

Soutenance de thèse de Pedro Arboleda le mercredi 22 mars 2023 à 15 h

Salle de conférences de l'UFR TEB - Tour 46/56 - 2^{ème} étage - site Jussieu - SU

Salle virtuelle : <https://us02web.zoom.us/j/84618212151?pwd=YWpBeHhFVHY1eVNnQlJcDJWmFhCUT09>

Rétroactions des eaux souterraines et de l'irrigation sur le climat passé et futur

Résumé : Les flux terrestres jouent un rôle important dans le cycle de l'eau et dans l'évolution du climat à différentes échelles de temps. Il est intéressant de noter le contrôle que l'humidité du sol peut exercer sur l'évapotranspiration, puisqu'une anomalie de la première peut induire une perturbation sur la seconde. Cela produit des changements dans l'évolution saisonnière et à long terme des variables climatiques telles que les précipitations et la température. Le couplage entre l'humidité du sol et l'évapotranspiration et ses effets sur le climat ont conduit à se pencher sur les éléments du paysage qui ont un certain effet sur l'humidité du sol. Cette thèse se concentre sur deux d'entre elles : les écoulements descendants des pentes (de surface et souterrains) causés par la topographie d'origine naturelle et les transferts d'eau pour les activités d'irrigation d'origine humaine.

L'un des outils d'étude du climat est l'utilisation de modèles de circulation générale, qui couple un modèle atmosphérique et un modèle de surface terrestre. Les modèles de surface, bien que de plus en plus complexes, ont une représentation limitée ou nulle de l'effet de la topographie sur les flux de surface terrestre et des effets anthropiques sur les ressources en eau. L'objectif de cette thèse est de comprendre l'effet de chaque élément du paysage sur les flux terrestres et sur le climat actuel et futur, en utilisant le modèle de surface terrestre ORCHIDEE, qui fait partie du modèle climatique IPSL.

La première partie de cette thèse utilise une représentation simple des écoulements des pentes dans ORCHIDEE. La maille est divisée en une zone haute et une zone basse pour représenter la topographie, cette dernière étant potentiellement plus humide. LMDZOR, qui couple ORCHIDEE à LMDZ (le modèle atmosphérique de l'IPSL) a été utilisé pour effectuer deux simulations à long terme (entre 1980 et 2100) sous changement climatique, avec et sans écoulement de pente. Les résultats montrent une augmentation de l'humidité du sol et de l'évapotranspiration, une légère augmentation des précipitations et une baisse de la température de l'air. Dans le cadre du changement climatique, les écoulements de pente atténuent une partie des diminutions de l'humidité du sol, de l'évapotranspiration et des précipitations liés au changement climatique, et diminuent légèrement le réchauffement.

La deuxième partie présente un schéma d'irrigation inclus dans ORCHIDEE, pour une utilisation à l'échelle mondiale. La demande en eau est calculée à partir du déficit hydrique du sol et de la surface irriguée. L'approvisionnement dépend des réservoirs naturels sous deux contraintes : un volume laissé disponible pour les écosystèmes (flux écologique) et une répartition de l'eau en fonction des infrastructures locales existantes. Le nouveau schéma a été testé en mode offline (forcé avec les données météorologiques). La comparaison avec les données observées montre que l'inclusion de l'irrigation diminue les biais négatifs de modélisation pour l'évapotranspiration mais augmente les diminutions dues au changement climatique. Dans le cas de l'irrigation, des simulations online sont biais positives pour l'indice de surface foliaire (sauf dans les zones d'irrigation intensive où le biais négatif de l'indice diminue). De même, l'irrigation diminue le débit des grands fleuves, mais cela ne conduit pas à une meilleure représentation de la dynamique du débit par rapport aux observations.

Les résultats montrent que les éléments du paysage augmentent certains flux des bilans hydriques et énergétiques et, pour les écoulements de pente, atténuent une partie nécessaire pour connaître son effet sur l'évolution des variables hydroclimatiques dans le cadre du changement climatique. De plus, il est nécessaire de considérer les effets conjoints des deux éléments du paysage, ce qui demande d'inclure les flux de pente et l'irrigation dans une nouvelle version d'ORCHIDEE.

Mots-clefs : eaux souterraines, irrigation, climat, hydrologie globale

Retroalimentaciones de las aguas subterráneas y de regadío sobre el clima pasado y futuro

Resumen : Los flujos continentales juegan un rol importante en el ciclo del agua, y en la evolución del clima a diferentes escalas de tiempo. De especial interés es el control que puede ejercer la humedad del suelo sobre la evapotranspiración, ya que una anomalía de la primera puede inducir un cambio de la segunda. Esto produce cambios en la evolución estacional y en la evolución a largo plazo, de variables climáticas como la precipitación y la temperatura. El acoplamiento humedad del suelo-evapotranspiración, y sus efectos sobre el clima, han llevado a interesarse por aquellos controladores del paisaje con algún efecto sobre la humedad del suelo. Esta tesis se concentra en dos: los flujos descendentes de pendiente (superficiales y subsuperficiales) provocados por la topografía, de origen natural, y las transferencias de agua para actividades de riego, de origen humano.

Una de las herramientas para estudiar el clima es el uso de modelos de circulación general, conformado por un modelo atmosférico y un modelo de superficie terrestre. Los modelos terrestres, pese a ser cada vez más complejos, representan de manera limitada o nula el efecto de la topografía sobre los flujos de la superficie terrestre, y los efectos antrópicos sobre los recursos hidrológicos. El objetivo de esta tesis es entender el efecto de cada controlador de paisaje en los flujos terrestres y en el clima presente y futuro, utilizando como herramienta el modelo de superficie terrestre ORCHIDEE, que hace parte del modelo climático del IPSL.

La primera parte de este trabajo utilizó una representación simple de los flujos de pendiente dentro de ORCHIDEE. La celda de cuadrícula típica del modelo se dividió en una zona alta y otra baja para representar la topografía, siendo la zona baja potencialmente más húmeda. Se utilizó el sistema LMDZOR, que acopla ORCHIDEE al modelo atmosférico del IPSL, conocido como LMDZ, para realizar dos simulaciones de largo plazo (entre 1980 y 2100) bajo efectos de cambio climático, con y sin flujos de pendiente. Los resultados muestran incrementos de humedad del suelo y de la evapotranspiración, un ligero aumento de la lluvia y menor temperatura del aire. Bajo cambio climático, los flujos de pendiente atenúan parte de las disminuciones provocadas por cambio climático sobre humedad del suelo, evapotranspiración y precipitación, y reducen ligeramente el calentamiento.

En la segunda parte se implementó un esquema de riego en ORCHIDEE, para uso a escala global. La demanda de agua se calcula según el déficit de humedad del suelo y la fracción irrigada, y la oferta depende de los almacenamientos naturales bajo dos restricciones: un volumen disponible para los ecosistemas (caudal ecológico) y la asignación del agua según la infraestructura local existente. El nuevo esquema se probó en modo offline, (forzado con datos meteorológicos). La comparación con datos observados muestra que incluir el riego disminuye los sesgos negativos de la modelación en la evapotranspiración, pero aumenta los sesgos positivos para el índice de área foliar (excepto en áreas intensamente regadas, donde el sesgo negativo del índice disminuye). Así mismo, el riego disminuye los caudales de los grandes ríos, pero esto no se traduce en una mejor representación de la dinámica de los caudales frente a los datos observados.

Los resultados muestran que los controladores del paisaje aumentan ciertos flujos de los balances hídricos y energéticos, y para el caso de los flujos de pendiente, atenúan parte de las disminuciones producto del cambio climático. Para el caso de riego, se necesitan simulaciones online para conocer su efecto en la evolución de las variables hidro climáticas bajo cambio climático. Además, es necesario considerar los efectos conjuntos de los dos controladores del paisaje, lo que llama a incluir los flujos de pendiente y el riego en una nueva versión de ORCHIDEE.

Palabras clave: aguas subterráneas, riego, clima, hidrología global

Feedback from groundwater and irrigation on past and future climate

Summary: Continental fluxes play an important role in the water cycle, and in the evolution of climate at different time scales. It is particularly interesting to note the control that soil moisture can exert on evapotranspiration, since an anomaly of the former can induce a change of the latter. This produces changes in the seasonal and long-term evolution of climatic variables such as precipitation and temperature. The coupling between soil moisture and evapotranspiration, and their effects on climate, have led to focus on those landscape factors that have some effect on soil moisture. This study focuses on two: downward hillslope flows (surface and subsurface) caused by topography, of natural origin, and water transfers for irrigation activities, of human origin.

One of the tools for studying climate is the use of general circulation models, consisting of an atmospheric model and a land surface model. Land surface models, although increasingly complex, have limited or no representation of the effect of topography on land surface fluxes and of the anthropogenic effects on water resources. The objective of this thesis is to understand the effect of each landscape driver on terrestrial fluxes and on present and future climate, using the ORCHIDEE land surface model, which is part of the IPSL climate model.

The first part of this thesis uses a simple representation of hillslope flows within ORCHIDEE. The typical model grid-cell is divided into an upland and lowland zone to represent the topography, with the lowland fraction being potentially wetter. LMDZOR, which couples ORCHIDEE to the IPSL atmospheric model, known as LMDZ, was used to run two long-term simulations (between 1980 and 2100) under climate change, with and without hillslope flow. The results show increases in soil moisture and evapotranspiration, a slight increase in rainfall and lower air temperature. Under climate change, hillslope flows attenuate part of the climate change-induced decreases in soil moisture, evapotranspiration and precipitation, and slightly decrease warming.

In the second part, an irrigation scheme was implemented in ORCHIDEE, for use at global scale. The water demand is calculated according to the soil moisture deficit and the irrigated area, and the supply depends on natural reservoirs under two constraints: a volume left available for ecosystems (ecological flow) and water allocation according to existing local infrastructure. The new scheme was tested in offline mode, (forced with meteorological data). Comparison with observed data shows that including irrigation decreases negative modeling biases for evapotranspiration, but increases positive biases for leaf area index (except in intensively irrigated areas, where the negative bias of leaf area index decreases). Likewise, irrigation decreases the discharge of large rivers, but this does not lead to a better representation of discharge dynamics compared to observations.

The results show that landscape drivers increase certain fluxes of the water and energy balances, and in the case of hillslope flows, attenuates part of the decreases due to climate change. In the case of irrigation, online simulations are needed to know its effect on the evolution of hydroclimatic variables under climate change. In addition, considering the joint effects of the two landscape drivers is necessary, which calls for including hillslope flows and irrigation in a new version of ORCHIDEE.

Keywords : groundwater, irrigation, climate, global hydrolog