

Toulouse, le 19 Juin 2023

A l'attention des Directrices/Directeurs d'Unités de Recherche associées au M2 SOAC

Cher.e.s Directrices/Directeurs d'Unités,

Le M2 SOAC (parcours Dynamique du Climat et parcours Etudes Environnementales) sollicite vos équipes pour proposer des sujets de stage de recherche sur les thématiques scientifiques du master (<https://masters.obs-mip.fr/soac/>) pour l'année universitaire 2023-2024. D'une durée de **6 mois**, ces stages pourront débuter à partir du **15 février 2024**, ou plus tard selon convenance, et devront finir au maximum le **30 septembre 2024**. Les soutenances intermédiaires de stage auront lieu **mi mai 2024** et les soutenances finales **au cours de la semaine du 2 septembre 2024 (dates précisées ultérieurement)**.

La date de retour des propositions de stage - via les Directeurs d'Unité - est fixée au **mercredi 20 septembre 2023**. Vous aurez la possibilité de présenter vos laboratoires et sujets de stage proposés au sein de vos équipes au cours d'une séance devant les étudiants et élèves le **mardi 26 septembre 2023** à l'ENM (créneaux d'environ 15-20 minutes). Si votre unité de recherches est concernée par un prochain changement de direction et si vous le souhaitez, vous pourrez associer la future direction à tout ou partie de la démarche. Les propositions de stage auront été validées au préalable par la Commission Pédagogique du master. Nous diffuserons en parallèle l'offre complète sur le site web du master à partir du **mercredi 27 septembre 2023**. La Commission Pédagogique du Master n'interviendra pas sur l'attribution de stages, qui relève de la seule compétence des chercheurs proposant les sujets. **Dès qu'une attribution sera conclue, nous remercions les chercheurs concernés de nous prévenir afin que le sujet soit retiré de la liste des propositions**. Nous souhaitons clore la phase d'attribution vers la moitié du mois de décembre 2023, ce qui laissera environ 2 mois aux étudiants/élèves pour contacter les chercheurs et visiter les laboratoires d'accueil.

Vous trouverez ci-après : le modèle de fiche à remplir pour chaque sujet de stage proposé (**sur 1 seule page et sans figure SVP**), et le guide du stage qui rappelle les objectifs de ces stages de recherche et qui sert de référence pour leur évaluation (à transmettre aux responsables de stage).

Pour nous faciliter la manipulation des nombreux fichiers (création d'un document de compilation), nous vous serions reconnaissants de nous retourner par mail les fiches de stage sur la page suivante au format .pdf et avec la nomenclature ci-après :

**M2SOAC-2024-proposition-stage-LABORATOIRE-ENCADRANT.pdf**

Nous vous remercions pour votre collaboration et vous adressons nos plus cordiales salutations.

Véronique PONT

*Responsable UPS  
du M2 SOAC-DC*

Olivier PANNEKOUCKE

*Responsable INPT  
des M2 SOAC-DC et SOAC-EE*

Dominique SERÇA

*Responsable UPS du master  
SOAC et du M2 SOAC-EE*

## M2 SOAC : Fiche de stage de recherche en laboratoire

Laboratoire : CNRM/GMGEC/CLIMSTAT

Titre du stage : Évaluation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau par les écosystèmes et de sa réponse aux forçages anthropiques dans les modèles du système Terre

Nom et statut du (des) responsable (s) de stage : Hervé Douville et Christine Delire

Coordonnées (téléphone et email) du (des) responsable (s) de stage :  
[herve.douville@meteo.fr](mailto:herve.douville@meteo.fr) / 05 61 07 96 25

Sujet du stage :

Définie comme le rapport entre la productivité primaire brute (GPP, Gross Primary Productivity) et l'évapotranspiration (ET), l'efficacité de l'utilisation de l'eau (WUE, Water Use Efficiency) est un indicateur de l'ajustement de la photosynthèse de la végétation à des limitations en eau, et donc de la résilience des écosystèmes à des épisodes de sécheresses. Les processus qui contrôlent la WUE sont complexes et reflètent à la fois une évolution lente des communautés végétales et des ajustements rapides aux ressources disponibles (dont le dioxyde de carbone atmosphérique et l'humidité des sols). La représentation de ces processus dans les modèles du système Terre (ESM, Earth System Model) demeure empirique et peut donner lieu à des évolutions incertaines dans les projections climatiques du 21<sup>ème</sup> siècle .

Mieux évaluer l'évolution récente de la WUE simulée par les ESMs de dernière génération (CMIP6) et, si possible, contraindre son évolution future représente ainsi un enjeu important, à la fois pour les questions d'atténuation (bilan carbone) et d'adaptation (bilan d'eau, végétation). Prédire comment l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique affectera le cycle hydrologique est notamment crucial pour les secteurs agricole et forestier. De nombreux travaux montrent en effet que les changements hydrologiques ne sont pas seulement induits par les anomalies de précipitations, de température et de rayonnement, mais également par les ajustements de la végétation (photosynthèse et conductance stomatique) à l'accroissement du CO<sub>2</sub> atmosphérique (Lemordant et al., 2018 ; Douville et al., 2020 ; Douville et al., 2023).

Selon le dernier rapport du GIEC, la disponibilité en eau contrôle la distribution spatiale de la GPP sur une grande partie du globe, mais aussi la variabilité temporelle des échanges nets de carbone entre les écosystèmes terrestres et l'atmosphère. Certaines études montrent une augmentation significative de la GPP de 1982 à 2011, sans que cela ne s'accompagne d'une augmentation proportionnelle de l'évapotranspiration (e.g., Cheng et al., 2017). Cependant, il reste difficile d'isoler les contributions respectives du CO<sub>2</sub> atmosphérique, de la température, du déficit de vapeur d'eau (VPD) et de l'humidité des sols (SM) à cette évolution. Par ailleurs, d'autres études suggèrent une saturation possible de la réponse de la WUE à l'accroissement du CO<sub>2</sub> (Adams et al., 2020 ; Li et al., 2023), et des disparités régionales dans la réponse des écosystèmes (Huang et al., 2015). Enfin, l'évolution des facteurs hydrologiques qui pilotent les changements de WUE est elle-même incertaine, malgré la possibilité de mettre en œuvre certaines contraintes observationnelles (e.g., Douville et Willett, 2023 ; Zhu et al., 2023).

Pour ce stage, nous proposons :

- d'utiliser les observations *in situ* du réseau FLUXNET et des produits satellitaires pour mieux comprendre la modulation de la GPP, ET et WUE en réponse à la variabilité spatiotemporelle de l'humidité du sol et/ou du VPD ;
- d'évaluer la capacité du modèle CNRM-ESM2.1 à reproduire les relations et les tendances observées sur la fin de la période historique ;
- d'élargir cette évaluation à l'ensemble des ESMs ayant fourni les diagnostics nécessaires dans le cadre de l'intercomparaison CMIP6 ;
- enfin, et si possible, de contraindre les changements récents et futurs simulés par ces ESMs via la méthode KCC (Kriging for Climate Change, Ribes et al., 2021).

Selon les premiers résultats obtenus et la qualité des observations disponibles, on pourra se focaliser ou non sur certaines régions telle que la forêt Amazonienne, où une majorité de modèles s'accordent sur une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses (e.g., Joetzjer et al., 2013 ; Cook et al., 2020), mais où l'amplitude de cette augmentation et la réponse de la GPP demeurent très incertaines.

## Quelques références utiles :

Lemordant et al. (2018) Critical impact of vegetation physiology on the continental hydrologic cycle in response to increasing CO<sub>2</sub>. PNAS, <https://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1720712115>

Douville et al. (2020) Drivers of the enhanced decline of land surface relative humidity in CNRM-CM6-1. Clim. Dyn., <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-020-05351-x>

Douville et al. (2023) Drivers of dry day sensitivity to increased CO<sub>2</sub>. Geophys. Res. Lett., <https://dx.doi.org/10.1029/2023GL103200>

Cheng et al. (2017) Recent increases in terrestrial carbon uptake at little cost to the water cycle. Nature Com., <https://dx.doi.org/10.1038/s41467-017-00114-5>

Adams et al. (2020) Diminishing CO<sub>2</sub>-driven gains in water-use efficiency of global forests. Nature Climate Change, <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0747-7>

Li, F. et al. (2023) Global water use efficiency saturation due to increased vapor pressure deficit. Science, 381, 672–677, <https://www-science-org.insu.bib.cnrs.fr/doi/epdf/10.1126/science.adf5041>

Huang et al. (2015) Change in terrestrial ecosystem water-use efficiency over the last three decades. Global Change Biology, <https://dx.doi.org/10.1111/gcb.12873>

Douville H. and K. Willett (2023) A drier than expected future, supported by near-surface relative humidity observations. Sc. Adv., <https://dx.doi.org/10.1126/sciadv.ade6253>

Ribes A. et al. (2021) Making climate projections conditional on historical observations. Sc. Adv., <https://dx.doi.org/10.1126/sciadv.eabc0671>

Joetzer J. et al. (2013) Present-day and future Amazonian precipitation in global climate models: CMIP5 versus CMIP3. <https://dx.doi.org/10.1007/s00382-012-1644-1>

Cook, B. I., et al. (2020) Twenty-first century drought projections in the CMIP6 forcing scenarios. Earth's Future. 8, e2019EF001461. <https://doi.org/10.1029/2019EF001461>

Zhu et al. (2023) Constrained tropical land temperature-precipitation sensitivity reveals decreasing evapotranspiration and faster vegetation greening in CMIP6 projections. NPJ Climate and Atmos. Science, <https://doi.org/10.1038/s41612-023-00419-x>

## GUIDE DU STAGE DE FIN D'ETUDE (2023-2024)

**Le stage de fin d'étude est une phase de formation de l'étudiant**, au cours de laquelle l'encadrant joue un rôle prépondérant et propose diverses activités répondant toutes à des objectifs particuliers :

1. *Travail bibliographique* : savoir resituer son sujet dans le contexte d'étude correspondant.
2. *Assimilation de méthodes, d'approches, de techniques* : savoir manipuler des données, utiliser et/ou développer un modèle, mener des expériences, mettre en place une approche ou une méthode afin d'obtenir des résultats nécessaires à l'analyse d'un problème, à la résolution d'une question scientifique ou industrielle.
3. *Support de communication (poster / rapport)*: savoir rédiger une synthèse de ses travaux dans un format imposé, en faisant preuve de clarté et d'esprit de synthèse, avec un choix judicieux d'illustrations (figures, tableaux...).
4. *Soutenance orale* : savoir présenter de façon synthétique ses travaux et défendre ses résultats devant une assistance au cours d'une série de questions/réponses.
5. *Effort de pédagogie* : savoir expliciter son propos devant une assistance dont tous les membres ne sont pas spécialistes du domaine présenté.

Le jury doit pouvoir **évaluer les compétences acquises** par l'étudiant dans ces diverses activités, afin de vérifier que tous les objectifs de la formation ont été atteints. **Pour les élèves/étudiants travaillant sur un sujet plutôt à connotation 'recherche'** évalué par le jury SOAC 'Recherche', une **évaluation, à mi parcours** du stage environ, est faite sous format poster et oral associé. A l'échéance de la durée complète du stage, **pour l'ensemble des étudiants/élèves**, l'**évaluation finale** est quant à elle basée sur le rapport de stage, la soutenance orale et l'appréciation de l'encadrant de stage.

**"Quelle réponse apporter à quelle problématique et avec quelle approche?"** Ce questionnement peut servir de fil rouge à l'étudiant qui devra démontrer son esprit critique vis-à-vis des résultats obtenus et de la méthode de travail choisie, et faire preuve de qualités pédagogiques pour bien faire comprendre ses travaux. Il pourra, si possible, montrer les apports des différents cours qu'il a suivis pendant toute la durée du master. Par ailleurs, le jury doit pouvoir bien cerner **le travail effectif et personnel de l'étudiant** que ce dernier devra mettre en évidence en particulier dans son rapport écrit.

Pour les évaluations à mi-parcours :

Présentation sous forme d'oral de 8 minutes d'un poster : du même type que ceux demandés en session poster d'un congrès scientifique, qui contiendra les éléments suivants : (i) état de l'art de la question scientifique abordée avec mise en avant du contexte scientifique ; (ii) état d'avancement des travaux ; et (iii) analyse des premiers résultats ; (iv) suite du travail et perspectives. 1 à 2 questions seront ensuite posées par le jury.

Le poster pourra être rédigé en anglais ou en français.

Pour les évaluations finales :

\* Rapport de stage :

- 25 à 30 pages maximum dont le contenu indicatif est le suivant : 1 résumé, 1 table des matières, 1 liste des acronymes si le texte en utilise, 1 introduction (posant la problématique, resituant les questions abordées dans leur contexte scientifique ou industriel, et présentant la démarche utilisée/suivie pour aborder cette thématique), 1 description de la méthodologie, 1

présentation des résultats ou des cas d'étude, 1 discussion, 1 conclusion avec des perspectives, 1 conclusion personnelle d'une demi-page (apport du stage), 1 bibliographie.

- Possibilité de mettre des annexes (utiles pour l'équipe d'accueil) qui ne seront pas évaluées et dont la lecture ne doit pas être indispensable à la compréhension du rapport.
- Format impératif des 25 à 30 pages : police de caractères de taille 12, marges de 2,5 cm.

\* Soutenance de stage :

- Présentation sous forme de diaporama (PowerPoint Windows XP ou Acrobat pdf) d'une durée de 15 minutes, suivie de 5 minutes de questions, en présence de l'encadrant, qui ne peut intervenir.
- Chaque soutenance est suivie de 5 minutes de délibération en présence du responsable de stage dans un premier temps, et en son absence dans un second temps.