

Températures maximales estivales

Méditerranée

Le concept de «Time of emergence» appliqué aux températures maximales d'été sur le bassin méditerranéen

Albin Ullmann

Centre de Recherches de Climatologie,
UMR 6282 Biogéosciences
Département de Géographie, Université de Bourgogne
albin.ullmann@u-bourgogne.fr

Le concept de «Time of emergence» appliqué aux températures maximales d'été sur le bassin méditerranéen

Dans le contexte de l'adaptation des sociétés au changement climatique se pose la question du moment à partir duquel la tendance au réchauffement deviendra significative par rapport à la variabilité naturelle du climat. C'est le concept de «time of emergence» (Toe). Dans cette étude, ce moment est défini à partir des températures maximales estivales moyennes sur le bassin méditerranéen, selon une trajectoire probable de forte augmentation des gaz à effet de serre (RCP 8,5). La cartographie obtenue montre que la période se situe autour de 2040-2050 sur le bassin oriental et de 2060-2070 sur le bassin occidental. Parallèlement, sur l'ensemble de la rive nord, les jours très chauds pourraient devenir de plus en plus fréquents en été.

The time at which the signal of climate change emerges from the noise of natural climate variability is called "time of emergence". This time is analyzed here based on summertime mean maximum temperature in the Mediterranean basin for RCP 8.5 scenario. This time would be around 2040-2050 (2060-2070) in the eastern (western) basin. In the whole northern Mediterranean basin, the 90th percentile of summertime maximum temperature could increase almost twice faster than the 10th percentile of summertime maximum temperature for the period 2006-2100.

Changement climatique en Méditerranée

Introduction

Le bassin méditerranéen est une zone de transition majeure entre le climat tropical et le climat des moyennes latitudes. Il est considéré dans le dernier rapport du GIEC comme un « hot spot » du changement climatique en raison de la rapidité des changements d'ores et déjà observés (IPCC, 2013). La question du moment à partir duquel l'homme aura définitivement impacté le climat, sans que celui-ci ne revienne jamais à un état moyen initial, est souvent au cœur des débats puisqu'elle conditionne les stratégies d'adaptation. La notion de « time of emergence » (Toe) permet d'appréhender cette partie du questionnement sur le changement climatique. En effet, grâce aux modèles climatiques, il est possible de simuler la variabilité du climat sous l'effet des forçages naturels uniquement et de la comparer à celle simulée au 21^{ème} siècle pour différentes trajectoires de forçages anthropiques. Il devient donc possible d'estimer un moment, ou plutôt une période, à partir de laquelle le changement climatique d'origine anthropique aura définitivement fait basculer les conditions climatiques dans un nouvel état moyen. Cette information sur le changement climatique est particulièrement importante en termes de communication et peut favoriser l'action auprès des décideurs, notamment pour la gestion des risques climatiques. Ainsi, après avoir présenté les données et la méthode, cette étude propose d'estimer le « time of emergence » dans le bassin méditerranéen et de répondre en partie à trois questions : « où », « quand » et « comment » le changement climatique va-t-il définitivement impacter les températures maximales en été ?

I. Données et méthodes

Les données et méthodes sont analysées sur la période de mai à août uniquement (quatre mois consécutifs dénommés « été » dans le texte).

I.1. Les données

Les températures maximales quotidiennes des réanalyses ERA-Interim (résolution 1,5° ; Berrisford *et al.*, 2011) de l'ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast) sont utilisées sur la période 1979-2005 entre [-15°O ; 40°E] et [25°N ; 55°N] pour établir une comparaison avec les températures simulées.

L'analyse du signal du changement climatique est réalisée à partir des simulations pour la trajectoire RCP 8,5 (Representative Concentration Pathways) établies par Moss *et al.* (2010) et par Meinshausen *et al.* (2011). Ce scénario correspond à +8,5 W/m² produisant une augmentation de 5°C en moyenne d'ici à 2100. Cette trajectoire (figure 1, trait et surface en rouge) est privilégiée car les émissions en gaz à effet de serre mesurés depuis plusieurs années suivent très clairement ce scénario (Peters *et al.*, 2013).

Pour appréhender la variabilité naturelle du climat simulé, les expériences « pre-industrial control » (Pi control) sont utilisées. Il s'agit de simulations faites avec les valeurs de concentrations atmosphériques en gaz à effet de serre, en aérosols et en ozone équivalentes à celles de 1850, en incluant les oscillations naturelles du forçage solaire. Les simulations « historiques » sont également utilisées sur la

une comparaison avec les réanalyses ERA-Interim (simulations réalisées avec l'évolution observée de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre ainsi que des forçages naturels). Cette étude repose sur dix modèles : programme CMIP5 – Coupled

Intercomparaison Project Phase 5 (tableau 1 et figure 1). Pour faciliter les comparaisons entre les simulations et les réanalyses, les températures simulées par les modèles ont été interpolées à la même résolution de 1,5°.

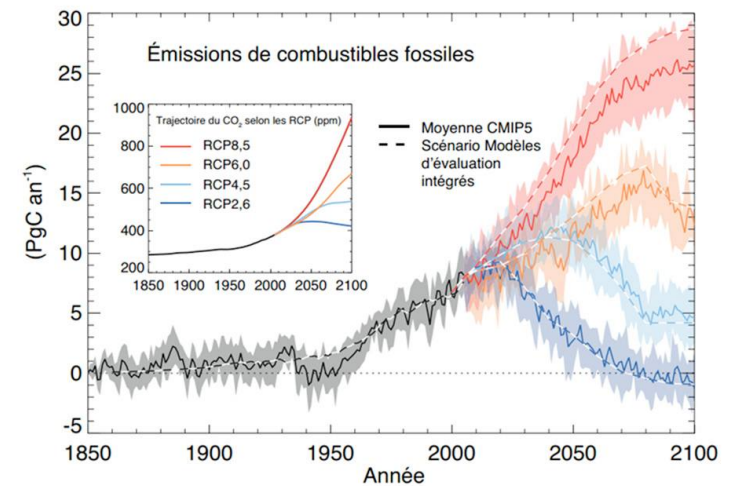


Figure 1. Emissions de combustibles fossiles, d'après le 5^{ème} rapport du GIEC (source : IPCC, 2013).

Organismes	Modèles
Australian Community Climate and Earth-System Simulator (ACCESS)	ACCESS-G
Beijin Normal University (BNU)	BNU-ESM
Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM)	CNRM-CM5
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)	CSIRO-mk3.6.0
Institute for Numerical Mathematics (INM), Russian Academy of Sciences	INM-CM4
Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)	IPSL-CM5-MR
Center of Climate System Research - Tokyo (CCSR)	MIROC5
Max Planck Institute (MPI) for Meteorology, Germany	MPI-ESM-LR
Meteorological Research Institute (MRI), Japan	MRI-CGCM3
National Oceanic and Atmospheric Administration - USA (NOAA)	GFDL-ESM2G

Tableau 1. Modèles CMIP5 utilisés dans cette étude et l'institution d'origine

I.2. La méthode

Il n'existe pas de définition ou de métrique unique du « time of emergence ». Cette notion dépend du choix des variables, des échelles de temps et d'espace, de la référence à partir de laquelle le changement est mesuré et du seuil à partir duquel la notion d'émergence est définie (Kirtman et al. 2013). Estimer le Toe d'un signal climatique nécessite l'estimation du signal du changement climatique (S) et de la variabilité naturelle du climat, ou « bruit » (B). Ce « bruit » se produit en l'absence de forçages externes et intègre les processus intrinsèques de l'atmosphère, de l'océan et du couplage océan-atmosphère (Madden, 1976 ; Feldstein 2000 ; Deser et al. 2012). Le Toe est défini comme le moment (année, décennie) à partir duquel le rapport signal / bruit (S/B) dépasse définitivement un certain seuil (1 ou 2).

Dans cette étude, le signal et le bruit de la température maximale en Méditerranée sont calculés pour chaque été, pour chaque modèle et en chaque point de grille. Le Toe sera l'année à partir de laquelle ce signal dépassera définitivement la variabilité naturelle, en prenant comme critère la valeur de température estivale moyenne + 2 fois l'écart type « naturel » établi sur la période pré industrielle.

Chaque été, les percentiles 90% et 10% ainsi que le coefficient d'asymétrie sont extraits à partir des températures quotidiennes maximales. Une régression linéaire est calculée pour chacun de ces indicateurs statistiques sur la période 2006-2100 afin d'analyser comment la distribution estivale des températures maximales pourrait évoluer au 21^{ème} siècle selon la trajectoire RCP 8,5.

II. Résultats

2.1. Températures maximales observées et simulées sur la période 1979-2005

La figure 2 présente les températures maximales estivales moyennes calculées sur la période 1979-2005 pour ERA-Interim (figure 2a) et la moyenne multi-modèles des simulations historiques pour la même période (figure 2b). La géographie des températures autour du bassin méditerranéen est quasi similaire entre les réanalyses et les modèles. Un léger biais chaud est observé sur la

rive sud du bassin oriental (figure 2c) mais aucune anomalie entre les réanalyses et les simulations n'est statistiquement significative selon un test de Student. Les modèles numériques simulent donc de façon robuste les températures estivales moyennes autour du bassin méditerranéen.

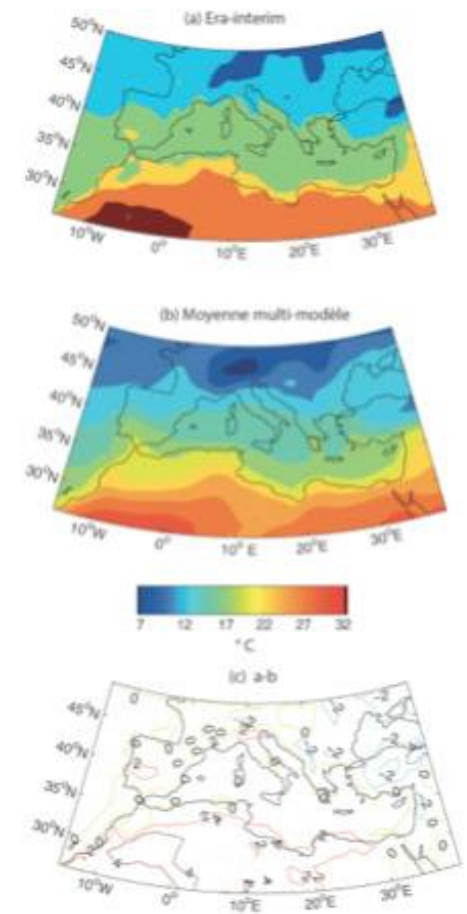


Figure 2. (a) Températures maximales estivales (mai-août) moyennes sur la période 1979-2005 (ERA-Interim). (b) Moyenne multi-modèle des températures maximales estivales (mai-août) moyennes sur la période 1979-2005 (run historique). (c) a-b.

II.2. Time of emergence

A partir de la comparaison de la situation actuelle et celle projetée par les modèles selon une trajectoire RCP 8,5, une géographie des Toe se dessine autour du bassin méditerranéen. Elle permet d'apporter des réponses aux questions du « quand » et « où » la modification définitive du climat pour le siècle en cours s'opérera (figure 3). Il apparaît clairement que sur le bassin oriental les températures maximales estivales moyennes devraient définitivement dépasser la variabilité naturelle du climat aux alentours de 2025-2035. Ces valeurs sont plus tardives d'environ vingt ans sur le bassin ouest, pour lequel le Toe apparaît aux alentours de 2045-2055. De plus, le signal du réchauffement devrait émerger sur la partie sud du bassin oriental au moins dix ans avant la partie nord.

Ces résultats semblent cohérents avec les travaux de Hertig et Jacobéit (2008) qui projettent un réchauffement des températures estivales en Méditerranée plus rapide sur le bassin est que sur le bassin ouest. En été, la configuration barométrique à large échelle

favorise le passage des vents provenant du nord de l'Afrique et du Sahara vers la partie centrale et est de la Méditerranée, y provoquant un réchauffement plus rapide qu'ailleurs (Maheras et Kutiel, 1999 ; Xoplaki et al., 2003). Comme le Sahara devrait se réchauffer de manière importante au cours du 21ème siècle (Hawkins et Sutton, 2012), l'apport d'air chaud en été pourrait devenir de plus en plus intense en Méditerranée centrale et sur l'ensemble du bassin est, favorisant le dépassement de la variabilité naturelle des températures maximales en été plus précocement que sur le bassin ouest. Il est intéressant de noter qu'à l'ouest, les tendances des températures maximales estivales moyennes de la rive sud (Maroc, Algérie, Tunisie) ne devraient pas émerger de la variabilité naturelle du climat avant celles de la rive nord. Cependant, certains secteurs pourraient avoir un Toe légèrement plus précoce comme notamment la péninsule ibérique et le sud de l'Adriatique, avec des échéances aux alentours de 2035-2040. En termes de variabilité inter-modèles, quinze ans en moyenne séparent le modèle au Toe le plus précoce du modèle au Toe le plus tardif.

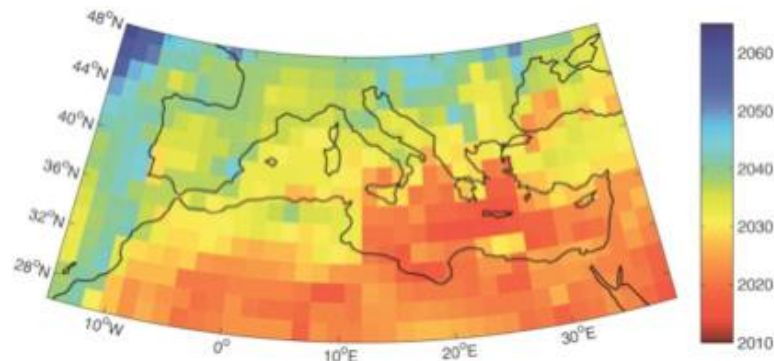


Figure 3. Time of emergence des températures maximales estivales (mai-août) moyennes. Valeur moyenne multi-modèle, scénario RCP 8,5.

II.3. Distribution des températures maximales quotidiennes en été de 2006-2100

Afin d'appréhender « comment » le changement climatique pourrait impacter les températures maximales en été en Méditerranée, la figure 4 présente les tendances des percentiles 10 (P10), percentiles 90 (P90) et de l'espace inter-percentile (P90-P10) des températures estivales de 2006 à 2100. Les P10 et P90 augmentent partout dans le bassin méditerranéen. Cependant, sur la rive nord, les P90 augmentent presque deux fois plus vite que les P10. En d'autres termes, les températures maximales les plus hautes s'y réchauffent deux fois plus vite que les températures maximales les plus basses.

Dans le reste du bassin, les P10 et P90 se réchauffent à la même vitesse, témoignant d'un glissement de l'ensemble de la distribution des températures maximales vers un état moyen plus chaud.

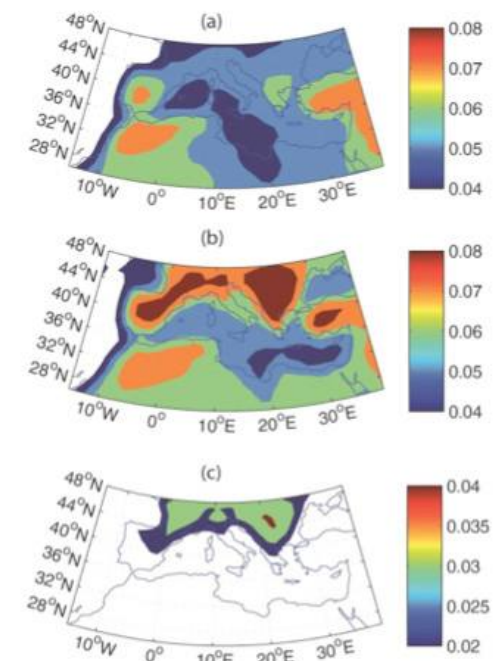


Figure 4. Tendance linéaire du percentile 10 (a), percentile 90 (b) et de l'espace inter-percentile (P90-P10) (c) des températures maximales quotidiennes en été sur la période 2006-2100. Les résultats sont tracés seulement si 2/3 des modèles montrent une tendance significative (test en T de Student, à 90%).

Conclusion

La figure 5 montre la tendance du coefficient d'asymétrie calculé sur la période 2006-2100. Appliquée aux températures quotidiennes maximales en été, il indique que les jours très chauds deviennent de plus en plus fréquents. En cohérence avec les résultats de la figure 4, la valeur du coefficient d'asymétrie baisse significativement sur l'ensemble de la rive nord du bassin méditerranéen. Cette tendance indique que les étés sur ce secteur pourraient connaître des jours très chauds de plus en plus fréquents par rapport aux jours avec des températures maximales plus clémentes. Cette tendance indique également que la variabilité quotidienne des températures

maximales en été pourrait devenir de plus en plus marquée sur la rive nord du bassin méditerranéen. En d'autres termes, ce secteur pourrait connaître une « extrémisation » des températures maximales en été.

Le concept de « time of emergence » est défini comme la période (année, décennie) à partir de laquelle le signal du changement climatique dépassera définitivement la variabilité naturelle du climat. D'après ce critère, il est possible d'estimer un moment à partir duquel les actions anthropiques auront définitivement modifié l'état moyen « naturel » du climat. Concernant les températures maximales estivales moyennes sur le bassin méditerranéen, pour une trajectoire RCP 8,5, le changement définitif d'état moyen devrait être plus précoce dans la partie orientale (aux alentours de 2040-2050) que dans la partie occidentale (aux alentours de 2060-2070). Sur la rive nord du bassin méditerranéen, le réchauffement des températures maximales les plus fortes pourrait être presque deux fois plus rapide que celui des températures maximales les moins chaudes. Ainsi, la distribution des températures quotidiennes maximales en été serait marquée par des jours très chauds de plus en plus fréquents. Certes, comme tous les indices climatiques issus de la statistique appliquée aux simulations numériques du climat, la robustesse de la notion de « time of emergence » peut être discutée et améliorée. Cependant, il faut garder à l'esprit qu'elle doit être considérée comme un indicateur d'une période (une décennie par exemple) et non pas comme une date précise. Néanmoins, cette échéance a le mérite de rendre beaucoup moins abstraite la notion de changement climatique anthropique face aux fluctuations naturelles du climat ce qui peut favoriser l'action auprès des décideurs en proposant un « point de non-retour » du changement climatique. En ce sens, la notion de « time of emergence » est un bon outil de communication sur la question du changement climatique.

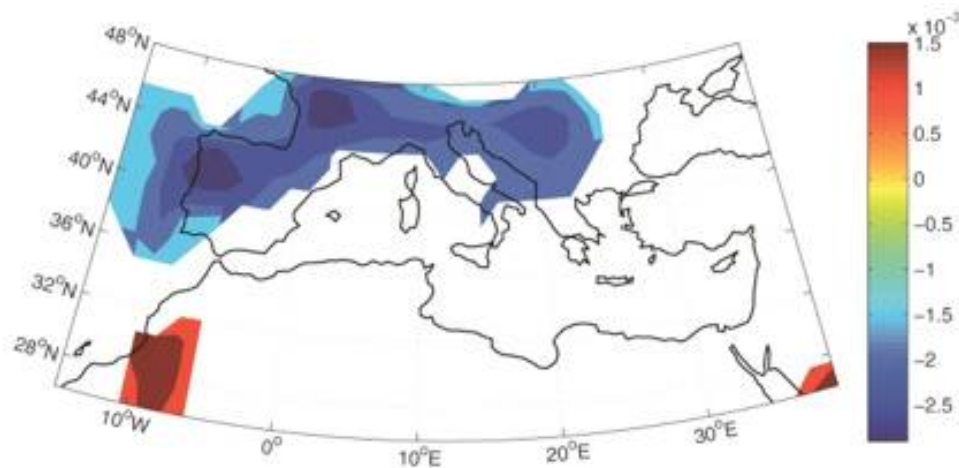


Figure 5. Tendence linéaire du coefficient d'asymétrie des températures maximales quotidiennes en été sur la période 2006-2100. Les résultats sont tracés seulement si 2/3 des modèles montrent une tendance significative (test en T de Student, à 90%).

Berrisford P., Kallberg P., Kobayashi S., Dee D., Uppala S., Simmons A.J., Poli P., Sato H., 2009 : Atmospheric conservation properties in ERA-Interim. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137, 1381-1399.

Deser C., Phillips A., Bourdette V., Teng H., 2012 : Uncertainty in climate change projections: the role of internal variability. *Climate Dynamics*, 38, 527-546.

Feldstein SB., 2000 : The timescale, power spectra, and climate noise properties of teleconnection patterns. *Journal of Climate*, 13, 4430-4440.

Peters G., Andrew R., Boden T., Canadell J., Ciais P., Le Quéré C., Marland G., Raupach M., Wilson C., 2013 : The challenge to keep global warming below 2°C. *Nature Climate Change*, 3, 4-6.

Hawkins E., Sutton R., 2012 : *Time of emergence of climate signals*. *Geophysical Research Letters*, Vol 39, L01702, doi:10.1029/2011GL050087, 2012.

Hertig E., Jacobeit J., 2008 : Downscaling future climate change: Temperature scenarios for the Mediterranean area. *Global and Planetary Change*, 63, 127-131.

IPCC, 2013 : Climate Change 2013 : the Physical Science Basis. Contribution of Working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A. et al. (eds), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535p.

Kirtman B., Power S.B., Adedoyin J.A., Boer G.J., Bojariu R., Camilloni I., Doblas-Reyes F.J. et al., 2013 : *Near-term climate change: projections and predictability*. dans Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A. et al. (eds) *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 953-1028.

Madden RA., 1976 : Estimates of the natural variability of time-averaged sea-level pressure. *Monthly Weather Review*, 104, 942-952.

Maheras P., Kutiel H., 1999 : Spatial and temporal variations in the temperature regime in the Mediterranean and their relationship with circulation; 1860-1990. *International Journal of Climatology*, 19, 1697-1715.

Meinshausen M., Smith S.J., Calvin K., Daniel J.S., Kainuma M.L.T., Lamarque J.F., Matsumoto K., Montzka S.A., Raper S.C.B., Riahi K., Thomson A., Velders G.J.M., van Vuuren D.P.P., 2011 : The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climate Change* 109, 213-241.

Moss, R. H., Edmonds J.A., Hibbard K.A., Manning M.R., Rose S.K., Van Vuuren D.P., Carter T.R. et al., 2010 : The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, 747-756.

Xoplaki E., Gonzales-Rouco J.F., Luterbacher J., Wanner H., 2003 : Mediterranean summer air temperature variability and its connection to the large-scale atmospheric circulation and SSTs. *Climate dynamics*, 20, 723-739.