

Journées de Modélisation des Surfaces Continentales 2019

Paris, 14-15 novembre 2019

Résumés des présentations orales, classés par ordre alphabétique des orateurs

Clément ALBERGEL (CNRM) clement.albergel@meteo.fr

Avec Jean-Christophe Calvet, Bertrand Bonan, Yongjun Zheng, Adrien Napoly

Vers l'assimilation de données satellitaires à haute résolution spatiale sur les surfaces terrestres

Dans le contexte du changement climatique, les phénomènes extrêmes et particulièrement la sécheresse sont de plus en plus fréquents. La détection et le suivi des sécheresses fait intervenir de nombreuses variables du système sol- plante, comme le contenu en eau des sols (SSM) et l'indice de surface foliaire (LAI) de la végétation. Le modèle ISBA dédié aux surfaces continentales, développé par le CNRM, est capable de reconstituer ces variables à diverses échelles spatiales, de l'échelle locale à l'échelle mondiale. Ce modèle est intégré dans la plateforme de modélisation SURFEX de Météo-France et permet de simuler les principaux processus liés au bilan hydrique. Un système d'assimilation de données (« land data assimilation system »), LDAS-Monde, permet l'assimilation de différents produits satellitaires afin de contraindre le modèle ISBA. Par exemple, LDAS-Monde permet l'intégration dynamique d'observations satellitaires de SSM et LAI dans ISBA par assimilation. Cela conduit à une réduction des incertitudes sur les variables simulées. LDAS-Monde a été mis en place pour différentes échelles spatiales, de l'échelle globale à 0.25° de résolution à l'échelle de la région à 1 km de résolution. Cette contribution présente les derniers développements du CNRM en matière d'assimilation de surface en mode forcé.

Vazken ANDREASSIAN (IRSTEA, UR HYCAR) vazken.andreassian@irstea.fr

Avec Alban de Lavenne, Louise Crochemore, Göran Lindström

La mémoire des surfaces continentales: une approche hydrologique

Les surfaces continentales ont une mémoire, notamment pour ce qui est de leur capacité à produire un écoulement dans le réseau hydrographique : cette mémoire a une composante saisonnière (essentiellement liée à la dynamique de l'humidité des sols) et une composante de plus long terme, (essentiellement liée à la dynamique des aquifères souterrains, des lacs et des réservoirs). Nous nous intéressons ici à la question de la caractérisation empirique de la mémoire de long terme (i.e. pluriannuelle) des bassins versants. Dans un premier temps, nous proposons un modèle annuel pour mettre en évidence la longue mémoire hydrologique, qui s'appuie sur la notion d'élasticité des débits (Schaaque & Liu, 1989; Andréassian et al. 2016) et illustrons son utilisation sur quelques bassins français emblématiques. Nous généralisons ensuite cette approche sur un échantillon de plusieurs centaines de bassins versants situés aussi bien en France qu'en Suède. En étudiant comment cette mémoire est organisée dans l'espace, nous mettons en évidence ses déterminants physiques de premier ordre.

Gilles BOULET (CESBIO) gilles.boulet@ird.fr

Avec Delogu, E., Rafi, Z., Le Dantec, V., Er-Raki, S., Olioso, A. et Merlin, O.

Synergie optique/radar pour l'estimation de l'évapotranspiration et de sa partition en vue d'un produit "stress hydrique de la plante"

La quantification de l'évapotranspiration est cruciale pour une gestion durable des ressources en eau. Pour mieux estimer l'utilisation de l'eau par la plante, il est également important de fournir une évaluation des composantes transpiration et évaporation du sol. Si la température de surface acquise par télédétection est un excellent indicateur de stress hydrique moyen de cette surface, les bilans énergétiques à double source permettent également d'estimer ces composantes. Mais ils reposent sur des hypothèses spécifiques en matière de stress hydrique des plantes. Des informations supplémentaires provenant de données de télédétection sont donc nécessaires, soit spécifiquement liées à l'évaporation (telle que la teneur en eau de surface, qui peut être déduite des données radar) ou à la transpiration (tels que les indices physiologiques dérivés de bandes optiques spécifiques). Ce travail évalue la capacité du modèle de bilan énergétique à source double SPARSE à calculer non

seulement l'évapotranspiration totale, mais également ses composantes, en utilisant la température de surface mais également le niveau d'humidité du sol en surface. Des données de flux acquises sur les cultures de régions tempérées, méditerranéennes et semi-arides sont utilisées pour évaluer la performance d'inversion de ces composantes.

Isabelle BRAUD (IRSTEA, UR RiverLy) isabelle.braud@irstea.fr

Avec Flora Branger, Ivan Horner, Kadir Abdillahi

Apport de signatures hydrologiques pour le diagnostic d'un modèle hydrologique distribué régional

Les modèles hydrologiques distribués sont utiles pour étudier la ressource en eau dans un contexte de changement global. Pour autant, ils sont difficiles à paramétrer et fiabiliser, du fait de leur complexité et de leur nombre de paramètres. C'est encore plus le cas pour les modèles régionaux, qui couvrent des domaines larges et hétérogènes. Pour compléter l'évaluation classique de ces modèles sur la base de critères de performance, une approche de diagnostic a été développée. Elle repose sur des signatures hydrologiques, qui sont des indicateurs dérivés de données observées, interprétables du point de vue des processus. L'objectif est de formaliser l'analyse visuelle des écarts entre observation et simulation et d'identifier les représentations de processus à améliorer dans le modèle. Un jeu de 7 signatures hydrologiques reposant sur des observations de pluie et débit a été développé et appliqué au bassin versant du Rhône et au modèle J2000-Rhône (Branger et al., 2018), sur 45 sous-bassins contrastés. Les résultats montrent qu'il n'y a pas forcément de corrélation entre performance et qualité de reproduction des signatures hydrologiques. En termes de processus, les signatures ont permis d'identifier des améliorations à apporter à la paramétrisation du compartiment souterrain du modèle.

Jean-Christophe CALVET (CNRM) jean-christophe.calvet@meteo.fr

Avec Sibozhang, Catherine Meurey

La température de la pluie : perturbation du bilan d'énergie

Les mesures in situ de la température de la pluie sont rares. Des mesures d'humidité et de température du sol dans le sud de la France par le réseau SMOSMANIA sont utilisées pour évaluer le refroidissement du sol causé par des épisodes de pluie. La température de la pluie est estimée en utilisant les changements observés de l'humidité et de la température de la couche superficielle du sol en réponse à la pluie. La température de la pluie ainsi obtenue est en général plus faible que les températures de l'air, du thermomètre mouillé et du sol. Le transfert instantané de chaleur sensible entre l'eau issue des précipitations et le sol n'étant généralement pas représenté dans les modèles des surfaces terrestres, les précipitations sont susceptibles d'introduire une erreur dans le calcul du bilan d'énergie.

Matthias CUNTZ (INRA Nancy) matthias.cuntz@inra.fr

Avec Vanessa Haverd, Benjamin Smith, Josep G. Canadell, Sara Mikaloff-Fletcher, Graham Farquhar, William Woodgate, Peter R. Briggs, Cathy M. Trudinger

Higher than expected CO₂ fertilisation inferred from leaf to global observations

Several lines of evidence point to an increase in the activity of the terrestrial biosphere over recent decades, impacting the global net land carbon sink (NLS) and its control on the growth of atmospheric carbon dioxide (ca). Global terrestrial gross primary production (GPP) — the rate of carbon fixation by photosynthesis — is estimated to have risen by $(31 \pm 5)\%$ since 1900. This increase remains to be attributed. Here we show that this increase in GPP is predominantly driven by CO₂. We reconcile leaf-level and global atmospheric constraints on trends in modelled biospheric activity to reveal a global CO₂ fertilisation effect on photosynthesis of 30% since 1900, or 47% for a doubling of ca above the pre-industrial level. Our historic value is nearly twice as high as current estimates ($17 \pm 4\%$) that do not use the full range of available constraints. Consequently, under a future low emissions scenario, we project a land carbon sink (174 PgC, 2006 to 2099) 57 PgC larger than if a lower CO₂ fertilisation effect comparable with current estimates is assumed. These findings suggest a larger beneficial role of the land carbon sink in modulating future excess anthropogenic CO₂ in lower emissions scenarios consistent with the target of the Paris agreement to stay below 2 °C warming, and underscores the importance of preserving terrestrial carbon sinks.

Bertrand DECHARME (CNRM) bertrand.decharme@meteo.fr

Avec Christine Delire, Marie Minvielle, Jeanne Colin, Jean-Pierre Vergnes, Antoinette Alias, David Saint-Martin, Roland Séférian, Stéphane Sénési, Aurore Voltaire

ISBA-CTRIP, le nouveau système de modélisation des surfaces continentales pour les modèles de climats du CNRM ou des applications hydrologiques globales

Ces dernières années, des efforts importants ont porté sur l'amélioration des processus physiques du système de modélisation ISBA-CTRIP en vue de son utilisation dans nos nouveaux modèles de climats participant à CMIP6 ou en mode forcé pour des applications hydrologiques globales. Nous proposons ici de décrire brièvement les processus nouveaux et/ou améliorés mis en œuvre entre les versions CMIP5 et CMIP6 du modèle. Le schéma de sol résout explicitement les équations unidimensionnelles de Fourier et de Richards pour le transport de l'énergie et de l'eau en profondeur. Le manteau neigeux est représenté à l'aide d'un schéma de neige multi-couche de complexité intermédiaire. Un schéma d'inondation dynamique est ajouté dans lequel les plaines inondables interagissent avec l'hydrologie du sol par la ré-infiltration des eaux de crue et avec l'atmosphère sus-jacente par l'évaporation de surface d'eau libre. Enfin, les aquifères non-confinés sont représentés via un schéma diffusif bidimensionnel permettant aussi à la nappe d'interagir avec le sol superficiel par capillarité. Ce nouveau système est évalué en mode forcé en utilisant deux forçages atmosphériques différents ainsi que des estimations satellitaires et des observations in situ. Nous évaluerons tout d'abord l'enneigement et les caractéristiques du pergélisol simulé par ce modèle puis son comportement hydrologique à l'échelle globale.

Christine DELIRE (CNRM) christine.delire@meteo.fr

Avec Roland Séférian, Bertrand Decharme, Emilie Joetzjer, Xavier Morel, Matthias Rocher, Ramdane Alkama

Les améliorations dans la représentation du cycle du carbone continental par le modèle de surface ISBA : cycle du carbone continental simulé

Nous présentons les améliorations récentes dans la représentation du cycle du carbone continental par le modèle de surface ISBA : principalement l'ajout d'un module de feux de forêt, la représentation des changements d'utilisation des sols, et le lessivage de carbone organique des sols transporté vers l'océan, mais aussi des améliorations dans la représentation de la photosynthèse et de la respiration. Nous comparons les flux et réservoirs de carbone simulés par la dernière version du modèle forcée par des observations atmosphériques aux observations disponibles et à la version précédente du modèle. La comparaison montre la supériorité de la dernière version du modèle dans la représentation des réservoirs de biomasse et des flux moyens, de même que pour le cycle saisonnier de l'indice foliaire. L'évolution des flux est aussi comparée aux données disponibles.

Jérôme DEMARTY (HSM) jerome.demarty@ird.fr

Avec B. Cappelaere, I. Braud, I. Bouzou Moussa, B.-A. Issoufou, A. Allies, H. Barral, J.P. Chazarin, I. Maïnassara, M. Oï.

Modélisation échohydrologique en région sahélienne : Première application spatialisée du modèle SiSPAT

Le Sahel est exposé à l'une des plus fortes croissances démographiques observées à l'échelle de la planète et à une variabilité climatique extrême. La combinaison de ses effets se matérialise par une pression importante sur les faibles ressources disponibles sur la région. Sur ces zones, l'objectif est de disposer d'outils aidant au suivi et à la gestion des ressources et applicables jusqu'à une échelle de la petite région à laquelle est planifiée la décision. Ceci implique d'avoir une vision intégrée du continuum Sol-Végétation-Atmosphère, et de ses connections avec l'atmosphère et la zone saturée. Les travaux de modélisation des cycles d'énergie et de matière (H₂O et CO₂) aux petites échelles menés au Sahel agropastoral ont fortement souligné la pertinence d'un modèle mécaniste de type SiSPAT capable de tenir compte dans sa résolution des échanges thermo-hydriques du sol, de l'hétérogénéité verticale du sol et des phénomènes d'encroûtement (fréquemment rencontrés au Sahel). La bonne tenue du modèle a notamment permis d'établir des diagnostics précis des bilans d'eau et d'énergie des principaux agroécosystèmes rencontrés au Sahel. La stratégie de modélisation porte désormais sur la régionalisation des bilans, envisagée au moyen d'une application spatialisée de ce même modèle sur une petite région représentative de la méso-échelle. C'est ce qui a été fait pour la toute première fois, via une application du modèle SiSPAT sur la

zone du degré carrée de Niamey (21 000km² ; période 2005-2017 ; résolution 5x5km/1x1km), dont une synthèse des résultats et une discussion sur les forces/faiblesses du modèle seront présentées lors de la conférence.

Dominique DESBOIS (INRA-AgroParisTech) dominique.desbois@inra.fr

Towards the cost assessment of soil erosion

Signatory States to the 2015 Paris Agreement have set a common goal of achieving carbon neutrality. According to a logic of net emissions flow adopted by several European countries, France has adopted a Climate Plan in July 2017 with a target of zero net emissions (ZEN) of greenhouse gases, at the 2050 horizon (Quinet, 2019). The introduction of an option to use offset credits from agricultural projects in the European Emissions Trading Scheme (EETS) requires the drafting of a regulation requiring the establishment of the initial level of carbon in the EU soil and verification of the amount of CO₂ sequestered by eligible projects. The decision to adopt one or another of the sustainable land management alternatives should not be based solely on their respective benefits in terms of climate change mitigation but rather based on the consideration of the workshops. farm, assessing comprehensively the productivity, resource utilization and environmental impact of the productive system (Pellerin et al., 2017).

Alexandre DEVERS (IRSTEA, UR RiverLy) alexandre.devers@gmail.com

Avec Agnès Printemps, Jean-Philippe Vidal, Claire Lauvernet, Olivier Vannier, Laurie Caillouet

FYRE Hydro : une réanalyse hydrologique de 142 ans sur la France

Le développement récent d'une réanalyse de surface journalière à 8 km de résolution sur la France et couvrant la période 1871-2012 (FYRE Climate, Devers et al., 2019) a permis de reconstruire – avec des modèles hydrologiques conceptuels – les chroniques journalières de débit de long terme sur plus de 600 bassins versants faiblement anthropisés. Ces reconstructions ensemblistes incorporent les incertitudes sur les forçages météorologiques, les observations de débit pour le calage des paramètres, et sur le modèle hydrologique. L'objectif de ce travail est d'assimiler des observations historiques de débit – et leurs incertitudes – dans ces reconstructions pour construire une réanalyse hydrologique de long terme sur la France : FYRE Hydro. L'approche utilisée met en œuvre un filtre de Kalman d'ensemble dans une configuration offline. Elle est tout d'abord testée sur une période récente en considérant différentes densités historiques d'observations hydrométriques. L'approche est ensuite utilisée pour construire la réanalyse FYRE Hydro sur l'ensemble du XXe siècle, et fournir une représentation consolidée de la variabilité multi-décennale hydrologique sur la France. Devers, A., Vidal, J.-P., Lauvernet, C., Graff, B. & Vannier, O. (2019) A framework for high-resolution meteorological surface reanalysis through offline data assimilation in an ensemble of downscaled reconstructions Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, doi: 10.1002/qj.3663

Agnès DUCHARNE (METIS-IPSL) agnes.ducharne@upmc.fr

Avec Thomas Verbeke, Anne Jost, Josefine Ghattas, Frédérique Cheruy

Quel rôle des écoulements horizontaux le long des versants ? Effets sur l'hydrologie et le climat simulés dans les modèles de l'IPSL

Dans la version standard du modèle de surface continentale ORCHIDEE, les eaux souterraines n'ont qu'un seul rôle, celui de soutien au débit, décrit par un réservoir linéaire avec une constante de temps longue. Dans de nombreuses situations, les écoulements horizontaux associés entraînent pourtant des humidités accrues dans les zones riveraines, susceptibles d'y augmenter l'évapotranspiration, ou la production de méthane. Ces redistributions sont décrites dans une nouvelle version d'ORCHIDEE, qui distingue dans chaque maille du modèle une fraction humide, correspondant aux fonds de vallées et recevant les écoulements de la fraction haute. Par souci de simplicité, la fraction humide est supposée constante dans le temps, et prescrite depuis une carte globale des zones humides récemment construite à cette fin (Tootchi et al., 2019, ESSD, <https://doi.org/10.5194/essd-2018-87>). Nous illustrerons les principales caractéristiques de cette nouvelle version, à savoir la présence d'une nappe dans la fraction humide dont la profondeur répond au climat, une augmentation de l'évaporation, des débits plus faibles et plus précoces, et un effet refroidissant sur le climat simulé, passé et futur. Nous discuterons la variabilité géographique de ces effets et leur dépendance aux paramètres encore mal contraints du modèle (fraction humide, profondeur du sol, formulation du flux nappe-rivière).

Rosie FISHER (CERFACS) rosieafisher@gmail.com

Avec Charlie Koven, Ryan Knox, Chonggang Xu, Jacquelyn Shuman, Lara Kueppers, Anthony Walker, Nate McDowell, Alistair Rogers, Jeff Chambers, Dave Lawrence

FATES: a community tool for vegetation demographics, physiology and hydrodynamics

Je suis un modélisateur de la surface terrestre qui s'intéresse beaucoup à l'amélioration et à la mise à l'essai de la représentation des processus de la végétation. Mon travail s'est concentré sur la mise en œuvre de processus de démographie d'écosystème dans le "Community Land Model, CLM), un développement qui est récemment devenu un module open source indépendant (FATES, <https://github.com/NGEET/fates>) conçu pour être utilisé dans plusieurs systèmes de surface terrestre hôte. FATES comprend également un modèle "hydro-dynamique", des rétroactions végétation-incendie structurées par taille et des définitions de PFT souples. L'utilisation des terres par l'homme et le cycle des nutriments sont en cours de développement. Le développement de FATES est en pleine expansion et nous recherchons activement 1) de nouvelles collaborations, 2) de nouveaux outils d'analyse comparative des modèles, 3) de renforcer nos liens avec la théorie de l'écologie communautaire et 4) des méthodes de gestion de la complexité des modèles et de l'incertitude des paramètres.

Bertrand GUENET (LSCE-IPSL) bertrand.guenet@lsce.ipsl.fr

Avec Marta Camino-Serrano, Marwa Tifafi, Jérôme Balesdent, Christine Hatté, Josep Peñuelas, Sophie Cornu, Hector Morras, Lucas Moretti, Sebastián Barbaro

Utilisation des isotopes du carbone pour mieux représenter la dynamique des matières organiques du sol dans le modèle ORCHIDEE

Le carbone organique du sol (COS) est une composante cruciale du cycle du carbone terrestre, et les durées de renouvellement des réservoirs sol-carbone modélisés sont une source majeure d'incertitude. Des études ont mis en évidence l'utilité des mesures des isotopes du carbone (^{13}C et ^{14}C) dans le sol pour évaluer les temps de résidence du COS dans des modèles de surfaces globaux. Nous avons utilisé le ^{13}C et le ^{14}C comme traceurs dans un module de sol discrétisé verticalement d'un modèle de surface terrestre, ORCHIDEE. Nous avons vérifié que le module de sol amélioré était capable de reproduire le signal du ^{13}C et du ^{14}C sur plusieurs sites. Nous avons également appliqué le modèle à l'Europe. L'utilisation des isotopes du carbone a permis de mettre en avant l'importance de prendre en compte certains processus pour bien représenter à la fois le COS et les isotopes du carbone. Ce nouveau module de sol représentant les isotopes du carbone dans les sols est un outil émergent pour le diagnostic et l'amélioration des modèles de SOC globaux.

Luca GUILLAUMOT (Géosciences Rennes) luca.guillaumot@univ-rennes1.fr

Avec J-R. de Dreuzy, L. Aquilina, C. Vautier, A. Guillou

Comment contraindre la dynamique des bassins versants ? Apports des mesures de débits et de traceurs géochimiques aux modèles hydrogéologiques

Les bassins versants bretons sont constitués de compartiments difficiles à représenter dans les modèles. La variabilité spatiale des propriétés géométriques et hydrodynamiques de ces compartiments est alors difficilement caractérisable. De plus, il en résulte une réponse complexe aux précipitations avec des temps de réponse allant du jour à plusieurs années. Les modèles hydrologiques ont donc à charge de simuler plus ou moins explicitement la complexité des bassins. Leur objectif est de prévoir la réponse spatiotemporelle des systèmes naturels à des perturbations diverses (climat, prélèvement en eau, apport de fertilisants...). La paramétrisation de ces modèles parcimonieux est alors une étape cruciale se basant sur la confrontation aux données observées telles que les débits de rivière ou les concentrations chimiques. Notre approche s'appuie sur un enjeu important. Une part des intrants azotés issus de l'agriculture s'infiltre sous la surface puis transite avant d'être restitué aux rivières. Il en résulte des concentrations élevées en nitrates nuisant à la qualité des eaux superficielles et souterraines. Le temps de réponse des aquifères à cette pollution est encore un frein majeur à la compréhension et donc à la décision. Nous proposons donc ici une approche pluridisciplinaire afin de modéliser les flux au sein de ces systèmes hydrologiques.

Pierre Alain JAYET (INRA-AgroParisTech) pierre-alain.jayet@inra.fr

Avec Inès CHIADMI

Demande d'eau d'irrigation, allocation des terres agricoles et changement climatique : analyse par la modélisation agro-économique

La demande d'eau de la part des systèmes de production agricole représente une part significative des prélèvements d'eau. Indépendamment de la réalisation des investissements permettant de la satisfaire, les interactions entre changement climatique et précipitations contribueront à fortement perturber le système productif. Nous menons une analyse économique de ces interactions en combinant un modèle agro-économique de l'offre agricole et un modèle biophysique de croissance des cultures. Des résultats sont produits à différentes échelles, pour la France et l'Union Européenne. Le modèle opère à trois niveaux : (1) au niveau de la parcelle occupée par une culture donnée, une fonction de rendement en réponse aux apports d'eau et d'azote est sélectionnée à partir d'un ensemble de fonctions elles-mêmes résultant de simulations d'un modèle de culture (le modèle STICS) ; (2) le modèle agro-économique AROPAj optimise la marge brute de chacune des 1800 exploitations agricoles contribuant à l'activité agricole par rapport, entre autres, aux intrants (eau et azote) et au partage de la surface utile entre cultures, prairies et fourrages ; (3) les réponses du modèle sont agrégées à l'échelle de la région, puis redistribuées géographiquement à l'aide de méthodes d'économétrie spatiale. Le changement climatique intervient via la déformation des fonctions de rendement.

Emilie JOETZJER (CNRM) emilie.joetzjer@gmail.com

Avec Philippe Ciais, Fabienne Maignan, Sebastiaan Luyssaert, Ben Poulter, Isabelle Maréchaux, Jérôme Chave

Effect of tree demography and flexible root water uptake for modeling the carbon and water cycles of Amazonia

This study aims at simulating the dynamic of the evapotranspiration (ET), productivity (GPP), biomass (AGB) and forest structure of wet tropical forests in the Amazon basin using the updated ORCHIDEE land surface model. The latter is improved for two processes: stand structure and demography, and plant water uptake by roots. Stand structure is simulated by adapting the CAN version of ORCHIDEE, originally developed for temperate forests. Here, we account for the permanent recruitment of young individual trees, the distribution of stand level growth into 20 different cohorts of variable diameter classes, and mortality due to asymmetric competition for light. Plant water uptake is simulated by including soil-to-root hydraulic resistance (RS). To evaluate the effect of the soil resistance alone, we performed factorial simulations with demography only (CAN) and both demography and resistance (CAN-RS). AGB, ET and GPP outputs of CAN-RS are also compared with the standard version of ORCHIDEE (TRUNK) for which eco-hydrological parameters were tuned globally to fit GPP and evapotranspiration at flux tower sites. All the model versions are benchmarked against in situ and regional datasets. We show that CAN-RS correctly reproduce stand level structural variables (as CAN) like diameter classes and tree densities when validated using in-situ data. Besides offering the key advantage to simulate forest's structure, it also correctly simulates ET and GPP and improves fluxes spatial patterns when compared to TRUNK. With the new formulation of soil water uptake, which is driven by soil water availability rather than root-biomass, the trees preferentially use water in the deepest soil layers during the dry seasons. This improves the seasonality of ET and GPP compared to CAN, especially on clay soils for which the soil moisture potential drops rapidly in the dry season. Nevertheless, since demography parameters in CAN-RS are constant for all evergreen tropical forests, spatial variability of AGB and basal area across the Amazon remains too uniform compared to observations, and are very comparable to the TRUNK. Additional processes such as climate driven mortality and phosphorus limitation on growth leading to the prevalence of species with different functional traits across the Amazon need to be included in the future development of this model.

Sylvain KUPPEL (IPGP, IRSTEA) sylvain.kuppel@irstea.fr

Avec I. Braud, S. Anquetin, F. Habets, J. Gaillardet, J. Riote, L. Ruiz, MP Maneta, C. Soulsby et D. Tetzlaff

Cartographie des états hydrologiques de la zone critique : vers une approche modèle-données interdisciplinaire

L'étude du fonctionnement des systèmes hydrologiques allie progressivement la traditionnelle analyse temporelle des lois entrée-sortie (p. ex. comparant précipitation et débit des rivières) à un suivi explicite de "quelle eau" transite à un endroit et moment donnés. Ces deux approches, complémentaires pour comprendre les processus de

la zone critique dont l'eau est l'agent commun, peuvent respectivement reposer sur l'utilisation de variables d'état clés comme le stock et l'âge de l'eau (depuis son entrée dans le système). La mesure de ces quantités étant généralement difficile, l'information contenue dans les observations de terrain peut crucialement contraindre les modèles basés sur les processus, ceux-ci permettant ensuite de simuler en continu tous les états internes du système. Cette cartographie de la dynamique hydrologique de la zone critique est ici illustrée dans deux petits bassins versants très différents (haute latitude et tropical). L'analyse explore l'espace des états de stockage puis intègre l'âge de l'eau pour caractériser la dynamique saisonnière, se focalisant en particulier sur les flux d'évaporation (sol et transpiration) et les contrastes entre sous-unités. Des limitations sont discutées, mettant en avant l'importance de la richesse unique d'un réseau d'observatoires de la zone critique tel qu'OZCAR pour systématiser et affiner cette approche.

Anne Sofie LANSØ (LSCE-IPSL) anne-sofie.lanso@lsce.ipsl.fr

Avec Matthew McGrath, Nicolas Vuichard, Palmira Messina, Bertrand Guenet, Philippe Peylin, James Ryder, Kim Naudts, Yi-Ying Chen, Juliane El Zohbi, AudeValade and Sebastiaan Luysaert

Forest management developments and applications with ORHIDEE-CN-CAN

The state-of-the-art land surface model ORCHIDEE-CN-CAN includes the nitrogen cycle together with a dynamic multi-layer canopy structure, realistically representing growth at the tree level, and an authentic forest management scheme. Thus, ORCHIDEE-CN-CAN is capable of simulating the interactions between nutrient limitations and forest management and their impact on the carbon cycle. Forest management practices of different thinning regimes, rotation lengths, final felling, fertilization, coppicing, species change, and non-timber forest uses like litter raking have been included in the model, while vulnerability to storm events and insect outbreaks (wind throws and bark beetle attacks) are currently under developments. Due to its dynamic canopy structure, ORCHIDEE-CN-CAN moreover outputs variables of interest to foresters such as stand age, height, diameter, basal area, basal area increment and density of individuals facilitating cross-sectoral collaborations and applications. The presentation will synthesize the forest management model developments made in ORCHIDEE-CN-CAN together with results from various cutting-edge land surface model applications including European scale future forest management strategies, forest N fertilization experiments, litter raking, and bark beetle attack.

Simon MUNIER (CNRM) simon.munier@meteo.fr

Avec Bertrand Decharme

Impact de la haute résolution pour la modélisation des processus en rivière à l'échelle continentale

Dans le contexte du changement climatique, la pression croissante sur la disponibilité de la ressource en eau pousse à améliorer notre compréhension des processus impliquant le débit de rivière et le niveau des nappes, dans le but d'améliorer le suivi et la gestion de la ressource. La plateforme de modélisation SURFEX-CTRIP, développée au Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) à Météo-France, est utilisée en particulier pour simuler l'ensemble des processus liés aux transferts de masse d'eau sur les surfaces continentales, incluant les échanges avec l'atmosphère simulés par SURFEX et la propagation dans le réseau hydrographique (rivières, nappes souterraines et plaines d'inondations) simulés par CTRIP. Le modèle CTRIP est récemment passé à la résolution de 1/12° (soit environ 8 km aux moyennes latitudes). Une telle résolution permet de prendre en compte beaucoup plus de cours d'eau, et devient suffisante pour intégrer dans la modélisation des processus de plus fine échelle, telle que la présence de barrages, la température de l'eau ou les prélèvements en rivière et en nappe pour l'irrigation. Elle est en outre plus compatible avec les observations satellitaires des processus de surface (dont altimétrie).

Marc PEAUCELLE (U. Gent) marc.peaucelle@ugent.be

There's no such thing as "The Tropical Rainforest": incorporating heterogeneity of tropical forests in a global vegetation model

Tropical forests are an essential component of the earth system and play a critical role for land surface feedbacks to climate change. Uncertainty in the magnitude of the role of these forests on the global carbon cycle is driven by the high spatial heterogeneity of tropical forests, with varying carbon dynamics, forest structure and species

composition. We hypothesize that by failing to capture this spatial heterogeneity of tropical forests in dynamic global vegetation models, model projections on pantropical carbon dynamics will remain unreliable. We therefore aim to introduce a better model structure and parameterization for tropical forests in the vegetation models. After showing what are the key differences between tropical forests across regions, I will discuss recent datasets on plant traits, forest structure and allometry, as well as approaches that we could use in vegetation models for a better continent-specific representation of tropical forest plant functional type (PFT) and ecophysiological processes. By incorporating tropical heterogeneity at different levels, we would be able to improve simulations of pantropical forest biomass stocks and carbon dynamics.

Nina RAOULT (LSCE-IPSL) nina.raoult@lsce.ipsl.fr

Avec Catherine Ottlé, Philippe Peylin, Pascal Maugis, Vladislav Bastrikov

Confronting Soil Moisture Dynamics from the ORCHIDEE Land Surface Model with the ESA-CCI Product: Perspectives for Data Assimilation

Soil moisture plays a key role in water, carbon and energy exchanges between the land surface and the atmosphere. Therefore, a better representation of this variable in the Land-Surface Models (LSMs) used in climate modelling could significantly reduce the uncertainties associated with future climate predictions. In this presentation, the ESA-CCI soil moisture (SM) combined product (v4.2) is confronted against the simulated top-first layers/cms of the ORCHIDEE LSM (the continental part of the IPSL Earth System Model), to evaluate its potential to improve the model using data assimilation techniques. A sensitivity analysis is performed in order to identify the most influential parameters and preliminary calibrations done over a few in situ sites are shown. At each stage of the analysis, soil moisture, latent heat and photosynthetic fluxes are considered in order to better understand the iterations between the different terrestrial cycles.

Omar REGAIEG (CESBIO) omar.regaieg@gmail.com

Avec Jean-Philippe Gastellu-Etchegorry

Modélisation de la fluorescence chlorophyllienne avec DART

La fluorescence induite par le soleil (SIF) est une réémission spontanée de radiations par la végétation dans la bande [640 850nm]. Elle est un indicateur fiable et instantané de l'activité photosynthétique et donc du fonctionnement de notre Planète. La prochaine mission Fluorescence Explorer (FLEX) de l'ESA est dédiée à son observation depuis l'espace. Le modèle "SIF" de référence SCOPE/mSCOPE inclue un module de bilan d'énergie qui simule les facteurs environnementaux qui affectent la SIF. Ce sont des modèles 1D (i.e., milieu turbide homogène) qui négligent l'architecture des couverts, et simulent donc de manière imprécise la SIF et son observation satellite. En effet, comme l'absorption et l'émission thermique, la SIF émise et la SIF observée dépendent beaucoup de l'architecture 3D du couvert végétal et des directions solaires et d'observation. La modélisation 3D est donc nécessaire pour quantifier la SIF et pour interpréter les futures mesures FLEX. Depuis 2017, le modèle de transfert radiatif 3D DART est couplé au modèle SCOPE pour simuler la SIF et son observation, pour des couverts simulés avec les approches "facette" et "turbide". La validation de DART avec SCOPE pour le milieu 1D de SCOPE, et son application à différents couverts 3D (maïs,...) sont présentées ici.

Vincent RIVALLAND (CESBIO) vincent.rivalland@cesbio.cnes.fr

Avec Wafa Chebbi, Zohra Lili Chabaane, Gilles Boulet

Caractérisation et modélisation avec SURFEX-ISBA des échanges d'eau et d'énergie d'une oliveraie pluviale éparsée en zone semi-aride

L'olivier est un agro-système pérenne très présent dans le pourtour méditerranéen et dont les retombées économiques de sa production sont significatives pour les pays producteurs. Cet arbre est connu pour être adapté au stress hydrique et aux fortes chaleurs. Il est l'objet de pratiques culturelles contrastées (pluvial, irrigué, co-culture inter-rangs) et l'écartement entre les arbres est historiquement fonction de la distribution de la pluviométrie ou du système d'irrigation, ainsi, dans un pays producteur comme la Tunisie, on constate un espacement croissant entre deux pieds en fonction de la latitude (6m au nord, 25 m au sud) assurant un volume de sol exploré par les racines supposé être suffisant pour satisfaire les besoins en eau de chaque arbre. Le présent travail a été réalisé à l'occasion

d'une thèse (Chebbi, 2019), et a permis d'améliorer notre connaissance des processus physiques régissant le cycle hydrologique et le bilan d'énergie d'une oliveraie pluviale telle qu'on peut en trouver en Tunisie centrale. Dans un premier temps, un protocole expérimental dédié qui comprend des mesures par la méthode de fluctuations turbulentes et la méthode de flux de sève a été mis en place. Les données collectées qui renseignent sur les échanges d'énergie et de matière au sein du continuum sol-plante-atmosphère ont été analysées et leur cohérence a été vérifiée au travers d'une étude des différentes composantes des bilans hydrique et énergétique à différentes échelles spatiales et temporelles. Dans un second temps, le modèle d'échanges sol-plante-atmosphère SURFEX-ISBA a été calé et validé en s'appuyant sur l'important jeu de données observé pour reproduire le fonctionnement des oliviers. Cette étude souligne que le caractère épars des oliviers est néanmoins un défi pour l'application de ces outils car la fraction de couverture de végétation (moins de 7 % pour notre site de Nasrallah) est telle que les échanges de surface modélisés sont dominés par le fonctionnement du sol nu. Des ajustements ont été proposés pour adapter le modèle à ce faible taux de couvert végétal et au fonctionnement particulier de la parcelle. Cette connaissance devrait nous permettre de mieux appréhender la réponse de ces couverts épars, où l'eau est un facteur limitant, à des changements climatiques annoncés tel que des sécheresses récurrentes dont la fréquence et l'intensité risquent de s'accroître et dont l'impact sur cette culture est encore mal connu.

Matthias ROCHER (CNRM) matthias.rocher@meteo.fr

Avec Roland Séférian, Christine Delire, Dominique Carrer, Simon Munier, Eric Ceschia, Nina Buchmann, Regine Maier, Aurore Brut, Tanguy Manise

Un schéma global pour prédire le moment de l'émergence des cultures grâce à l'utilisation d'une approche d'apprentissage statistique

Les terres cultivées jouent un rôle clé dans les systèmes modernes de production alimentaire et énergétique et seront d'une importance majeure dans les futures stratégies d'atténuation du changement climatique. Malgré leur importance, les terres cultivées demeurent mal représentées dans la génération actuelle de modèles de surface (LSM). En effet, le cycle phénologique des cultures de nombreux modèles est régi par un modèle de degrés-jours (GDD) qui dépend de plusieurs variables phénologiques fixées, comme la date de semis par exemple. Ces variables peuvent s'avérer être décorrélatées du changement climatique. Nous présentons ici un modèle à l'échelle globale qui prédit la température atteinte au moment de l'émergence des cultures en C3 et C4. Dans le processus de validation, pour comparer les observations globales des cultures en C3 et en C4 aux observations locales de FLUXNET, nous utilisons les cultures C3 et C4 les plus répandues qui sont respectivement le blé d'hiver et le maïs, avec une superficie mondiale récoltée de 0,219 Gha et 0,197 Gha en 2017, soit 30% et 27% des céréales mondiales. Le modèle prédictif est développé en utilisant une approche statistique appliquée aux données satellites de LAI et sur des variables climatiques.

Mohamed SAADI (METIS-IPSL) mohamed.saadi@upmc.fr

Avec Ludovic Oudin, Pierre Ribstein

Comment modifier un modèle "rural" pour tenir compte de l'urbanisation d'un bassin versant ?

Quand un bassin versant naturel s'urbanise, des changements surviennent sur le cycle de l'eau. Mettre en évidence ces changements est difficile à cause de la complexité des mouvements de l'eau dans la ville. Les modèles hydrologiques en milieu urbain sont ainsi conçus dans l'objectif de représenter l'impact sur la relation pluie-débit de l'urbanisation. Or, la plupart des modèles actuels sont limités à l'échelle de la ville, ou d'un quartier de la ville, et ne prennent pas en compte la présence de surfaces naturelles et leur interaction avec les surfaces urbaines. Lorsque des tentatives de cette prise en compte existent, elles sont souvent limitées à quelques cas particuliers, ce qui questionne la validité des modèles résultants pour d'autres cas d'étude. Notre objectif est d'élaborer une structure de modèle où l'interaction entre les surfaces urbaines et naturelles est prise en compte à l'échelle du bassin versant. Nous avons fait le choix de partir d'une structure de modèle « rural » et de la complexifier pour prendre en compte les aspects des surfaces urbaines. Les modifications ont été effectuées en utilisant un large échantillon de bassins versants français et américains fortement urbanisés (>190 bassins versants), dans le but de mieux reproduire les écoulements sur ces bassins. Les résultats préliminaires indiquent qu'une paramétrisation de la partition entre écoulements lent et rapide permet d'améliorer les performances.

Vincent THIEU (METIS-IPSL) vincent.thieu@upmc.fr

Avec Audrey Marescaux, Goulven Laruelle, Josette Garnier

C-cycling from streams to sea: introducing a new integrative river-estuarine modeling approach applied to the Seine aquatic continuum

Inland waters have been recognized as an active component of the carbon cycle where transports and transformations are associated with carbon dioxide (CO₂) outgassing. As a textbook example of a highly human impacted river basin, the Seine River (France) contains the largest wastewater treatment plant in Europe, devotes 60% of its surface to intensive agricultural activities and, exports ~800 GgC yr⁻¹ into the sea. Nevertheless, physical and biogeochemical processes operate throughout the Seine River journey, affecting both organic and inorganic carbon fractions. The coupling of two mechanistic models, pyNuts-Riverstrahler (river) and C-GEM (estuary), provides process-based understanding of the complex spatial and temporal dynamics of carbon, oxygen and nutrients. It also enables the quantification of CO₂ exchange at the air-water interface along the entire Seine River network. Our recent insight in the modeling of inorganic carbon in the Seine River freshwater shows an up- to down- stream control of CO₂ emissions related to the gas transfer velocity and terrestrial DIC inputs. Analysis of the Seine River metabolism highlighted the importance of benthic activities in small streams while planktonic activities play a greater role in larger rivers. As a whole, the Seine drainage network appears supersaturated in CO₂ with respect to atmospheric concentrations, emitting ~422 GgC.yr⁻¹. Our integrative modeling approach demonstrates that 18% of these emissions occur in a relatively short but highly reactive estuary (transforming 65% of the OC into DIC), and confirms that due to its increasing width and surface area, the estuary contributes significantly to the carbon processing in the Seine River system.

Andrée TUZET (INRA AgroParisTech) andree.tuzet@inra.fr

Avec Alain Perrier

Modélisation du transfert d'eau dans le continuum sol-plante-atmosphère

Le bilan d'énergie, à la base de tous les phénomènes d'échange de surface, ne définit parfaitement ces échanges qu'en fonction de la disponibilité en eau de la surface ; et donc la prise en compte du continuum de l'eau depuis le sol jusqu'à l'atmosphère est cruciale pour quantifier la transpiration et les échanges d'eau entre la surface terrestre et l'atmosphère. En effet, c'est l'extraction de l'eau du sol par les racines, qui assure l'approvisionnement en eau des plantes, et les réservoirs tissu-plante qui jouent un rôle tampon en cas de stress hydrique ; ces processus sont hautement dynamiques et non linéaires. Pour prendre en compte ces diverses interactions, un modèle de continuum sol-plante-atmosphère a été développé. Dans ce modèle, un véritable couplage bilan d'énergie - bilan hydrique permet de gérer les transferts d'eau dans la plante et leur régulation. Le flux d'eau est contrôlé par la demande climatique, l'état hydrique de la plante, la régulation stomatique et une diffusion radiale de l'eau du sol vers les racines. Le déterminisme de la conductance stomatique est exprimé en fonction des facteurs du milieu à travers la photosynthèse et en fonction de l'état hydrique du sol et de la plante à travers le potentiel hydrique.

Laure VINCENT (CNRM) vlaurev@gmail.com

Avec Matthieu Lafaysse, Yves Lejeune, Aaron Boone, Adrien Napoly, Erwann Le Gac, Catherine Coulaud, Guilhem Freche, Jean-Emmanuel Sicart.

Evaluation d'un schéma couplé neige-végétation dans des climats contrastés

La présence de forêt affecte fortement l'évolution du manteau neigeux par des processus variés : interception des précipitations par les arbres, modification de la météorologie de surface par la canopée (vent, température), ombre du rayonnement solaire, rayonnement infrarouge des arbres, etc. Cependant, les évaluations des modèles représentant ces processus restent rares. Le schéma ISBA-MEB a été récemment implémenté dans la plateforme de modélisation de la surface SURFEX. Il représente les principales interactions neige-végétation en incluant une couche de végétation haute et une couche de litière. Il est couplé à deux schémas de neige de différentes complexités (ES et Crocus), incluant la version multiphysique de Crocus (système ESCROC). Cette contribution présente l'évaluation de ce modèle sur 3 sites de forêt dans le Saskatchewan au Canada, qui font partie du jeu de données ESM-SnowMIP, et sur une forêt d'épicéas de moyenne altitude au Col de Porte dans les Alpes Française. Des résultats contrastés sont obtenus : si l'épaisseur de neige est reproduite de façon assez réaliste sur les sites

Canadiens, des biais majeurs sont obtenus au Col de Porte bien que l'impact radiatif de la canopée soit pourtant bien représenté. Nous montrons que cela est principalement causé par une insuffisante transférabilité spatiale des paramétrisations utilisées pour l'évolution de la neige interceptée sur les branches. Cette erreur est largement plus significative que la variabilité spatiale du manteau neigeux dans la forêt et que les incertitudes des autres processus représentés dans le modèle de neige. Ainsi, la simulation de la neige interceptée apparaît comme l'un des principaux challenges à relever pour des applications à grande échelle du schéma dans les modèles climatiques et hydrologiques. Nous présentons les principales pistes d'amélioration issues de la littérature qui seront explorées dans les mois à venir.

Théo VISCHEL (IGE) theo.vischel@univ-grenoble-alpes.fr

Avec Wilcox C., Panthou G., Quantin G., Harris P., Blanchet J., Aly C., Taylor C., Berthou S., Vandervaere J.-P., Lebel T., Stratton R

Evidences de l'intensification du cycle hydrologique en Afrique de l'Ouest et défis pour la modélisation hydro-climatique

Depuis la grande sécheresse des années 70 et 80, l'Afrique de l'Ouest est confrontée à une intensification du cycle hydrologique traduite par une croissance des extrêmes hydrologiques causant, conjointement aux épisodes de sécheresse encore fréquents, des inondations dommageables pour les populations. Après avoir fait état de quelques résultats notoires qui ont permis de détecter les tendances sur les précipitations et les crues extrêmes, on présentera une chaîne de modélisation climat-impact hydrologique intégrant les processus hydro-climatiques en jeu dans la région. Cette chaîne a la particularité de prendre en compte de façon explicite la méso-échelle associée aux orages de mousson en associant un modèle climatique régional haute résolution à convection explicite (CP4-Africa développé par le Met Office), un simulateur stochastique de pluie (Stochastorm) et un modèle hydrologique (Phorm) développés à l'IGE spécifiquement pour l'Afrique sub-saharienne. On montrera comment cette chaîne permet de répondre à des besoins identifiés par les décideurs pour la gestion des risques d'inondations au Sahel. On pointera également ses limites et les orientations possibles pour améliorer les approches de modélisation notamment en vue de mieux intégrer les interactions hydrologie-société très prégnantes dans la région.

Nicolas VUICHARD (LSCE-IPSL) nicolas.vuichard@lsce.ipsl.fr

Avec Palmira Messina, Sebastiaan Luyssaert, Bertrand Guenet, Sönke Zaehle, Josefine Ghattas, Vladislav Bastrikov, Philippe Peylin

Prise en compte du cycle de l'azote dans le modèle ORCHIDEE: impact sur la productivité primaire brute

Les modèles globaux du fonctionnement des écosystèmes terrestres simulent les échanges d'énergie, d'eau et de matière au sein du continuum sol/plante/atmosphère. Au sein du modèle ORCHIDEE, un effort a été entrepris depuis quelques années visant à intégrer le cycle de l'azote dans notre modélisation visant en premier lieu à rendre compte d'une limitation de la productivité des écosystèmes. A l'aide d'un ensemble de simulations idéalisées sur site où la concentration atmosphérique en CO₂ est enrichie, nous présenterons tout d'abord l'impact de prendre en compte les interactions carbone-azote sur l'effet fertilisant qu'a l'augmentation du CO₂ sur la productivité primaire brute (GPP) simulée par ORCHIDEE. Un ensemble de simulations factorielles à l'échelle globale sur la période 1860-2016 ont également permis de quantifier la contribution de l'augmentation des quantités de fertilisants azotés appliqués et des dépôts atmosphériques d'azote sur l'augmentation simulée de la GPP. La modélisation du cycle de l'azote inclut également une représentation simplifiée des émissions de composés azotés (N₂O, NH₃, NO_x). Les résultats d'un projet d'intercomparaison de modèles visant à représenter les émissions de N₂O à l'échelle globale – auquel le modèle ORCHIDEE a participé – seront ainsi présentés.