

# Analyse statistique du changement de la température de l'océan Atlantique au large de l'Afrique de l'Ouest

Delphine Grancher, Liliane Bel, Yves-François Thomas

► **To cite this version:**

Delphine Grancher, Liliane Bel, Yves-François Thomas. Analyse statistique du changement de la température de l'océan Atlantique au large de l'Afrique de l'Ouest. 41èmes Journées de Statistique, SFdS, Bordeaux, 2009, Bordeaux, France, France. 2009. <inria-00386799>

**HAL Id: inria-00386799**

**<https://hal.inria.fr/inria-00386799>**

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.

# **Analyse statistique du changement de la température de l'océan Atlantique au large de l'Afrique de l'Ouest**

**Delphine Grancher**

Laboratoire de Géographie Physique UMR8591 CNRS-Paris 1 92195 Meudon

**Liliane Bel**

AgroParisTech (dépt MMIP) 16 rue Claude Bernard F-75231 Paris cedex

**Yves-Francois Thomas**

Laboratoire de Géographie Physique UMR8591 CNRS-Paris 1 92195 Meudon

Résumé :

La température de l'Océan Atlantique au large des côtes mauritaniennes varie spatialement et temporellement. Les courants et les saisons engendrent des variations de plusieurs degrés au cours de l'année pour un même site. Dans un contexte de changement climatique, il est primordial de pouvoir repérer les zones ou les périodes qui subissent le plus de variation. Les données étudiées sont issues de mesures satellitaires mensuelles entre 1985 et 2005. Une procédure de tests multiples à été mise au point afin de déterminer l'ampleur du réchauffement dans les différentes les zones de l'Océan. On montre que ce réchauffement est d'au moins de 1°C sur toute la zone et peut atteindre 4,5 °C près des côtes marocaines.

Abstract

The temperature of the Atlantic Ocean of the Mauritanian coast varies spatially and temporally. Currents and seasons cause changes of several degrees during the year for a same site. In a context of climate change, it is essential to identify the areas or periods which bear the brunt of change. The data were studied from monthly satellite measurements between 1985 and 2005. A multiple test procedure is performed to determine the amount of warming at different areas of the ocean. We show that all areas suffer a warming of at least 1°C and that it can reach 4,5°C near Moroccan coasts.

Mots clés : Environnement, statistique spatiale

## **1. Problématique**

Dans un contexte de réchauffement climatique, l'évolution à la hausse de la température de la surface de l'Atlantique peut avoir de graves conséquences du point de vue environnemental en particulier sur la biodiversité des espèces marines. Afin de déterminer la réalité de cette évolution il est nécessaire de séparer la variabilité saisonnière et spatiale d'une éventuelle tendance à long terme.

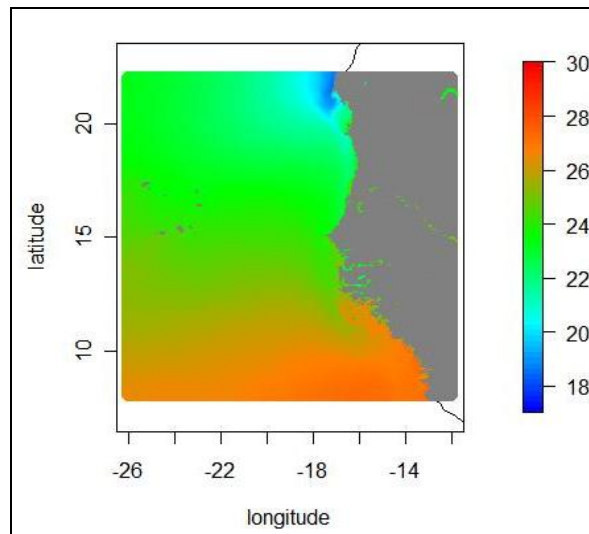
On dispose de données provenant du satellite AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) (Emery *et al.*, 1994) à résolution de 4.6\*4.6 km qui sont des moyennes mensuelles de température de surface marine. La période étudiée va de 1985 à 2005. La surface d'étude est comprise entre les 10<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> parallèles et entre le 25<sup>ème</sup> parallèle Ouest et le littoral mauritanien (Figure 1).



**Figure 1** : La zone d'étude Océan atlantique au large de l'Afrique de l'ouest

## 2. Phénoménologie et variabilité saisonnière

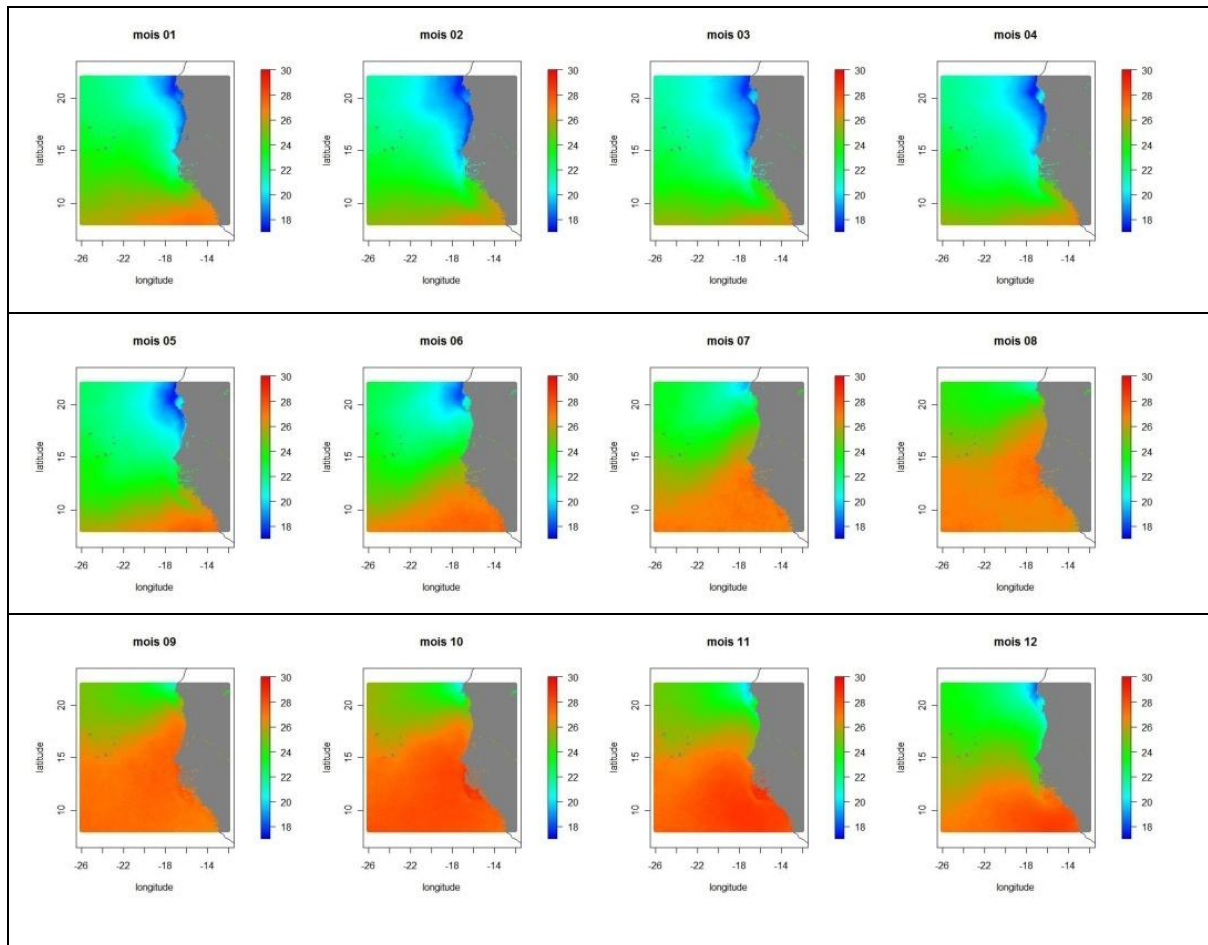
La figure 2 représente la moyenne des températures sur toute la période pour chaque pixel.



**Figure 2** : Température moyenne sur toute la période d'étude

On repère un gradient nord/sud de température de plus de 12°C. Les eaux les plus chaudes sont situées entre le 8<sup>ème</sup> et le 12<sup>ème</sup> parallèle Nord.

La Figure 3 représente les moyennes par mois sur les 20 années de données disponibles.



**Figure 3 :** Températures moyennes par mois

Le front d'eau froide (inférieur à 20°C) apparaît le long de la côte marocaine en novembre-décembre. Il progresse ensuite le long de la côte et atteint la Casamance en mars et son extension méridionale maximale. On note un gradient côte-large au niveau du front froid qui ne se retrouve pas, ou peu, dans les eaux supérieures à 25°C. En effet au mois de mars la température est de 22-24°C au large des côtes sud-marocaines contre 18°C près de la côte. Au large du Sénégal les températures sont en novembre de 28-29°C près de la côte et 27-28°C au large. Novembre est le mois où les eaux sont les plus chaudes au Sénégal, alors que les masses d'eau froide font déjà leur apparition près des côtes marocaines.

### 3. Tests

On note

$T_m^a(s)$  : la température moyenne au point  $s$  pour le mois  $m$  de l'année  $a$

$T_m(s)$  : la température moyenne au point  $s$  pour le mois  $m$  pour toute la période étudiée

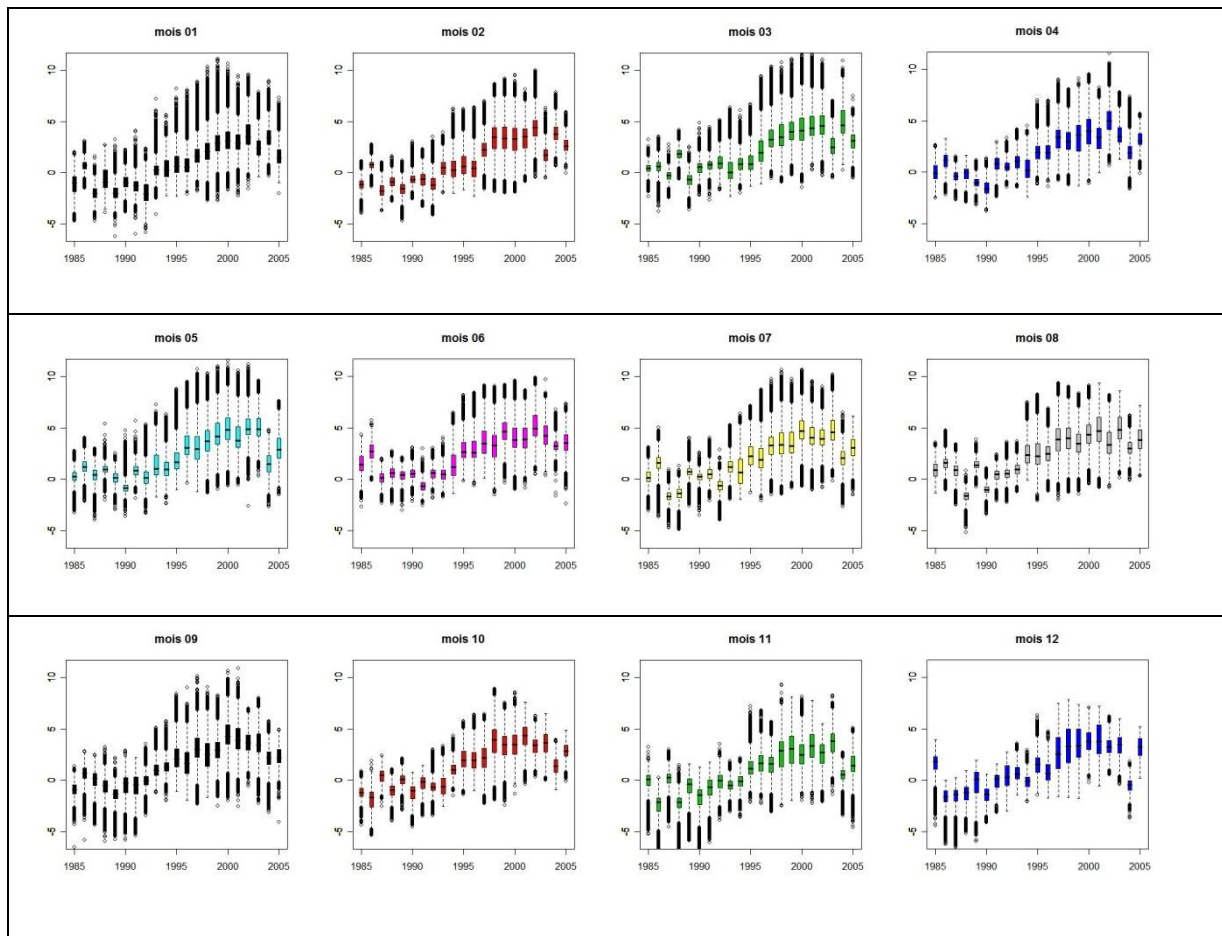
$T^a(s)$  : la température moyenne pour l'année  $a$  au point  $s$

$T(s)$  : la température moyenne au point  $s$  sur toute la période étudiée

Afin de pouvoir repérer une évolution climatique globale hors effet saisonnier on décompose la série temporelle en chaque pixel en un effet moyen, un effet mensuel et un résidu :

$$T_m^a(s) = T(s) + (T_m(s) - T(s)) + \varepsilon_m^a(s)$$

La Figure 4 donne les variations annuelles des résidus pour chaque mois de l'année.



**Figure 4 :** 3 Évolution des résidus sur la toute la période en fonction du mois

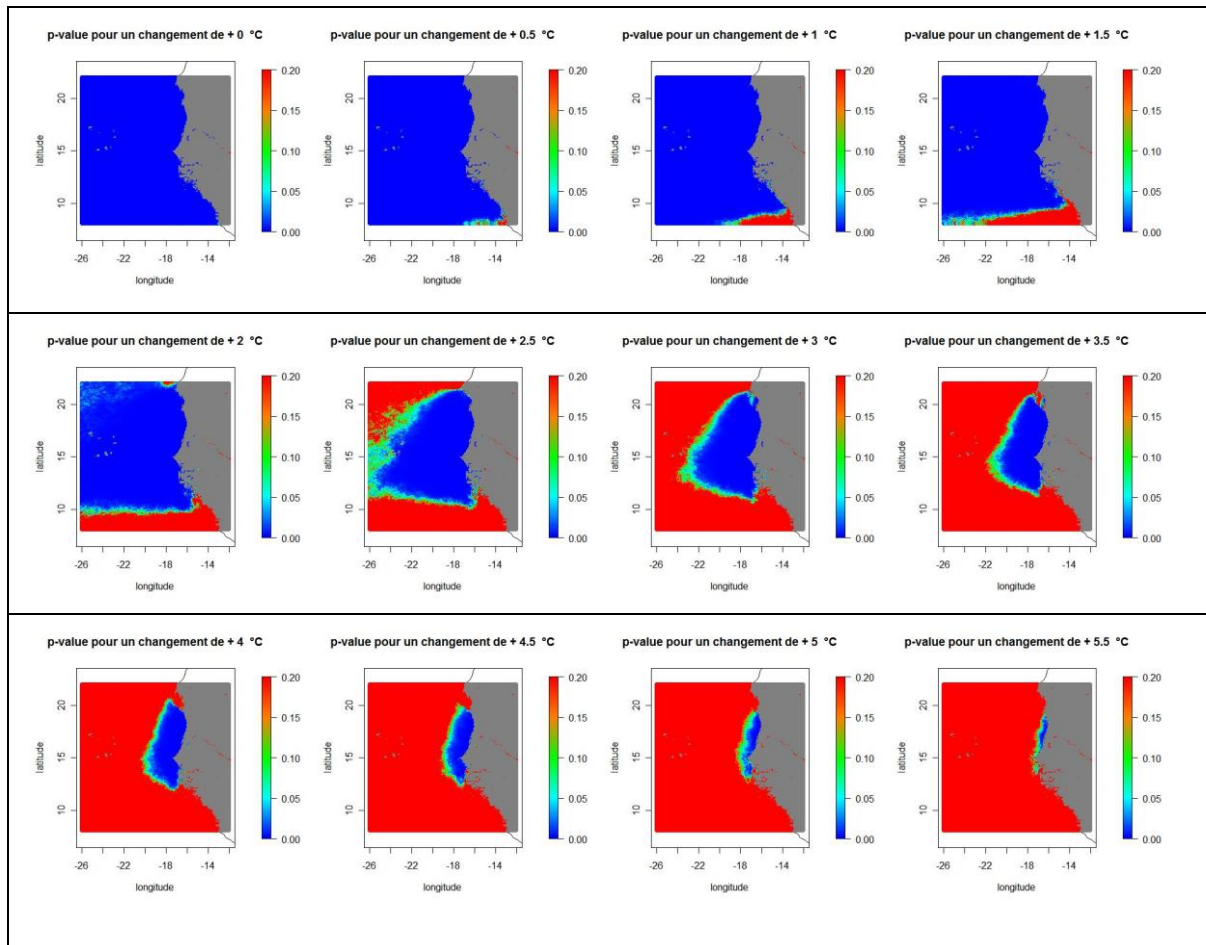
On note un comportement similaire pour les 12 mois de l'année. Après une relative stabilité entre 1985 et 1995 on repère une forte augmentation de la variabilité des résidus et une augmentation en valeur absolue jusqu'en 2004. On dispose de trop peu d'années d'observation pour pouvoir repérer une cyclicité mais on peut déjà émettre l'hypothèse d'un réchauffement général depuis 1996. On remarque cependant qu'il y a une plus forte variabilité les premiers mois de l'année par rapport aux mois d'automne.

Soit  $\mu_1(s)$  la moyenne des températures résiduelles au pixel  $s$  jusqu'en 1995 et  $\mu_2(s)$  la moyennes des températures résiduelles à partir de 1995.

Afin d'analyser la significativité du réchauffement à la date de 1995, on effectue pour chaque pixel le test de Student suivant :

$$H_0^x(s) : \mu_1(s) = \mu_2(s) + x \quad H_1^x(s) : \mu_1(s) < \mu_2(s) + x$$

$x$  varie de 0 à 5,5°C par pas de 0,5°C et permet de mesurer l'ampleur du réchauffement. Pour chaque pixel  $s$  on obtient une p-value qui sont représentées sur la Figure 5.



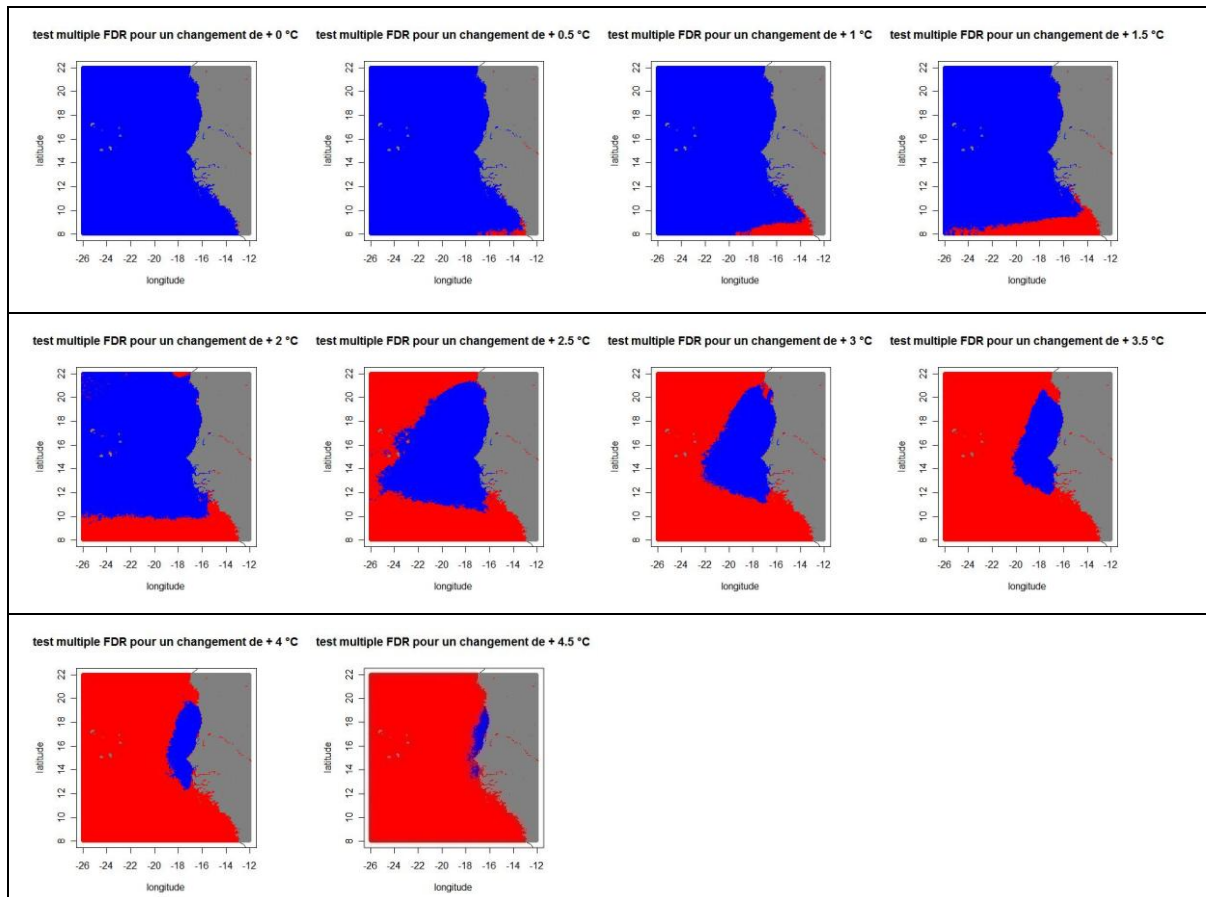
**Figure 5 :** p-value des tests de réchauffement en 1995 pour des augmentations de 0 à 5,5°C

Pour presque tous les pixels l'hypothèse  $H_0$  est rejetée pour une augmentation de température de 0, 0.5 et 1°C, montrant ainsi un réchauffement généralisé de la zone d'étude. Pour une augmentation de 2°C la zone de rejet de  $H_0$  est située au nord du 10<sup>ème</sup> parallèle. Enfin, pour des différences supérieures à 2°C, seule la frange littorale rejette  $H_0$  et se concentre progressivement sur les côtes mauritaniennes et sénégalaises. Au dessus de 5.5°C il n'y a plus de zone de rejet de  $H_0$ .

Afin de prendre en compte la multiplicité des tests, on met en œuvre la procédure BH (Benjamini Hochberg (1995)) qui permet de contrôler le FDR (False Discovery Rate) pour déterminer les zones où le réchauffement est significatif.

Les tests sont spatialement dépendants, mais la propriété PRDS (Positive Regression Dependency Subset) est vérifiée et la procédure BH continue à contrôler le FDR dans ce cas. La Figure 6 montre les zones de rejet de l'hypothèse  $H_0$  pour différents seuils, chaque mois de l'année.

L'augmentation de température est significative sur toute la région et particulièrement accentuée près des cotes marocaines où elle atteint 4,5°C.



**Figure 6 :** Zones pour lesquelles la différence de températures résiduelle est significativement supérieure aux différents seuils (en bleu) déterminées par la procédure de tests multiples BH au seuil de 0.05.

#### 4. Conclusion et perspectives

La procédure de tests multiples mise en œuvre montre que la température de l’océan au large de l’Afrique de l’ouest a augmenté de façon significative depuis 1995. Cependant l’amplitude de cette augmentation est inégale selon les zones : elle est au moins de 1°C sur toute la zone et atteint 4,5°C près des côtes marocaines.

L’élaboration d’un modèle spatio-temporel permettra dans une étape ultérieure de représenter plus finement l’évolution du phénomène et pourra donner des pistes d’action pour en limiter les conséquences.

#### Bibliographie

Yoav Benjamini and Yosef Hochberg (1995) *Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing*. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), Vol. 57, No. 1, pp. 289-300

Emery, W.J., Yunyue Yu, and Gary A. Wick (1994) *Correcting infrared satellite estimates of sea surface temperature for atmospheric water vapor attenuation*. Journal of Geophysical Research, 99(C3), 5219-5236.