

CHANGEMENT CLIMATIQUE EN AFRIQUE DU NORD : VERS DES CONDITIONS PLUS CHAUDES ET PLUS HUMIDES DANS LE MOYEN ATLAS MAROCAIN ET SES MARGES

NOUACEUR Z. ⁽¹⁾, LAIGNEL B. ⁽²⁾, TURKI I. ⁽²⁾

(1) UMR IDÉES CNRS 6226, 2. Université de Rouen, 1 rue Thomas Becket 76821 Mont-Saint-Aignan cedex, France [zeineddine.nouaceur@univ-rouen.fr]

(2) UMR CNRS 6143 M2C, Université de Rouen, 1 rue Thomas Becket 76821 Mont-Saint-Aignan cedex, France [benoit.laignel@univ-rouen.fr ; Imen.turki@univ-rouen.fr]

Résumé – Pour caractériser les changements climatiques observés aux échelles régionale et locale, une analyse thermique et pluviométrique est proposée. Celle-ci s'appuie sur la méthode graphique chronologique de traitement de l'information (MGCTI) de type Matrice Bertin. Cette investigation permet de rendre compte de l'extrême variabilité des pluies. Elle montre aussi le caractère sévère et durable de la sécheresse climatique observée dans ces régions à partir de la fin des années 1970 et le retour vers une possible phase humide notée à partir du milieu des années 2000. Dans le même temps, l'analyse de l'évolution des pluies extrêmes a montré une relation probante avec l'oscillation nord-Atlantique (NAO). Cette liaison est en phase avec les périodes sèches (indice positif de la NAO et fréquences élevées des pluies extrêmes de catégories sèches).

Mots-clés : changement climatique, tendance des températures, tendance des précipitations, oscillation nord-Atlantique, Maghreb.

Abstract – *Climate change in North Africa: Conditions to more and more hot humid in the Middle Atlas Moroccan and its margins.* To characterize the observed climate change at regional and local scales, an analysis of rainfall and thermal conditions is proposed. This studies is based on the chronological graphical method of information processing (MGCTI) Matrice Bertin. This investigation show us the extreme variability of rainfall and the long drought observed in the region from the late seventies. The return to wet condition from the mid-2000s. At the same time, the analysis of the evolution of extreme rainfall has shown a relationship with the North Atlantic Oscillation (NAO). This connection is in phase with dry periods (positive NAO index and high frequency of extreme rainfall categories dry).

Keywords: climate change, trends of temperature, trends of precipitation, North Atlantic Oscillation, Maghreb.

Introduction

Les résultats des différentes études portant sur l'évolution des précipitations montrent que, dans une moyenne globale, le changement climatique se traduit par une intensification des précipitations et une récurrence des événements extrêmes (plus perceptible sur les dernières décennies) (New *et al.*, 2001, Christensen *et al.*, 2007). Ces études mettent également en évidence que c'est surtout au niveau de la répartition mondiale des précipitations que des changements se feront, avec une augmentation dans les zones équatoriales et au niveau des pôles, au détriment des zones méditerranéennes, tropicales sèches et tempérées. Ces dernières années, les pluies ont occasionné de violentes inondations un peu partout dans le Monde. En 2008, les pluies de mousson ont été extrêmement fortes en Inde. En 2010, l'Australie a connu les plus grandes inondations de son histoire, avec près de quarante villes du nord-est du pays touchées et plus de 200 000 personnes affectées. Enfin, en 2013, l'Inde a fait face une nouvelle fois à une mousson exceptionnelle par sa rapidité de déplacement et par sa violence (plus de 5 000 personnes ont péri dans des inondations meurtrières), tandis que l'Europe centrale était touchée par des inondations d'une ampleur jamais observée depuis près de cinq cents ans, conséquences des très fortes pluies tombées sur l'Autriche, l'Allemagne, la Hongrie et la Tchéquie.

La zone méditerranéenne, reconnue comme zone de *hot spot* du changement climatique, devrait connaître d'ici 2100 une hausse moyenne des températures de 3 à 4 °C, une baisse des précipitations et une augmentation des événements extrêmes (GIEC, 2007). L'effet combiné du changement climatique et de l'impact anthropique entraînerait une pénurie d'eau pour environ 290 millions de personnes.

L'étude menée sur plus d'un demi-siècle de mesures enregistrées dans les stations météorologiques du Moyen Atlas marocain et ses marges (Fig. 1) montre que les températures

affichent une tendance à la hausse continue et que les précipitations observent un retour vers des conditions plus humides après une longue sécheresse climatique (cette dernière tendance ne concorde pas avec les projections des modèles climatiques pour cette zone du bassin méditerranéen). Cette nouvelle tendance observée dans tout le pays se fait cependant avec davantage d'événements intenses et orageux. À chaque épisode, ce sont d'énormes quantités d'eau qui sont déversées en quelques jours, voire en quelques heures seulement (Ourika en 1994, El Hajeb en 1997, El-Jadida en 1996, Taza en 1995, 1997, 2000, 2002, Mohamedia en 2002, Demnate en 2005, Casablanca en 2010 et 2012). Ce retour des pluies, s'il se confirme, pourrait marquer la fin de plusieurs décennies de sécheresses récurrentes, et annoncer un éventuel un retour durable à *la normale*. Cette hypothèse est soutenue par la mise en évidence de l'impact des différentes oscillations climatiques mondiales (North Atlantique Oscillation ; El Niño Southern Oscillation) sur l'ensemble des continents et notamment sur le continent africain (López-Moreno, 2011). Ces oscillations cycliques, dont la portée fait encore objet de débat, pourraient expliquer la variabilité des précipitations au Maroc et étayer l'hypothèse d'un retour des pluies marquant la fin des années de sécheresses.

1. Situation, données et méthodes

La zone d'étude marocaine correspond au Moyen Atlas septentrional et son avant-pays nord, le Saïs, qu'il domine de plusieurs centaines de mètres. Les stations principales de cette zone montagneuse sont Ifrane, Fès, Taza, Meknès et Sefrou (séries des précipitations de 1970 à 2010 et séries des températures de 1970 à 2011) (Fig. 1).

La méthode utilisée sera la méthode graphique chronologique de traitement de l'information (MGCTI) de type *Matrice Bertin* (Nouaceur *et al.*, 2013). Appliquée aux données de températures et de précipitations, cette méthode permet d'analyser dans un premier temps la répartition spatiotemporelle du paramètre météorologique, puis de déterminer dans un deuxième temps les dates de changements de cycle, s'il y a des cyclicités manifestes, grâce à l'analyse régionale.



Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

1.1. Première étape : un classement par année par rapport aux valeurs limites (Q1, Q2, Médiane, Q3 et Q4) est effectué pour toutes les stations et sur toute la série. Les années dont

les totaux pluviométriques ou les températures sont inférieurs à la valeur limite du premier quintile (Q1) sont considérées très déficitaires (très sèches ou très fraîches). Celles qui se placent entre le premier et le deuxième quintiles (Q2) sont considérées comme déficitaires (sèches ou fraîches). Les années dont la hauteur pluviométrique ou la température est comprise entre le deuxième quintile et la médiane, sont normales avec une tendance sèche ou une tendance fraîche. Entre l'intervalle médian et le troisième quintile (Q3), les années sont normales avec une tendance humide ou chaude. Entre le troisième et le quatrième quintile (Q4) se trouvent les années humides et les années chaudes. Enfin, toutes les années dont les totaux pluviométriques et les températures sont supérieurs au quatrième quintile sont considérées comme très excédentaires (très humides ou très chaudes).

1.2. Deuxième étape : un recodage des valeurs grâce à une gamme de couleurs est effectué (la couleur variant suivant la position du cumul pluviométrique annuel par rapport aux valeurs limites). Ce premier traitement est suivi d'une procédure de réordonnement (permutations de colonnes) afin d'obtenir un classement qui permette de visualiser une structure colorée homogène (Matrice Bertin). Cette procédure permet de visualiser l'évolution du paramètre climatique selon deux dimensions (temps et espace). Pour déterminer les ruptures et les périodes caractéristiques, une deuxième procédure est entreprise. Elle consiste à affecter un nombre variant de 1 (année très sèche ou très froide) à 5 (année très humide ou très chaude), suivant les caractères déjà déterminés et attribués à chaque année. La somme des nombres de toutes les stations pour chaque année est centrée réduite, ce qui permet d'obtenir ainsi un indice qui varie de + 1,80 pour une année très humide ou très chaude à - 1,80 pour une année très sèche ou très froide. La projection du résultat sur un graphique permet de voir l'évolution du phénomène à une échelle régionale dans un premier temps et, dans un deuxième temps, de déterminer les dates de ruptures et de changement de tendance.

2. Une tendance nette à la hausse dès l'année 1981 pour les températures

La tendance des températures enregistrées dans le Moyen Atlas confirme le réchauffement climatique qui affecte toute cette partie sud du bassin méditerranéen.

Pour les températures minimales, la matrice MGCTI de la figure 2 montre deux principales phases :

- une première phase fraîche de 1970 à 1985 ;
- une phase chaude avec un début de réchauffement qui se précise à partir de 1986. Dans cette longue période est intercalée, entre 1991 et 1993, une période fraîche qui a touché aussi l'Algérie.

Pour les températures maximales, on note :

- une courte phase fraîche (1970-1980) ;
- une phase variable entre 1982 et 1990 (oscillation d'années fraîches et chaudes) ;
- une courte phase fraîche entre 1991 et 1993 (observée aussi en Algérie) ;
- le début du réchauffement à partir de 1994 (seules deux années affichent des indices régionaux négatifs (1996 et 2008).

3. Va-t-on vers des conditions plus humides ?

L'application de la méthode graphique chronologique de traitement de l'information aux données pluviométriques enregistrées au Moyen Atlas et ses marges, nous permet de déceler une structure organisée qui présente des phases de tendance bien délimitées (Fig. 2) :

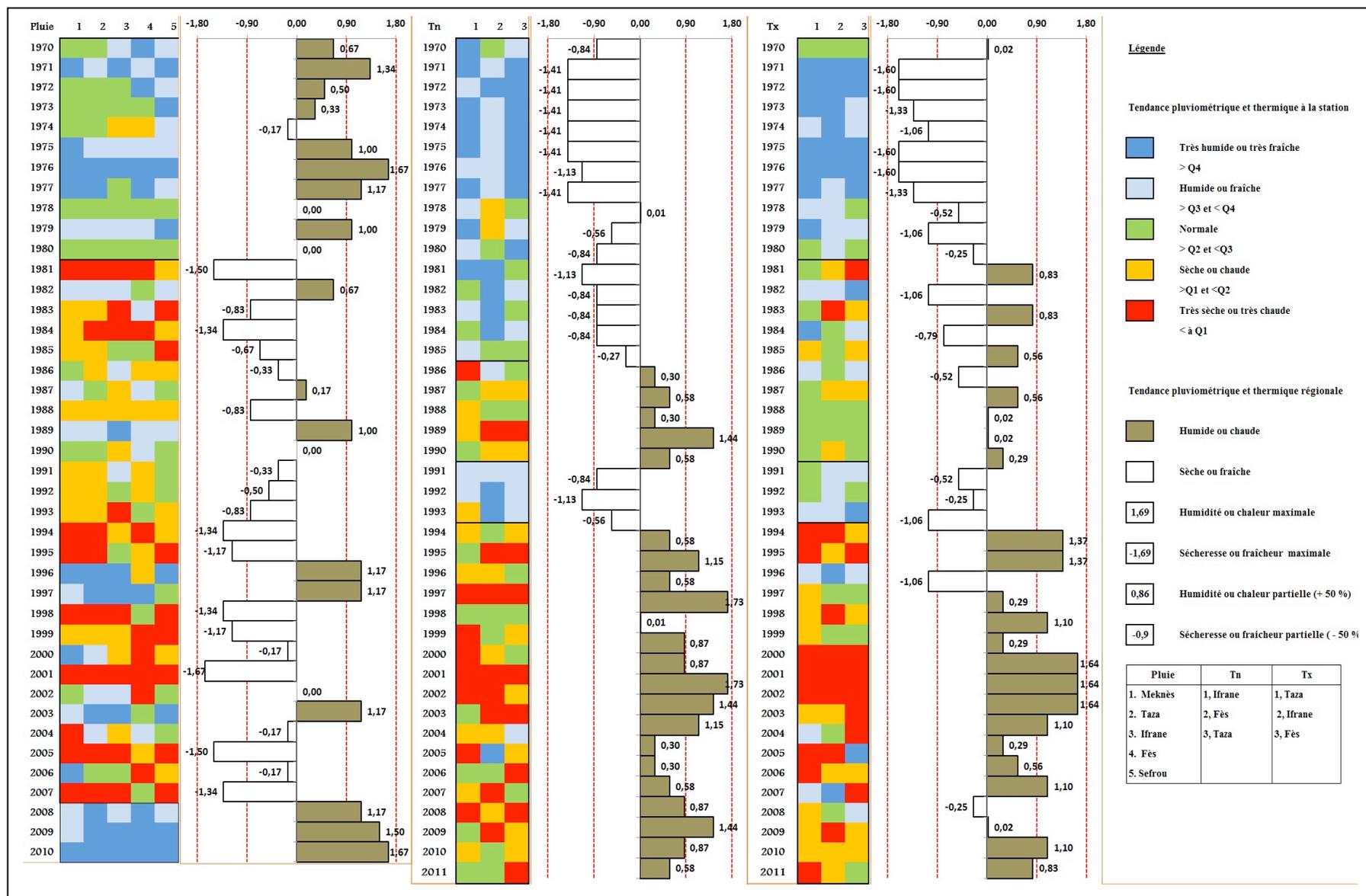


Figure 2 : Matrice « MGCTI » appliquée aux températures et aux précipitations moyennes annuelles (1970-2010)

- une phase humide entre 1970 et 1980 : les pluies annuelles sont marquées par une tendance à la hausse puisque les indices sur cette première période sont tous positifs avec quatre années supérieures à + 1 ;
- à partir de l'année 1981, une longue sécheresse qui dure vingt-sept ans, marque ce territoire. Les écarts centrés réduits affichent des valeurs négatives supérieures à - 1 pendant neuf années. Enfin, sur les vingt-sept années de cette période, seules six années se classent dans la catégorie humide (1982, 1988, 1996, 1997 et 2003) ;
- la dernière phase (2008-2010) rompt avec les conditions sèches observées précédemment. Nous retrouvons des conditions humides avec des indices qui dépassent + 1. On remarque aussi que les deux dernières années sont caractérisées par une pluviométrie largement excédentaire *très humide* dans toutes les stations.

Les signes de changements sont très significatifs sur les dernières années. Qualifiées d'exceptionnelles et historiques, les pluies ont rempli les barrages à leurs capacités maximales (le taux de remplissage du barrage d'Al Wahda, le plus grand barrage du royaume, situé sur l'oued Ouergha, a été de près de 90 % en 2010 et a atteint 98,5 % en février 2009, contre 70 % en moyenne les années précédentes). La production céréalière pour l'année agricole 2009-2010 a atteint un record de 80 millions de quintaux. Cette tendance se confirme pour l'année 2012-2013, puisque la pluviométrie moyenne pour cette région (450 mm) excède de 20 % une année normale, tandis que la production céréalière a atteint un nouveau record avec 97 millions de quintaux.

4. Existe-t-il un lien entre la pluviométrie maghrébine et l'Oscillation Nord-Atlantique ?

Afin de déterminer dans quelle mesure la NAO influence la pluviométrie observée dans le Moyen Atlas et ses marges, on utilise l'évolution de la fréquence des années extrêmes (classe supérieure au troisième quintile ou inférieure au deuxième quintile). Ainsi, pour chaque année, on évalue le nombre de stations qui satisfait à ces conditions. Ce nombre est ensuite traduit en pourcentage par rapport au total des stations. La projection de ces résultats sur un graphique permet de traduire la variation régionale des cumuls pluviométriques extrêmes. La figure 3 obtenue selon cette méthode de travail permet d'identifier les principales phases qui marquent la pluviométrie extrême de ces régions et facilite la comparaison avec l'évolution de l'oscillation Atlantique matérialisée par l'indice moyen de la NAO calculé sur la période de septembre à février.

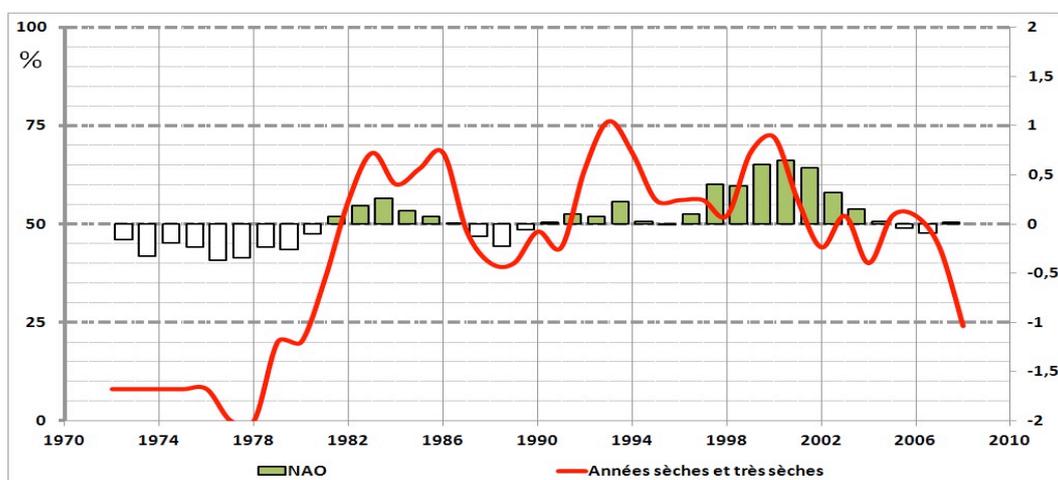


Figure 3 : Pourcentage annuel des stations ayant connu une année sèche ou très sèche (courbe) et indice NAO calculé de septembre à février (histogrammes) sur la période 1970-2010

Les quatre phases déjà identifiées sur la matrice de la figure 2 sont bien mises en évidence par les vicissitudes des courbes. La première période humide (1970-1980) est en phase inverse avec la NAO (indice négatif de l'Oscillation Nord-Atlantique et fréquences faibles des années sèches et très sèches). Dans ces conditions, la pression associée à l'anticyclone des Açores est plus faible par rapport à sa valeur normale et, dans le même temps, la dépression d'Islande est à peine plus creuse. Selon ce mode de circulation, le rail des dépressions se déporte plus au sud et touche ainsi les régions méditerranéennes de la Rive-Sud qui seront plus arrosées. Lorsque l'indice NAO devient positif (renforcement de l'anticyclone des Açores et creusement de la dépression d'Islande), le rail des dépressions se déporte vers les latitudes septentrionales, ce qui favorise la mise en place d'un temps sec et doux sur le pourtour du bassin méditerranéen et les régions maghrébines. Nous retrouvons ainsi une très forte liaison entre l'augmentation des fréquences des années sèches et les indices positifs de la NAO. La grande sécheresse qui commence en 1981 et finit en 2007 correspond ainsi à une période de renforcement du gradient de pression sur l'Atlantique nord. En effet, nous notons sur cette période les indices les plus élevés de la NAO.

Enfin, la dernière phase humide qui concerne les dernières années de la série (2008-2010) est traduite par une baisse de l'intensité de la NAO (indice NAO positif moins affirmé et négatif sur certaines années) et une diminution du pourcentage des fréquences des années sèches et très sèches.

Conclusion

Si les conditions thermiques accusent toujours une hausse des valeurs, malgré une légère baisse de l'intensité du réchauffement constatée pour les Tn et les Tx à partir de 2004, la pluviométrie marocaine affiche ces dernières années des conditions plus humides qui rompent avec les conditions drastiques qu'a connues cette région pendant près de vingt-sept ans (1981-2007). Enfin, la dernière phase de la série (2008, 2009 et 2010) se démarque clairement par des indices records qui indiquent peut-être l'amorce d'une nouvelle tendance. À partir de 1996, quelques années humides ponctuent cette longue série (1996, 1997, 2003). Ces nouvelles dispositions augurent-elle d'une nouvelle tendance climatique plus clémente ? À l'heure actuelle, il est très difficile d'apporter une réponse à cette question, mais les dernières informations recueillies permettent de dresser un bilan plus que moyen des campagnes agricoles 2010/2011 et 2011/2012 (DEPF, 2012), ce qui conforte le point de vue exposé dans cette étude.

Références bibliographiques

Christensen, J.H., Hewitson B., Busuioc A., Chen A., Gao X., Held I., Jones R., Kolli R.K., Kwon W.-T., Laprise R., Magaña Rueda V., Mearns L., Menéndez C.G.Räisänen, J., Rinke A., Sarr A., Whetton P., 2007: Regional Climate Projections. In *Climate Change 2007: The physical Sciences Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. and Miller H.L. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, New York, 847-940. <https://www.ipcc-wg1.unibe.ch/publications/wg1-ar4/ar4-wg1-chapter11.pdf>

Direction des études et des prévisions financières (DEPF), 2012 : *Note de conjoncture*, **19**, 23 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007: *Impacts, Adaptation & Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 p. <http://www.ipcc.ch/>

Lopez Morino J.I., Vicente Serrano S.M., Moran Tejada E., Lorenzo Lacruz J., Kenawy A., Beniston M., 2011: Effects of the North Atlantic Oscillation (NAO) on combined temperature and precipitation winter modes in the Mediterranean mountains: observed relationship and projections for the 21st century. *Global and Planetary Change*, **77**, 62-76.

New M., Todd M., Hulme M., Jones P., 2001: Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *International Journal of Climatology*, **21(15)**, 1 889-1 922.

Nouaceur Z., Laignel B., Turki I., 2013 : Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien ? *Physio-Géo*, 7, 307-323. <http://physio-geo.revues.org/3686> ; DOI : 10.4000/physio-geo.3686