

Tests de Monte Carlo de Détection de Modifications Climatiques

Jean-Cléophas ONDO (ISSEA¹, Yaoundé-Cameroun).
obotte@yahoo.com

Abstract

Climatic variability in West and Central Africa has been detected using statistical tests procedures for non-homogeneity in annual series of hydrological variables (LUBES et al., 1998). Although a few exact non-homogeneity tests are available, the commonly employed procedures are quite generally based on asymptotic approximations which may not provide good size control in finite samples. There has been a number of recent studies that seek to improve the reliability of common non-homogeneity tests using Edgeworth and bootstrap methods. Yet the latter remain approximate. In this companion paper, we describe a solution to the problem of controlling the size of non-homogeneity tests in linear regression contexts. We first exploit the technique of Monte Carlo tests to obtain provably exact p-values, for the new tests suggested. Secondly, we show that the MC test procedure conveniently solves the intractable null distribution problem, in particular those raised by the sup-type and combined test statistics. Finally, the performance of the procedures is examined by simulation. The properties of the proposed tests are studied in a Monte Carlo experiment which shows that standard non-homogeneity tests exhibit important size distortions, while MC tests achieve complete size control and display good power.

Résumé

L'Afrique Occidentale et Centrale connaît une variabilité climatique qui a été mise en évidence à l'aide des procédures de tests statistiques de détection de rupture appliqués aux séries annuelles de variables hydrologiques (LUBES et al., 1998). Bien qu'il existe quelques tests de détection de rupture exacts, les procédures couramment utilisées sont généralement fondées sur des approximations asymptotiques qui ne procurent pas un bon contrôle du niveau dans les échantillons finis. Plusieurs études récentes ont tenté d'améliorer la fiabilité des tests de rupture usuels, sur base de méthodes de type Edgeworth, et bootstrap. Cependant, ces méthodes demeurent approximatives. Dans ce papier, nous décrivons une solution au problème de contrôle du niveau des tests de rupture dans les modèles de régression linéaire. En premier, nous suggérons la technique des tests de Monte Carlo (MC) de façon à obtenir des seuils de signification marginaux (les valeurs-p) exacts pour les nouveaux tests que nous proposons. Deuxièmement, nous démontrons que la procédure de MC permet de résoudre les problèmes des distributions compliquées sous l'hypothèse nulle, en particulier ceux associés aux statistiques de type-sup et aux statistiques combinées. Finalement, nous évaluons la performance des tests de MC proposées par simulation. Nos résultats montrent que les tests de détection de rupture usuels présentent de sérieuses distorsions de niveau, alors que les tests de MC contrôlent parfaitement le niveau et ont une bonne puissance.

Domaine d'application : traitement des séries temporelles (détection de ruptures)

¹ Institut Sous-régional de Statistique et d'Economie Appliquée

1. INTRODUCTION

Une préoccupation importante de notre époque est de s'interroger sur les impacts des changements climatiques sur les différents secteurs d'activités humaines. Il est en effet crucial de se poser la question sur les conséquences que les modifications climatiques auront sur la production hydroélectrique, sur la santé publique, sur l'industrie forestière, sur l'agriculture et sur la gestion et les usages de l'eau en milieu urbain. Des travaux de recherche actuellement en cours à travers le monde visent à quantifier ces impacts. L'objectif principal de ces travaux est de voir dans quelle mesure on peut détecter toute modification climatique significative, et d'étudier l'évolution de la ressource résultant de ces modifications. Dans la littérature, il est important de faire la distinction entre la variabilité climatique et les modifications climatiques. La première notion fait référence à la variabilité inhérente à tout processus stochastique stationnaire, alors que la seconde indique généralement une dégradation à long terme des valeurs moyennes des caractéristiques statistiques des processus hydrométriques étudiés sur des périodes de longue durée. CAVADIAS (1992) identifie six différents types de modifications climatiques possibles que l'on peut regrouper en deux grands types de modifications climatiques à suivre : (i) changement de la moyenne (incluant la tendance en saut si l'on accepte l'existence de tel changement) ; et (ii) changement de la variance (augmentation ou diminution). Plusieurs tests statistiques ont été utilisés pour détecter des modifications climatiques dans des séries de données hydrométriques. Ces tests sont souvent appelés tests de changement de régime ou encore tests de détection de rupture ou bien tests de stabilité temporelle.

Le problème de détection de rupture a reçu autant (ou même plus) d'attention dans la littérature hydrométéorologiques. CAVADIAS (1992) a présenté une revue détaillée des approches disponibles. Les principales difficultés que cette littérature a adressées concernent la connaissance a priori de la date de rupture alors qu'en général, il est impossible d'identifier la date d'une modification climatique. De plus, bien que la littérature des tests de détection d'une rupture soit vaste, les études qui se sont directement intéressées au problème relatif à plusieurs ruptures sont peu nombreuses. À cet effet, on peut citer la procédure de segmentation des séries hydrométéorologiques proposée par HUBERT et al. (1989) qui n'est pas en toute rigueur, un test statistique mais plutôt une méthode d'estimation du nombre de rupture(s). Par ailleurs, ces différents tests de rupture sont unidimensionnels. Or un changement climatique est un phénomène global qui se manifeste à une échelle au moins régionale. Le problème de sa détection est alors multidimensionnel. Finalement, les tests de détection de rupture reposent souvent sur l'hypothèse que les observations sont indépendantes alors qu'en réalité, elles sont autocorrélées. Il peut-être alors difficile de dire si la rupture détectée dans une série, en général de taille limitée, est réelle ou plutôt induite par un phénomène de persistance dans les séries hydriques. À ce propos, LUBES et al. (1998) ont montré que, pour les tests largement employés dans les études de rupture en hydrométéorologie (le test de PETTIT (1979), le test de BUIHAND (1984), la procédure bayésienne de LEE et HEGHINIAN (1977), et la procédure de segmentation de HUBERT et al.), la persistance (l'autocorrélation) et la présence d'une tendance dans les séries sont les deux caractéristiques qui pénalisent le plus leur performance.

Dans ce papier, nous décrivons une solution au problème de contrôle du niveau des tests de rupture dans les modèles de régression linéaire. Les tests que nous proposons sont apparentés à ceux proposés par CHRISTIANO (1992) et DUFOUR et KIVIET (1996). En particulier, nous considérons : (i) des tests de type *supremum*, (ii) une évaluation conjointe des m -plus-larges critères de type-Chow, et (iii) des procédures séquentielles basées sur des variables indicatrices que l'on introduit au fur et à mesure. Ces derniers résultats sont généralisés sous différents angles : nous fournissons des p -valeurs exactes à chaque étape du test, nous prenons en compte formellement les méthodes de choix de m et les critères d'arrêt dans le cas des tests séquentiels

(*e.g.* l'algorithme de BAI et PERRON (1998)), et nous proposons de contrôler le niveau global. Nous illustrons l'utilité de ces méthodes par une étude de simulation et une application empirique portant sur un ensemble de séries de données hydrologiques (les débits moyens annuels d'un ensemble de 19 stations préalablement choisies, et ce, à partir de critères spécifiques). Ces séries ont déjà été utilisées dans le cadre du réseau de suivi des changements climatiques de la province de Québec (OUARDA et al., 1999). Le but poursuivi est de confronter nos conclusions avec celles obtenues par ces auteurs qui ont utilisé la procédure bayésienne de LEE et HEGHINIAN (1977) pour détecter les changements en moyenne dans ces séries de données.

Le plan de ce travail est le suivant. Dans la section 2 nous définissons le modèle de base, les notations et nous passons en revue les tests de détection de rupture considérés dans nos expériences de simulation. Dans la section 3, nous discutons les caractéristiques pivotales de la statistique de test considérée et nous présentons les procédures des tests de Monte Carlo. La section 4 est consacrée à la discussion des résultats obtenus à partir des expériences de simulation. Dans la section 5, nous fournissons une illustration expérimentale sur des données réelles. Finalement, nous tirons quelques conclusions à la section 6.