

ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

D'ILE DE France N° 129

Proposition de sujet de thèse pour la rentrée 2020

Nom du Laboratoire d'accueil : LOCEAN

N° UMR : 7159

Nom du Directeur du laboratoire : Jean-Benoit Chassait

Adresse complète du laboratoire : **LOCEAN – Case 100 – Sorbonne Université 4, Place Jussieu – 75252 Paris Cedex 05**

Nom de l'Equipe d'accueil et adresse si différente de celle du laboratoire : VARCLIM/VALCO

Nom du Directeur de thèse **HDR** : Myriam Khodri; Nom du co-directeur de thèse **HDR** : Matthieu CARRE

Téléphone : 06 87 47 61 11

Téléphone :

Mail : myriam.khodri@locean-ipsl.upmc.fr

Mail : matthieu.carre@locean-ipsl.upmc.fr

OU

Nom du co-encadrant **non HDR** :

Téléphone :

Mail :

• **Titre de la thèse en Français** : Vers une meilleure compréhension des processus de la variabilité naturelle de la mousson Ouest-africaine au cours du dernier millénaire dans les modèles et les observations

• **Titre de la thèse en Anglais** : Last Millennium West African Monsoon Decadal Variability In Models And Observations

• **Résumé Sujet en Français (1 page maximum) :**

Les projections du changement climatique des prochaines décennies obtenues à l'aide de modèle de climat révèlent que la plus grande source d'incertitude se trouve dans les régions tropicales et en particulier en Afrique de l'Ouest (GIEC, 2017). La variabilité saisonnière des précipitations en Afrique de l'Ouest a une importance capitale pour les populations du Sahel. Cette région est pourtant d'une extrême vulnérabilité vis à vis du changement climatique, comme l'atteste la sécheresse intense qui a marqué les dernières décennies. Les variations lentes (basse fréquence) des pluies sont associées aux variations des températures de surface des océans aux échelles de temps inter annuelles à décennales. Les océans Atlantique et Pacifique semblent jouer un rôle important (par exemple, Camberlin et al 2001; Joly et al 2007; Mohino et al. et al., 2012) mais qui est encore mal compris. Des résultats récents montrent également que de telles modulations des précipitations au Sahel s'étendent dans le passé, en particulier à la fin du XIXe siècle (voir Figure).

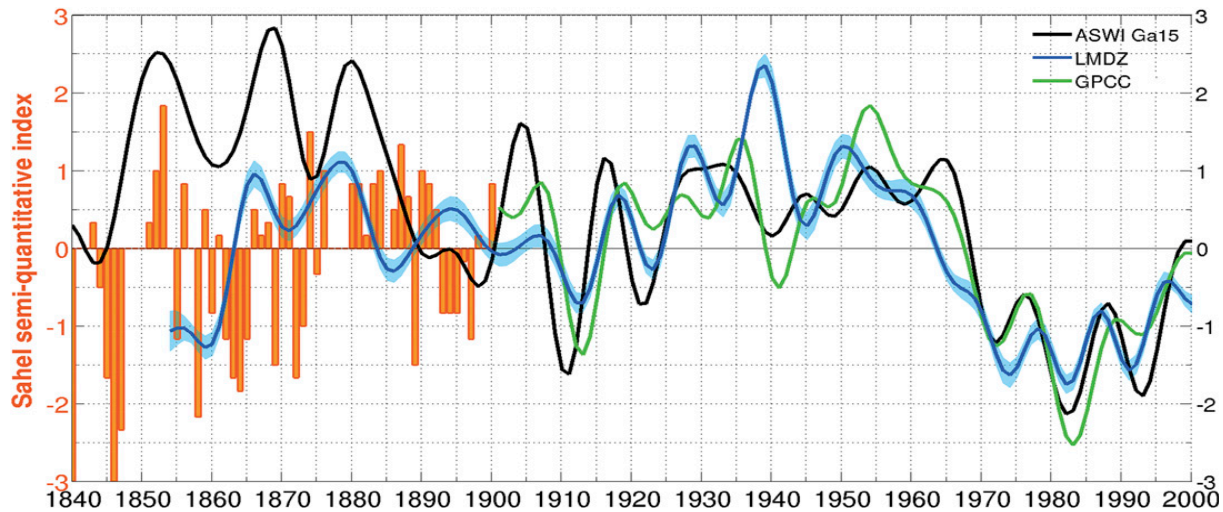


Figure. In bars, the semi-quantitative index of Sahel precipitation of the reconstruction of Nicholson 2012. The lines represent the seasonal index based on winds reconstructions of Gallego et al (black) and the observed index of the JAS seasonal precipitation in the Sahel (averaged in 17.5°W-10°E, 10°-17.5°N) in observations (green). The blue line shows the ensemble mean of atmosphere only simulations driven by observed and reconstructed SST variations. The last three indices have been low pass-filtered with an 8-years cut-off period and standardized with respect to the observed period (1901-2000). The blue shade is the standard deviation among the 19 members simulated. Villamayor et al., 2018.

Dans le contexte du réchauffement global, il est crucial de mieux comprendre l'origine des modulations d'intensité de la mousson ouest-africaine aux échelles décennales et leur mécanisme, ainsi que leur sensibilité à différents types de forçage externe : augmentation des gaz à effets de serre, des aérosols d'origine anthropique, variations naturelles de l'intensité solaire ou éruptions volcaniques. La période des mille dernières années constitue un cadre idéal pour de telles études. En effet, on commence à disposer de reconstructions terrestres et marines issues d'archives naturelles de plus en plus fiables sur cette période tandis que les super-calculateurs permettent des simulations longues soumises à une reconstruction réaliste des forçages naturels et anthropiques. Les observations directes et les reconstructions pour les 1600 dernières années (Carre et al, 2018) documentent des modulations décennales à multi-décennales, avec notamment des méga-sécheresses persistantes et des conditions plus humides (selon la région considérée) pendant le Petit Âge de Glace (1450 à 1850) ou l'Anomalie Climatique Médiévale (950 à 1250). Ces reconstructions révèlent aussi que la baisse des précipitations au Sahel a commencé il y a 200 ans et est sans précédent dans le contexte des 1600 dernières années. Ces variations décennales et les tendances sont en général interprétées comme la signature de l'impact des variations de l'irradiation solaire totale sur les mouvements saisonniers de la Zone de Convergence Inter Tropicale (ZCIT), renforçant ou affaiblissant le système de mousson ouest-africain (Haug et al, 2001). Des travaux plus récents suggèrent toutefois que le forçage volcanique a un impact plus important à l'échelle hémisphérique et globale, et explique l'essentiel des modulations de la mousson au cours du millénaire (Illes et al, 2015) via son impact sur les températures de surface océaniques (Mignot et al., 2011), l'oscillation Atlantique multi-décennale (Zanchettin et al., 2012), l'ENSO (El Niño-Southern Oscillation) et les processus de convection profonde en Afrique de l'Ouest (par exemple Khodri et al, 2017).

Les objectifs de la thèse:

Le candidat retenu étudiera les régimes des précipitations passées et leur modulation décennale en Afrique de l'Ouest dans un jeu de simulations couplées océan-atmosphère couvrant le dernier millénaire (500AD à aujourd'hui) réalisé avec les modèles IPSL en comparaison aux observations et reconstructions paléo-climatiques sur la période. Le candidat pourra également développer des expériences de sensibilité dédiées avec la composante atmosphérique (LMDz) du modèle couplé de l'IPSL afin d'identifier les processus physiques associés. Nous chercherons en particulier à évaluer la sensibilité des modèles aux principaux forçages externes ayant variés au cours de cette période, telle que l'intensité du rayonnement solaire et les éruptions volcaniques, leur impact direct et indirect sur la variabilité de la ZCIT, les processus de convection profonde en Afrique tropicale, les températures de surface océaniques et les téléconnexions avec la Variabilité Multidécennale Atlantique (AMV) et Pacifique (IPV).

Il s'agira en particulier (1) de construire un index des variations de la Mousson Ouest Africaine pour les 1600 dernières années à partir de simulations, d'observations instrumentales et de reconstructions paléoclimatiques, (2) de développer et appliquer des méthodes d'analyses statistiques innovantes pour caractériser cet index, en particulier la persistance et les temps de retour des phases extrêmes aux échelles de temps interannuelles, décennales à séculaires (3) identifier les téléconnexions avec les principaux de variabilité globaux et (4) développer des expériences de sensibilité pour mieux comprendre les processus physiques et en déterminer les causes (variabilité interne associée aux changements océaniques lents, forçages naturels ou anthropiques). Les résultats permettront de mettre en perspective

dans un contexte à plus long terme les tendances, variabilité basses fréquences et amplitudes des phases extrêmes des précipitations observées au 20^{ème} siècle en Afrique de l'Ouest, d'évaluer la réponse aux forçages radiatifs et la stationnarité des téléconnexions.

Ce projet permettra au candidat retenu de développer une expertise sur la dynamique océanique, atmosphérique et climatique globale et sa sensibilité au forçage externe, d'utiliser les derniers outils de modélisation et de développer des diagnostics statistiques pour mettre en évidence les mécanismes physiques pertinents. Le candidat aura également l'opportunité d'interagir avec d'autres scientifiques du laboratoire LOCEAN et plus généralement les chercheurs IPSL.

• **Résumé Sujet en Anglais (1 page maximum) :**

Model projections of rainfall changes for the next decades show that greatest uncertainties lie within the tropics and especially in Western Africa (IPCC, 2017). The hydroclimate of this region shows extreme vulnerability to climate change, mainly through impacts on natural resources (fresh water resources, dependence on rain-fed agriculture, tropical diseases, fires, etc.). Research of the last 30 years has established that the interannual to decadal variability of West African Monsoon (WAM) is modulated by large-scale anomalous oceanic patterns (e.g. Camberlin et al. 2001, Joly et al 2007, Mohino et al. 2011, Li et al. 2012), in particular sea surface temperature anomalies (SSTA). Recent results also show that such modulations extend in the past, in particular to the late 19th century (see Figure).

In order to anticipate consequences of the future climate change, it is of prime importance to better document the modulations of the West African Monsoon at decadal timescales beyond the instrumental period and to understand processes of the natural ranges of variability. Because of increasing computing resources, improvement of climate models and the physical processes they are able to represent, as well as a the continuously extending data base of climate reconstructions of relatively high quality and resolution, the last millennium offers a unique window of opportunity to progress on this question. All available direct observations and reconstructions document strong decadal to multi-decadal climate modulations including persistent mega-droughts or wetter conditions either during the Little Ice Age (1450 to 1850) or the Medieval Climate Anomaly (950 to 1250) depending on the region considered (Carre et al, 2018). These reconstructions also reveal that the decrease in rainfall in the Sahel began 200 years ago and is unprecedented in the context of the past 1600 years. But to interpret the long-term trends, previous studies have also invoked the modern day seasonal impacts of the ITCZ movements as a response to total solar irradiance variations, either strengthening or weakening the West African Monsoon system (Haug et al, 2001). More recent studies based on observations, palaeoclimate data and model studies show however that volcanic forcing is probably more important than solar forcing on a hemispheric-to-global scale, and drove a large portion of the interannual-to-multidecadal monsoon variability during the last century to millennia (Illes et al; 2015) by affecting directly global Sea Surface Temperature (e.g Mignot et al. 2011), the Atlantic Multidecadal Oscillation (e.g. Zanchettin et al. 2012), the El Niño Southern Oscillation (ENSO) and deep convection processes (e.g. Khodri et al, 2017) .

The objectives of PhD:

The successful candidate will explore the ranges and rates of decadal hydroclimate modulation over Western Africa in a large set coupled ocean-atmosphere simulations run with the IPSL models covering the last millennium (850AD to Present Day) in comparison to observations and proxy based reconstructions. The PhD candidate will also develop targeted sensitivity experiments with the atmospheric (LMDz) component of the IPSL coupled model to investigate the detailed physical links between the observed and simulated variability in tropical Africa rainfall over the last centuries. The relative role of the direct radiative forcing on ITCZ variability, deep convection processes over tropical Africa and teleconnections with the Atlantic Multidecadal Variability (AMV) and Pacific Ocean Interdecadal Variability (IPV) will be assessed and disentangled.

The aims of this work would be to (1) build an index for WAM variations for the last 1000 years from model simulations and proxy reconstructions, (2) develop an objective identification and characterization of drought events at decadal scale (persistence of extreme phases, return periods of drought/wet events severity), (3) identify teleconnections pattern with reconstructed and simulated ocean and atmosphere main mode of variability and (4) develop targeted sensitivity modeling experiments to better understand the evolution of the WAM over this time period and analyse separately the effect of various external forcings (such as the solar irradiance, volcanic and tropospheric aerosols and/or the greenhouse gases) as well as internal variability associated with slow oceanic changes.

The results will allow putting in a longer-term context the observed 20th century trends, decadal frequency and magnitude of West Africa rainfall extremes (drought and floods persistence and intensity) and evaluate the response to applied radiative forcing and the stationarity of global teleconnections throughout the millennium.

This project will allow the successful candidate to learn about ocean, atmosphere and climate dynamics and its sensitivity to external forcing, use the latest modeling tools on a challenging topic and develop sets of high level statistical analysis to highlight relevant physical mechanisms. The candidate will also have the opportunity to interact

with other scientific teams of the LOCEAN laboratory and more generally IPSL researchers and exchange expertise.

References

- Carré, M., Azzoug, M., Zaharias, P. et al. *Clim Dyn* (2018). <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4311-3>.
- Haug, G.H., Hughen, K.A., Sigman, D.M., Peterson, L.C. & Röhl, U., Southward migration of the intertropical convergence zone through the Holocene. *Science* 293, 1304-1308 (2001).
- Iles, C. E. & Hegerl, G. C. Systematic change in global patterns of streamflow following volcanic eruptions. *Nat. Geosci.* **8**, 838–842 (2015).
- IPCC: Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, 1009 pp., 2007.
- Joly, M., Voldoire A., Douville H., Terray P. and Royer J.F. : African monsoon teleconnections with tropical SSTs: validation and evolution in a set of IPCC4 simulations. *Climate Dynamics* 29, 1-20, DOI - 10.1007/s00382-006-0215-8, 2007.
- Gallego, D., Ordóñez, P., Ribera, P., Peña-Ortiz, C. & García-Herrera, R. An instrumental index of the West African Monsoon back to the nineteenth century. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* **141**, 3166-3176 (2015).
- Khodri, M., Izumo, T., Vialard, J., Cassou, C., Lengaigne, M., Mignot, J., Guilyardi, E., Lebas, N., Ruprich-Robert, Y., Robock, A., McPhaden, M. J. M. 2017. Tropical explosive volcanic eruptions can trigger El Niño by cooling tropical Africa. *Nature Communications*. 10.1038/s41467-017-00755-6
- Li H., Wang H. and Yin Y.: Interdecadal variation of the the West African summer monsoon during 1979–2010 and associated variability, *Climate Dynamics* (2012) 39:2883–2894 DOI 10.1007/s00382-012-1426-9
- Mignot, J., M. Khodri, C. Frankignoul, J. Servonnat Volcanic impact on the Atlantic ocean over the last millennium. 2011. *Climate of the Past* 2011 7(4). pp1439-1455
- Mohino, Elsa, Janicot, Serge Bader, Juergen (2010). Sahel rainfall and decadal to multi-decadal sea surface temperature variability. *Climate Dynamics* URL DOI 10.1007/s00382-010-0867-2
- Nicholson, S. E., Klotter, D. & Dezfuli, A. K. Spatial reconstruction of semi-quantitative precipitation fields over Africa during the nineteenth century from documentary evidence and gauge data. *Quat. Res.* **78**, 13-23 (2012).
- Haug, G.H., Hughen, K.A., Sigman, D.M., Peterson, L.C. & Röhl, U., Southward migration of the intertropical convergence zone through the Holocene. *Science* 293, 1304-1308 (2001).
- Villamayor J., E. Mohino, M. Khodri, J. Mignot, and S. Janicot, (2018). Atlantic control of the late-19th century Sahel humid period. *Journal of Climate*. doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0148.1.

• **Type de financement autre que ED 129, précisez si envisageable ou acquis (CNES, CEA, ADEME etc...) :**

• **Encadrement :**

• **Liste des autres doctorants que vous encadrez ou co-encadrez au 1^{er} janvier 2020**

(Nom, Université d’inscription, type de financement, date de soutenance envisagée)

Myriam Khodri: co encadrement de Jebri Beyrem (Sorbonne U., ED129, soutenance Avril 2020)