

LES MODÈLES GLOBAUX PROJETTENT-ILS PLUS DE BLOCAGES ANTICYCLONIQUES EN EUROPE POUR LE FUTUR ?

Alexandre BELLEFLAMME, Xavier FETTWEIS et Michel ERPICUM

Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie, Université de Liège, Allée du 6-août, 2, 4000 Liège, Belgique
A.Belleflamme@ulg.ac.be, Xavier.Fettweis@ulg.ac.be, Michel.Erpicum@ulg.ac.be

Résumé : Le GIEC projette des canicules et des sécheresses estivales plus fréquentes et plus longues pour le futur en Europe de l'ouest. Ces événements extrêmes se produisent lors de blocages anticycloniques. Nous utilisons plusieurs classifications de types de circulations atmosphériques afin de déterminer si les modèles globaux projettent une augmentation de la fréquence et de la persistance des blocages anticycloniques. Pour le climat récent, le nombre de blocages anticycloniques simulés par les modèles dépend fortement de leur capacité à reproduire la circulation générale observée. Les projections futures ne montrent aucune évolution systématique du nombre de blocages anticycloniques en Europe de l'ouest. Néanmoins, d'autres changements, comme l'augmentation de la température, pourront favoriser des canicules et des sécheresses plus fréquentes.

Mots-clés : Modèles de circulation générale, blocages anticycloniques, classification de types de circulations, Europe de l'Ouest.

Abstract: Do global models project more anticyclonic blockings over Europe for future?

The IPCC projects more frequent and longer heat waves and droughts during summer for future over Western Europe. These extreme events occur during anticyclonic blocking events. We use atmospheric circulation type classifications to determine if the models project an increase of the number and the persistence of these anticyclonic blockings. For recent climate, the number of blocking events depends on the ability of the models to reproduce the observed general circulation. The future projections do not show any systematic evolution of the number of anticyclonic blockings over Western Europe. Nevertheless, other changes like an increase of the temperature will lead to more frequent heat waves and droughts.

Keywords: General circulation models, anticyclonic blockings, circulation type classification, Western Europe.

Introduction

Dans son dernier rapport (AR4), le GIEC projette des canicules et des sécheresses estivales plus fréquentes et plus intenses au cours des prochaines décennies en Europe de l'ouest sous l'effet du réchauffement climatique (Meehl *et al.*, 2007). Rappelons que ces projections sont essentiellement basées sur les résultats obtenus par les modèles de circulation générale (GCM pour General Circulation Models) et que ces mêmes GCM servent également comme forçage pour les méthodes de mise à l'échelle (downscaling) comme les modèles climatiques régionaux. Belleflamme *et al.* (2011) ont montré que les GCM ont des difficultés à reproduire la circulation atmosphérique en Europe de l'ouest pour le climat récent. Par ailleurs, ils ont montré que les projections futures des GCM prévoient plutôt une hausse généralisée de la hauteur géopotentielle que de réels changements dans la circulation atmosphérique. Or, les canicules et les sécheresses, comme celle qui a frappé l'Europe de l'ouest en août 2003, sont associées à des conditions de circulation atmosphérique particulières, à savoir les blocages anticycloniques (Meehl et Tebaldi, 2004). Dès lors, il est intéressant d'étudier les situations de blocage anticyclonique simulées par les GCM.

1. Données

Nous basons notre analyse sur les moyennes journalières de hauteur géopotentielle à 500 hPa (notée ci-après Z500) et de pression réduite au niveau de la mer (MSLP) pour les mois de juin, de juillet et d'août. La période de référence utilisée ici s'étend de 1976 à 2005 afin d'englober les principales canicules et sécheresses observées en Europe de l'ouest au cours des dernières décennies. Les données de 12 GCM provenant de la base de données du projet d'intercomparaison de modèles couplés CMIP5 et préparés pour le prochain rapport du GIEC

(AR5) sont exploitées ici. Nous utilisons les sorties des GCM pour le scénario Historical reproduisant les conditions climatiques actuelles pour la période 1976-2005 et, pour le futur (2011-2100), le scénario intermédiaire RCP4.5 et le scénario pessimiste RCP8.5, qui projettent respectivement une augmentation du forçage radiatif de 4,5 W/m² et 8,5 W/m² à l'horizon 2100 (Moss *et al.*, 2010). Les sorties de ces GCM sont comparées à deux réanalyses : ERA-40 du ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) et NCEP-NCAR 1 (National Centers for Environmental Prediction – National Center for Atmospheric Research).

2. Méthode

Nous utilisons une classification automatique de types de circulations atmosphériques afin d'individualiser les types de circulations propices aux canicules et aux sécheresses. En effet, l'objectif des classifications de types de circulations est de regrouper les situations journalières similaires en formant quelques types de circulations relativement homogènes représentatifs de l'ensemble de la circulation atmosphérique de la région considérée (El-Kadi et Smithson, 1992 ; Philipp *et al.*, 2010). Dès lors, la fréquence et la persistance de chaque type de circulation peuvent être analysées et comparées pour différents jeux de données. Toutefois, comme notre classification est automatique, c'est-à-dire que les types de circulations sont définis lors du processus et non pas en amont par l'utilisateur, elle fournit des types différents pour chaque jeu de données, ce qui rend toute comparaison impossible. Afin de pallier ce problème, la classification automatique est appliquée uniquement aux réanalyses ERA-40 sur la période 1976-2005. Les types de circulations ainsi obtenus sont alors imposés aux autres jeux de données (Huth, 2000). Ainsi, comme les types de circulations sont définis de manière identique pour tous les jeux de données, la comparaison peut se faire directement sur base des différences de fréquences. Vu que la classification représente la répartition moyenne des types de circulations sur une période fixée ici à 30 ans, les projections futures ont été divisées en trois périodes de 30 ans : 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100.

Ici, nous utilisons deux indices de similitude sur base desquels les situations journalières sont regroupées au sein des classes. Comme premier indice (appelé par la suite DIST), nous utilisons l'indice défini par Fettweis *et al.* (2011) et qui est basé sur la distance euclidienne entre les surfaces journalières de Z500 ou de MSLP. Cet indice présente l'intérêt de fournir des types faciles à interpréter comme des anticyclones et des dépressions. Par ailleurs, vu qu'il est basé sur la distance euclidienne, il est influencé par les différences de hauteur entre les surfaces de hauteur géopotentielle ou de pression, ce qui permet de distinguer par exemple entre des anticyclones plus ou moins marqués ou des dépressions plus ou moins creusées (voir figure 1). Néanmoins, cette trop forte influence de la hauteur dans la classification basée sur la hauteur géopotentielle (DIST-Z500) pose problème pour analyser les scénarios futurs. En effet, vu que la hauteur géopotentielle est fortement corrélée à la température, une hausse de la température sous l'effet du réchauffement climatique implique également une hausse de la hauteur géopotentielle. Si cette hausse est suffisamment marquée pour les projections futures par rapport au climat récent, la majorité des situations journalières futures sera associée aux classes présentant une hauteur géopotentielle moyenne plus élevée, c'est-à-dire les classes anticycloniques, même si ces situations affichent un caractère cyclonique. Comme deuxième indice (appelé RANG), nous utilisons le coefficient de corrélation de Spearman, utilisé par Vautard et Yiou (2009) pour déterminer des analogues, qui ne se base pas directement sur les valeurs mais sur leurs rangs pour calculer la corrélation entre deux situations journalières, ce qui minimise l'influence des valeurs extrêmes ou aberrantes. Les types obtenus sur base de cet indice sont indépendants de la hauteur et évaluent donc uniquement la localisation des centres de haute et de basse pression sans en considérer l'intensité. Le principal désavantage

de RANG est que l'interprétation des types qu'elle donne est moins triviale qu'avec DIST. Néanmoins, cet indice est utile pour confirmer les résultats obtenus avec DIST.

Le nombre de classes (12) a été choisi de sorte à minimiser l'écart quadratique moyen sur les fréquences entre ERA-40 et NCEP-NCAR 1 tout en évitant un trop important nombre de classes qui aboutirait à la scission des types les plus fréquents en sous-types semblables entre eux. Notons par ailleurs que les conclusions sont les mêmes pour 8, 10 ou 15 classes.

Pour toutes les classifications (DIST-Z500, DIST-MSLP, RANG-Z500 et RANG-MSLP), le nombre de situations de blocage anticyclonique est compté pour tous les jeux de données. Une situation de blocage anticyclonique est définie ici comme une séquence ininterrompue d'au moins 7 jours groupés dans une des classes propices aux canicules et aux sécheresses. Les classes propices à ces événements extrêmes ont été déterminées par leur occurrence lors des principales canicules et sécheresses observées au cours des dernières décennies, ce qui revient à considérer toutes les classes qui affichent une crête anticyclonique sur l'Europe de l'ouest. Par exemple, pour DIST-Z500, les classes propices sont la classe 4 et la classe 9, c'est-à-dire les classes montrant une nette tendance anticyclonique, ce qui correspond bien au type de circulation recherché (figure 1).

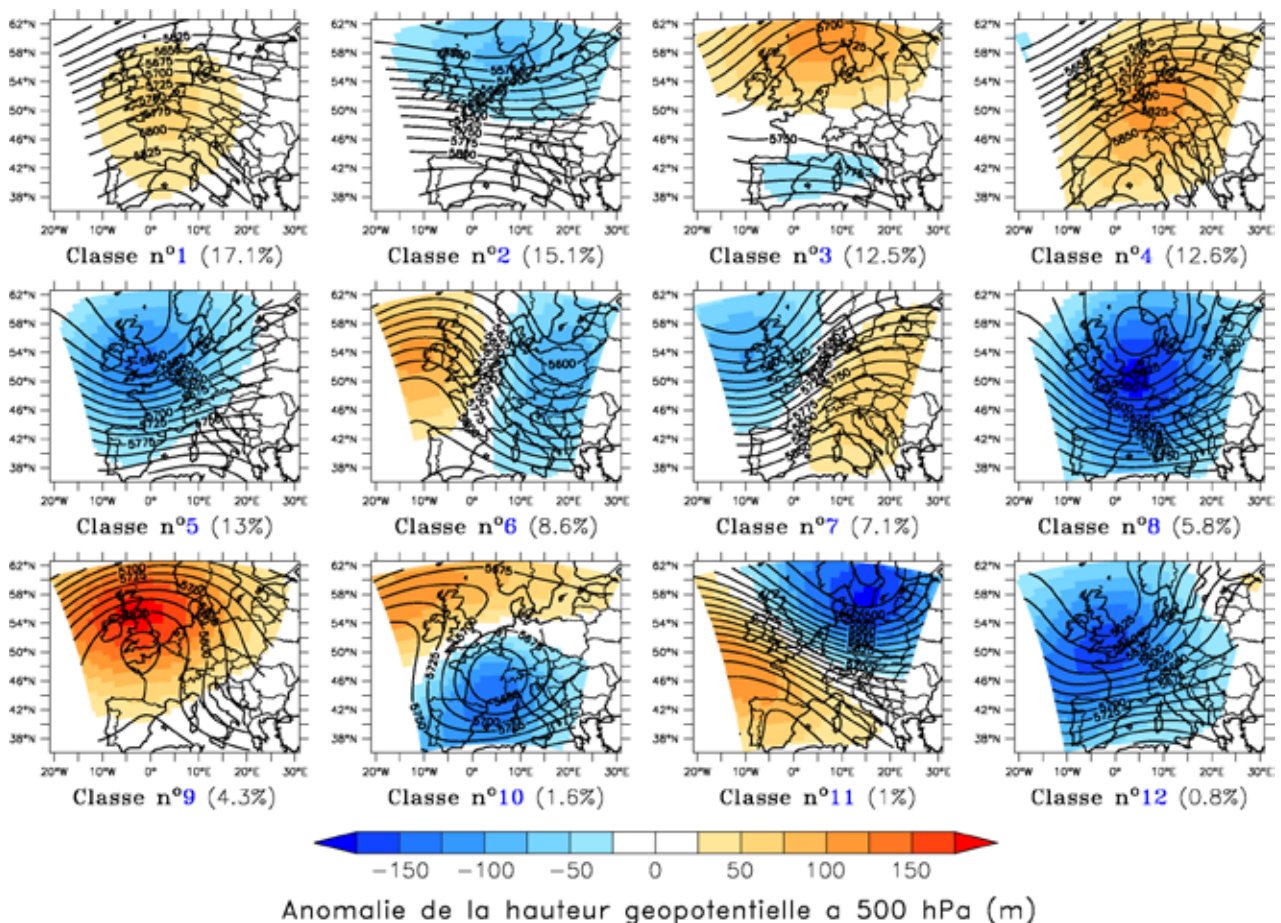


Figure 1 : Résultats de la classification DIST-Z500 des réanalyses ERA-40 pour les mois de juin, de juillet et d'août sur la période 1976-2005. Les courbes représentent les isohypses à 500 hPa de la hauteur géopotentielle moyenne saisonnière de la classe (en m). La couleur de fond indique l'anomalie de la hauteur géopotentielle à 500 hPa de chaque classe par rapport à la moyenne globale saisonnière. La fréquence de chaque classe est indiquée entre parenthèses.

3. Résultats

3.1. Climat récent

Comme Belleflamme *et al.* (2011) l'ont montré, les GCM ont du mal à reproduire les fréquences des types de circulations observées. Certains GCM surestiment les classes anticycloniques alors que d'autres les sous-estiment (tableau 1). Ces biais influencent fortement le nombre de situations de blocage anticyclonique simulées par les GCM (figure 2). Ainsi, les GCM qui surestiment les classes anticycloniques ont tendance à surestimer le nombre de blocages anticycloniques. L'inverse est observé pour les GCM qui sous-estiment les cas anticycloniques. Ceci montre bien qu'une mauvaise reproduction des types de circulations n'impacte pas seulement leur fréquence mais également leur persistance. Il en résulte que le nombre de blocages anticycloniques simulés varie fortement d'un GCM à l'autre. Notons que si l'on considère le nombre de jours de blocage anticyclonique au lieu du nombre d'événements, les conclusions restent inchangées, ce qui signifie par exemple qu'un GCM qui sous-estime le nombre de blocages anticycloniques, simule trop peu d'événements indépendamment de leur persistance. Il ne simule pas plus d'événements de longue durée au détriment d'événements plus courts.

Tableau 1 : La somme des fréquences (en %) des classes de circulations propices aux canicules et aux sécheresses est indiquée pour chacune des cinq classifications réalisées. Pour les scénarios futurs, uniquement la fréquence de la dernière période (2071-2100) est indiquée.

	DIST-Z500			DIST-Z500-b		DIST-MSLP			RANG-Z500			RANG-MSLP		
	Histo.	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	Histo.	RCP4.5	RCP8.5	Histo.	RCP4.5	RCP8.5	Histo.	RCP4.5	RCP8.5
ERA-40	16,9					41,2			22,1			28,3		
NCEP-NCAR 1	19,2					41,9			21,4			28,9		
BCC-CSM1-1	17,1	32,7	43,3	16,9	17,1	30,7	30,5	32,7	18	15,9	19,8	30,4	32,8	37
CanESM2	15,3	51,6	57,6	15	14,6	32,7	20,9	12,4	16,5	16,4	15,8	37,6	44,5	53,1
CNRM-CM5	13,2	33,2	47,6	14,2	13,3	31,5		35,4	9,6	8,6	9,7	40,6		44,4
HadGEM2-CC	15,5	59,1	52,4	14	15,1	42,6	40,5	30	14,7	22,3	20,1	37,1	50,3	58,5
IPSL-CM5A-LR	3,7	24	55,1	3,9	2,7	48,4	45,2	37,9	11,3	11,6	12,7	48,2	47,3	51,4
IPSL-CM5A-MR	8	36,3	53,6	5,1	6,7	45,2	40	29,3	17,7	14,7	13,4	36,6	44,7	43,4
MIROC5	17,7		65,6		16	35,1	35	30,1	11,9		9,2	48,3	55,8	57,6
MIROC-ESM	13	49,2	64,5	10,7	10,4	39,5	38,7	37,7	18,4	16,1	15,8	34	40	39,3
MIROC-ESM-CHEM	17	52,7	57,4	14,4	16,3	39,1	37,8	37	17	17,9	15,5	35,8	35,1	42
MPI-ESM-LR	13,9	33,3	38,4	14,6	15,7	28,1	32,4	36,9	19,2	19,7	21,7	18,8	21,9	24,9
MRI-CGCM3	16,3	28,8	44,1	13,7	14,8	38,8	42,7	44,7	16,3	15,3	14,2	33,5	31,2	29,4
NorESM1-M	20,1	45,2	59,4	18,9	17,4	33,9	41	39,9	15,1	15,2	14,9	26,9	37,8	42,9

3.2. Projections futures

Comme pour le climat récent, on observe un lien étroit entre la fréquence des types anticycloniques et le nombre de blocages anticycloniques (tableau 1 et figure 2). Il en ressort que, tant pour les fréquences des classes que pour le nombre de blocages, aucun changement significatif n'est détecté, excepté pour DIST-Z500 qui constitue un cas particulier comme décrit plus haut. En effet, comme RANG-Z500 n'indique pas de changements de types de circulations significatifs pour les projections futures, on peut raisonnablement supposer que les changements de fréquence observés pour DIST-Z500 sont principalement dus à une augmentation de la hauteur géopotentielle qui affecte tous les types de circulations et non pas à des changements réels de fréquence de ces types. Dans ce cas, les différences de hauteur entre les ERA-40 et les périodes futures des GCM l'emportent sur la localisation des centres barométriques. Afin de nous affranchir de cet artefact, nous avons soustrait à toutes les situations des projections futures de chaque GCM l'augmentation moyenne de la hauteur

géopotentielle sur la période considérée par rapport à sa hauteur géopotentielle moyenne sur la période 1976-2005. Dans ce cas, les résultats de la classification (notée DIST-Z500-b) n'indiquent aucun changement significatif, ce qui rejoint les conclusions faites sur base des autres classifications.

L'absence de tendance pour le nombre de blocages anticycloniques se marque à plusieurs niveaux (figure 2). Premièrement, pour une même classification, les GCM indiquent des évolutions différentes et souvent contradictoires. Deuxièmement, les tendances au cours des trois périodes d'un même scénario d'un même GCM diffèrent d'une classification à l'autre et peuvent même être contradictoires. Finalement, les tendances entre les deux scénarios futurs (RCP4.5 et RCP8.5) pour un GCM et une classification donnés sont souvent différentes voire opposées. Ainsi, aucune évolution systématique, c'est-à-dire sur les trois périodes futures des deux scénarios et pour toutes les classifications, n'est mise en évidence.

Comme pour le climat récent, les résultats sont similaires si on utilise le nombre de jours de blocage anticyclonique plutôt que le nombre d'événements. Cela implique que la persistance de ces événements ne devrait pas non plus changer significativement.

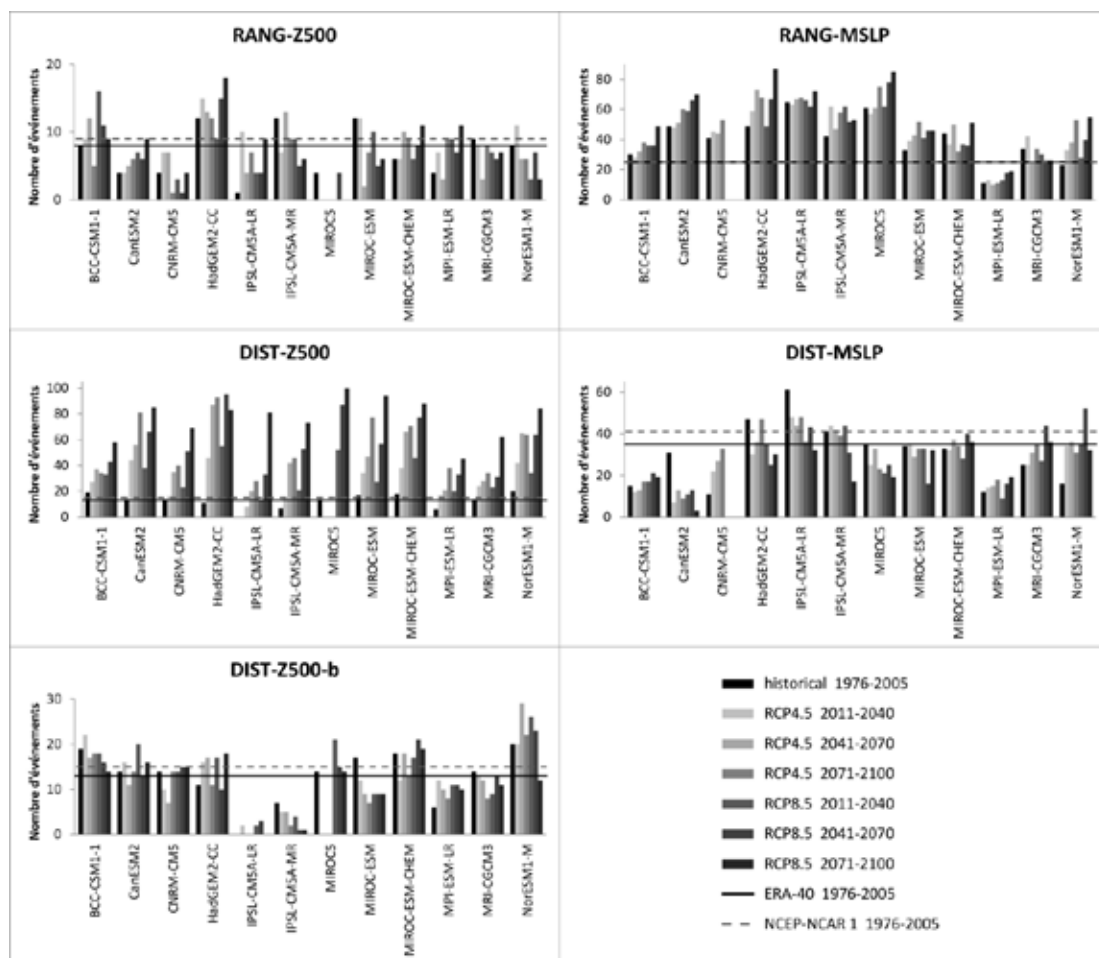


Figure 2 : Nombres de blocages anticycloniques simulés par les GCM et les réanalyses obtenus pour chacune des cinq classifications.

Conclusion

Nous avons étudié l'évolution du nombre de blocages anticycloniques durant l'été en Europe de l'ouest afin de déterminer si l'augmentation de la fréquence et de la persistance des canicules et des sécheresses projetées pour les prochaines décennies sous l'effet du

réchauffement climatique est due à des changements dans la circulation atmosphérique. L'utilisation de classifications de circulations atmosphériques basées sur deux indices de similitude et utilisant deux variables différentes (hauteur géopotentielle à 500 hPa et pression réduite au niveau de la mer) n'a pas permis de mettre en évidence de changements de fréquence et de persistance systématiques, c'est-à-dire semblables pour les deux scénarios futurs pour toutes les classifications. Au contraire, des tendances divergentes à différents niveaux (entre les GCM, entre les scénarios et entre les classifications) permettent d'affirmer que les GCM ne projettent pas de changements significatifs du nombre et de la durée des blocages anticycloniques, ces changements étant par ailleurs généralement du même ordre que les biais entre les blocages anticycloniques simulés par les GCM pour le climat récent et ceux réellement observés.

Toutefois, cela ne signifie pas forcément qu'il n'y aura pas plus de canicules et de sécheresses, vu que ces événements dépendent également d'autres paramètres comme par exemple l'humidité du sol (Meehl et Tebaldi, 2004) et la température.

Finalement, les biais constatés dans la fréquence et la persistance des types de circulations simulés par les GCM pour le climat récent induisent inévitablement des biais pour d'autres variables telles que la température ou les précipitations, vu le lien qu'ont ces variables avec la circulation atmosphérique. Il est donc impératif de prendre en compte ces biais lors de l'utilisation des sorties des GCM.

Références bibliographiques

- Belleflamme A., Fettweis X., Erpicum M., 2011 : Circulation atmosphérique simulée par les modèles de circulation générale en Europe de l'ouest : évaluation et projections futures. *Actes du XXIVème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 69-74.
- El-Kadi A., Smithson P., 1992 : Atmospheric classifications and synoptic climatology. *Progress in Physical Geography*, 16(4), 432-455.
- Fettweis X., Mabilhe G., Erpicum M., Nicolay S., Van den Broeke M., 2011 : The 1958-2009 Greenland ice sheet surface melt and the mid-tropospheric atmospheric circulation. *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-010-0772-8.
- Huth R., 2000 : A circulation classification scheme applicable in GCM studies, *Theoretical and Applied Climatology*, 67, 1-18.
- Meehl G., Stocker T., Collins W., Friedlingstein P., Gaye A., Gregory J., Kitoh A., Knutti R., Murphy J., Noda A., Raper S., Watterson I., Weaver A., Zhao Z.-C., 2007 : Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science 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., Tignor M., Miller H. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Meehl G., Tebaldi C., 2004 : More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305, 994-997.
- Moss R., Edmonds J., Hibbard K., Manning M., Rose S., van Vuuren D., Carter T., Emori S., Kainuma M., Kram T., Meehl G., Mitchell J., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S., Stouffer R., Thomson A., Weyant J., Wilbanks T., 2010 : The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, doi:10.1038/nature08823.
- Philipp A., Bartholy J., Beck C., Erpicum M., Esteban P., Fettweis X., Huth R., James P., Jourdain S., Kreienkamp F., Krennert T., Lykoudis S., Michalides S., Pianko K., Post P., Rassilla Alvarez D., Schiemann R., Spekat A., Tymvios F. S., 2010 : COST733CAT - a database of weather and circulation type classifications. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35(9-12), 360-373.
- Vautard R., Yiou P., 2009 : Control of recent European surface climate change by atmospheric flow. *Geophysical Research Letters*, 36, doi: 10.1029/2009GL040480.