les observations (les aires de cernes d'arbres dans notre cas). Le second niveau modélise le processus latent qui conduit la croissance de telles cernes (notre signal commun). Le troisième niveau, la couche des paramètres, contient l'information concernant les paramètre des distributions a priori qui contrôlent le processus latent.

2 Résultats

A partir du modèle que nous avons mis en place, nous obtenons les résultats suivants. La courbe solide de la Figure 1 montre la valeur médiane du signal commun estimé à posteriori sur la période 1846-2003. La partie ombrée correspond à l'intervalle de

crédibilité à 90%. De plus, nous comparons les résultats que nous avons obtenus avec notre modèle Bayésien Hiérarchique avec une des techniques classiques utilisées par les dendrochronologues (courbe en pointillés). Afin de tester la qualité de nos estimations, la Figure 2 représente pour les arbres 1, 2 et 3 les largeurs annuelles des cernes d'arbres en fonction d'une estimation naïve obtenue ajoutant les valeurs médianes a posteriori des paramètres de notre modèle sans le bruit. Comme nous l'attendions, les relations semblent linéaires. On obtient le même genre de résultat pour les autres arbres.

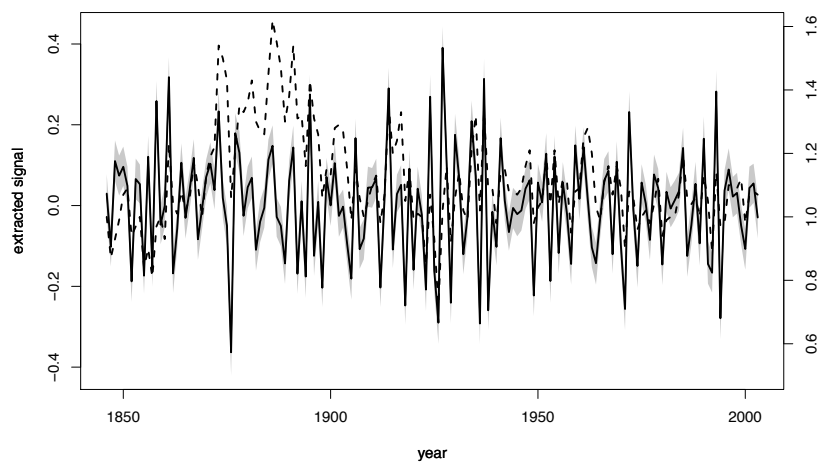


FIG. 1 – La ligne solide représente la valeur médiane du signal commun estimée à posteriori sur la période 1846-2003. La partie ombrée correspond à l'intervalle de crédibilité à 90%.

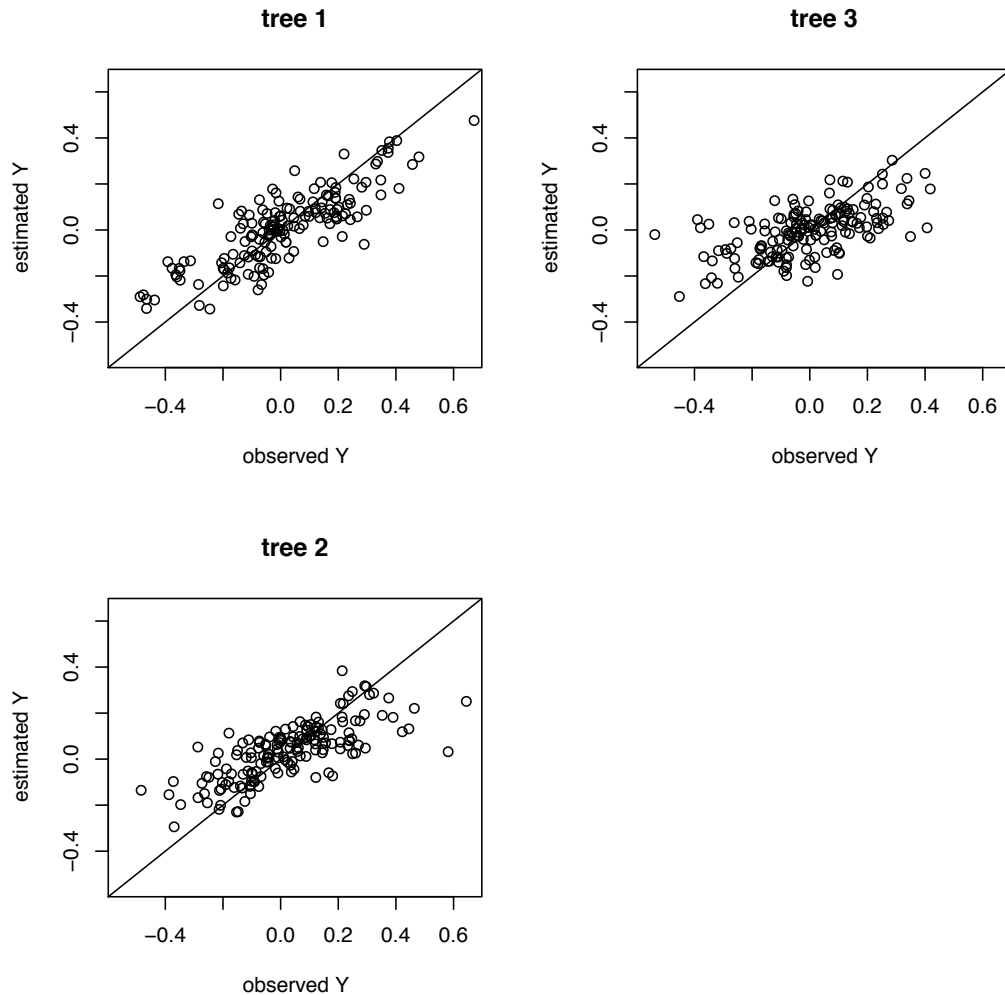


FIG. 2 – Pour chacun des arbres, les largeurs de cernes observées en fonction de leur estimation sont représentées.

Bibliographie

- [1] Boreux J.J., P. Naveau, O. Guin, L. Perreault, and J. Bernier (2009) Extracting a common high frequency signal from northern Quebec black spruce tree-rings with a Bayesian hierarchical model, *Climate of the Past*, submitted.
- [2] Nicault A., J. Guiot, J.L. Edouard and S. Brewer (2008) *Dendrochronologia*, submitted.
- [3] Esper J., E.R. Cook and F.H. Schweingruber (2002) Low frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability *Science*, 295.
- [4] Speckman P.L., D. Sun (2000) Bayesian Nonparametric and Autoregression Priors

Manuscript under review.

[5] Cook E.R. and A. Kairiukstis (1992) *Methods of dendrochronology* *Kluwer Academic Publishers*.

[6] Gelman A., J. Carlin, H. Stern, and D. Rubin (2003) *Data Analysis*, 2nd ed. *Chapman & Hall*.

[7] Wahba G. (1978) Improper priors, spline smoothing and the problem of guarding against model errors in regression *J. Royal Statist. Soc. Ser. B*, 40, 364-372.