

DISS. ETH NO. 20369

**Global and European climate response to  
transient forcings since 1870,  
as simulated in an atmospheric general circulation model**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

ADELINE BICHET

Master of Science, VU Amsterdam

Born September 27, 1983

Citizen of France

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. C. Schär, examiner

Prof. Dr. Martin Wild, co-examiner

Prof. Dr. Stefan Brönnimann, co-examiner

2012

## Abstract

Predicting and adapting to climate change is one of the major challenges for the twenty-first century. To better understand the future changes in precipitation associated with climate change on the global and regional scale, this thesis investigates, for the past 140 years, the time-varying impact of the major climate forcings on precipitation. To do so, the global climate is simulated between 1870 and 2005 in a transient mode with the atmospheric general circulation model “ECHAM5-HAM”. The model is forced with observationally based time-varying sea surface temperatures (SSTs) and the major climate forcings, which include total solar irradiance, volcanic optical depth, aerosol emissions (natural and anthropogenic), and greenhouse gas concentrations. Sensitivity experiments, holding one or more of these forcings constant throughout the experiments are then used to identify and quantify their time-varying impacts on the hydrological cycle. In a first step, the thesis aims to identify the main climate forcings driving the decadal variability of global land temperature and precipitation between 1870 and 2005. It then investigates the causes driving the wind stilling observed over land after 1970 in many sites over the globe, due to its potential impact on the hydrological cycle and on industries such as wind powered energy. Finally, the high precipitation anomalies observed in central Europe in the late nineteenth century are also investigated, for their potential contribution to the accumulation of destructive floods recorded at the time in central Europe.

On the global scale, it is shown that when forced with observed SSTs and the major climate forcings mentioned above, ECHAM5-HAM satisfactorily reproduces the decadal variability of global land temperature and precipitation observed since 1870 and 1900, respectively. After 1950 however, the strong response of convective precipitation to increasing anthropogenic aerosol emissions leads to a centennial precipitation trend that is negative in the model ( $\sim -10$  mm/year) but positive in the observations ( $\sim +10$  mm/year). In addition, the sensitivity results show that whereas transient SSTs (as opposed to climatological ones) drive the decadal variability of global land temperature and precipitation since 1870, the variations in greenhouse gas concentration and anthropogenic aerosol emissions (atmospheric response) drive their long-term trends: After about 1950, the increasing concentration of greenhouse gases increases the global land temperature and precipitation by up to  $0.25$  °C and 10 mm/year, respectively, whereas after 1930, the increasing emission of anthropogenic aerosols decreases them by up to  $0.4$  °C and 30 mm/year, respectively (especially in China and the Amazonian region). It is also suggested that between about 1950 and 1970, the impact of anthropogenic aerosols on the hydrological cycle may have been larger than the impact of greenhouse gases, thereby “masking” the precipitation increase expected from the increase in greenhouse gas concentration during this time period (atmospheric-only responses).

Regarding the wind stilling, it is shown that only up to 20% of the decline observed over land in many sites over the globe after 1970 is reproduced by the model. Additional sensitivity experiments performed in this thesis show that in order to reproduce the full extent of the observed wind stilling, the vegetation roughness length (climatological in our model, but believed to have increased in the past decades due to the observed increase in vegetation) is required to increase by a factor of 1.2 to 4.9, depending on the region. However, whereas such an increase in roughness length may not necessarily be realistic everywhere, up to 20% of the observed wind stilling must be explained by the forcings included in the model: In particular, it is found that after 1950, the increase in anthropogenic aerosol emissions decreases the surface land wind speed globally, with larger impacts in summer as well as in Asia and India (up to -0.3 m/s in summer in India). Note that the short-term impacts of increasing greenhouse gas concentrations are found to be relatively small.

In central Europe, it is found that the model satisfactorily reproduces the high summer precipitation anomalies observed in the late nineteenth century. According to the sensitivity experiments, the transient SSTs (as opposed to climatological mean) located in the “El Nino region” between 1875 and 1890 drive these high anomalies, and affect them mostly via their impacts on the atmospheric circulation. In the model, the associated pressure patterns include weaker westerlies, a PNA-like pattern over North America, and reduced pressure over Europe. Note nevertheless that no deterministic link between the ENSO index and the European precipitation was found during this time period. Finally, it is shown that when SSTs are transient in the model, the increase in anthropogenic aerosol emissions further enhances these precipitation anomalies by about 50%.

To conclude, this thesis demonstrates the ability of ECHAM5-HAM to reproduce the global and to some extent the European land precipitation, when forced with time-varying observed SSTs and major climate forcings. On the global scale, the thesis particularly emphasizes the “slow down” of the hydrological cycle triggered by the increase in anthropogenic aerosol emissions after about 1950, whereas on the regional scale, it points out the potential capacity of the Pacific Ocean to trigger heavy precipitation in central Europe.

## Résumé

Prédire et s'adapter aux futures changements climatiques font parti des challenges majeures du vingt-et-unième siècle. Pour mieux comprendre les future changements de précipitation liés aux changements climatiques à l'échelle globale et régionale, cette thèse étudie l'impact des principaux forçages climatiques sur la précipitation pendant les 140 dernières années. Pour se faire, le climat global est simulé en mode transitoire avec le modèle atmosphérique de circulation général "ECHAM5-HAM", pour la période 1870-2005. Le modèle est forcé avec les données observationnelles de température de surface des océans (SSTs), ainsi que les majeures forçage climatiques qui incluent l'irradiance solaire totale, l'épaisseur optique provenant des explosions volcaniques, les émissions d'aérosols (naturelles et anthropiques) et les concentrations de gazes à effet de serre. Des études de sensibilité sont ensuite réalisées, qui consistent à garder un ou plusieurs forçage(s) constant pendant la simulation de manière à en identifier les effets sur le climat. Cette thèse est divisée en trois parties: La première partie étudie les variations décennales des températures et précipitations globales pour la période 1870-2005. La deuxième partie étudie les différentes causes qui peuvent être à l'origine de la diminution de la vitesse des vent de surface terrestre observée à l'échelle globale après 1970, et la troisième partie étudie les différentes causes qui peuvent être à l'origine des importantes précipitations observées en Europe centrale à la fin du dix-neuvième siècle.

A l'échelle globale, ECHAM5-HAM reproduit de manière satisfaisante la variabilité décennale des température et précipitations globales observées dans la période 1870-2005. La tendance centennale des précipitations est néanmoins négative dans le modèle ( $\sim -10$  mm/an) et positive dans les observations ( $\sim +10$  mm/an), due à un effet trop prononcé des aérosols anthropiques sur la précipitation convective après 1950. Les études de sensibilité montrent que depuis 1870, la variation des SSTs détermine les variations décennales de températures et précipitations terrestres globales, alors que la concentration des gazes à effet de serre et les émissions d'aérosols anthropiques en déterminent la tendance à long-terme (réponse atmosphérique uniquement): Dans le modèle, l'augmentation des gazes à effet de serre augmente la température et la précipitation terrestre globale de  $0.25$  °C et  $10$  mm/an respectivement, après 1930 (particulièrement en Chine et en Amazonie), alors que l'augmentation des aérosols anthropiques les diminue de  $0.4$ °C et  $30$  mm/an respectivement, après 1950. Il est également suggéré qu'entre 1950 et 1970, l'impact des aérosols anthropiques sur le cycle hydrologique est plus important que l'impact des gazes a effet de serres, ce qui aurait "masqué" l'augmentation des précipitations attendue suite à l'augmentation des gazes à effet de serre pendant cette période (réponse atmosphérique uniquement).

En ce qui concerne la diminution de la vitesse des vents de surface après 1970, cette thèse montre que le modèle ne reproduit que jusqu'à 20% des valeurs observées à l'échelle globale, et que dans le modèle, cette diminution est principalement due à l'augmentation des émissions d'aérosols anthropiques (jusqu'à -0.3 m/s en été en Inde). La partie de la diminution du vent qui n'est pas reproduite par le modèle pourrait entre autre être due à l'augmentation de la végétation qui est observée dans l'Hémisphère Nord depuis 1970 mais qui n'est pas prise en compte dans les simulations transitoires réalisées dans le cadre de cette thèse, où cette variable est constante dans le temps. Des études de sensibilité supplémentaire (à l'équilibre) ont donc été réalisées, qui montrent que de manière à reproduire la totalité de la diminution observée, la longueur de rugosité de végétation devrait augmenter d'un facteur allant de 1.2 à 4.9 selon les régions, ce qui n'est pas nécessairement réaliste partout.

En Europe centrale, il est montré que le modèle reproduit de manière satisfaisante les anomalies positives de précipitation estivales observées à la fin du dix-neuvième siècle. D'après les études de sensibilité, ces anomalies sont dues aux variations de SSTs (par rapport aux SST climatologiques) localisées dans la région du El Niño entre 1875 et 1890, qui affectent la circulation atmosphérique globale: Les anomalies de pression associées incluent entre autre de faibles vents dominants d'ouest, un pattern qui ressemble à la PNA en Amérique du Nord, et des basses pressions en Europe. Aucun lien déterministe entre l'index ENSO et les précipitations Européennes n'ont cependant été trouvé pendant cette période. Finalement, les résultats montrent également que quand les SSTs sont transitoires dans le modèle, l'augmentation des aérosols anthropiques augmentent ces anomalies de précipitation d'environ 50%.

Pour conclure, cette thèse démontre la capacité de ECHAM5-HAM à reproduire la précipitation terrestre globale et jusqu'à un certain point Européenne quand le modèle est forcé avec les SST transitoires observées et les majeurs forçages climatiques. Cette thèse montre particulièrement le "ralentissement" du cycle hydrologique à l'échelle globale provoqué par l'augmentation des émissions d'aérosols anthropiques après 1950, ainsi que la capacité potentielle de l'Océan Pacifique à augmenter les précipitations en Europe.