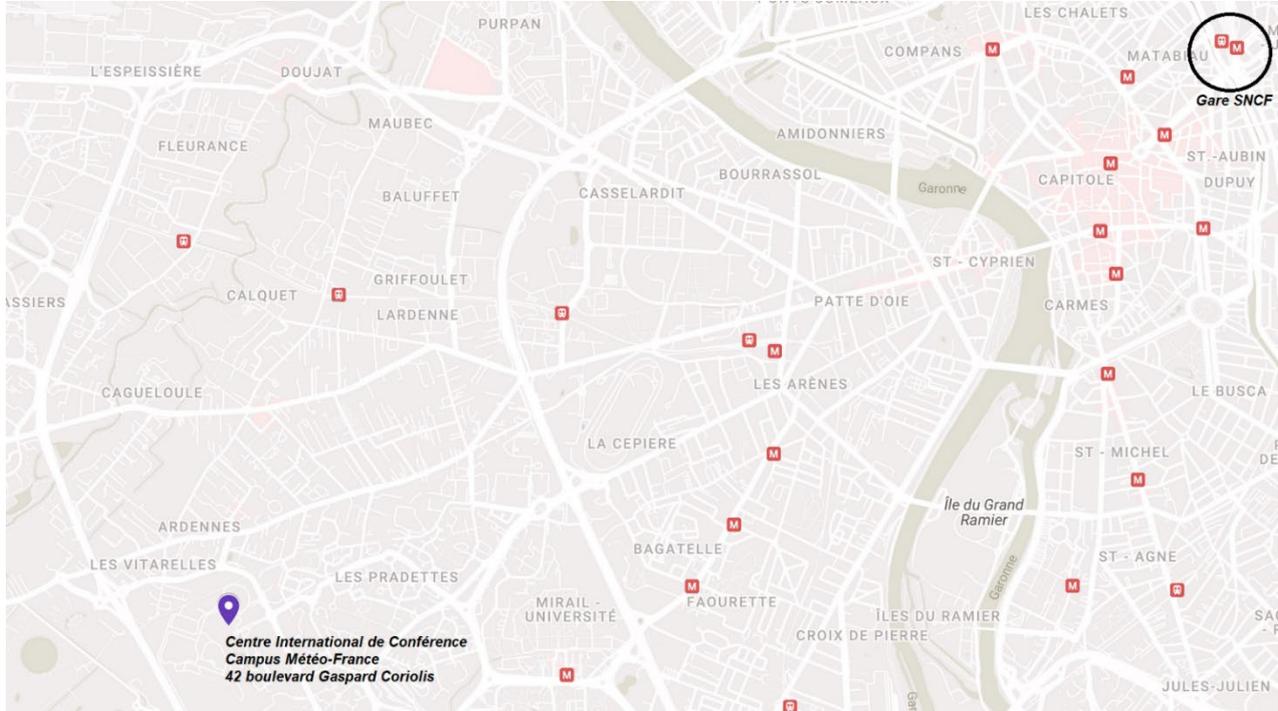


# Programme des Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère 2024

## 15-17 janvier 2024 - TOULOUSE

### Centre International de Conférences – Météo-France



Informations d'accès : <http://www.meteo.fr/cic/plan.html>

L'édition 2024 des AMA est co-organisée par le CNRM (Météo-France - CNRS), le programme de recherche TRACCS (Transformer la modélisation du climat pour les services climatiques) et l'IPSL.

- Sessions "DEPHY" du lundi 15/1 après-midi au mardi 16/1 après-midi
- Sessions "Modéliser les systèmes anthropisés - Comprendre et anticiper les impacts et risques météo et climatiques" du mardi 16/1 après-midi au mercredi 17/1 après-midi
- Matinée d'échanges autour de la modélisation du climat global et régional, à destination des non-spécialistes, le mardi 16/1 matin
- Remise du Prix Prud'Homme 2024 le mercredi 17/1 à 12h, par Serge Planton, représentant Jean Jouzel, président de Météo & Climat, à Albane Barbero, actuellement postdoctorante à l'Université Grenoble Alpes, Institut des Géosciences de l'Environnement, pour sa thèse intitulée "Chimie des espèces réactives et leur rôle sur la capacité oxydante en régions polaires", soutenue le 11 juin 2021 à l'Institut des Géosciences de l'Environnement (Grenoble) - [informations complémentaires](#)
- Remise du Prix AAM Patrick Brochet 2024 par l'Association des Anciens de la Météorologie (AAM) à Léa Corneille, le mercredi 17/1 à 11h20. Les informations ci-après correspondent au programme provisoire des AMA, susceptible d'évolutions à la marge dans les prochaines semaines. Merci de votre compréhension.

sessions DEPHY

sessions AMA

Amphithéâtre

Salle Prud'homme

Lundi 15 janvier 2024

<p>14h – 14h15 <b>Introduction session DEPHY</b></p> <p>14h15 – 15h35 <b>Microphysique</b></p> <p>15h35 – 16h05 <i>Pause-café</i></p> <p>16h05 – 18h15 <b>Interactions nuages-rayonnement et tuning</b></p>	
---	--

Mardi 16 janvier 2024

<p>9h – 10h40 <b>Transport dans la couche limite</b></p> <p>10h40 – 11h10 <i>Pause-café</i></p> <p>11h10 – 12h50 <b>Convection</b></p>	<p>9h30 – 12h30 <b>Échanges autour de la modélisation ...</b></p> <p>10h40 – 11h10 <i>Pause-café</i></p> <p><b>... du climat global et régional, à destination des non-spécialistes</b></p>
13h – 14h <i>Pause déjeuner</i>	
<p>14h – 14h30 <b>Ouverture AMA + introduction du programme TRACCS</b></p> <p>14h30 – 16h10 <b>Énergie</b></p> <p>16h10 – 16h40 <i>Pause-café</i></p> <p>16h40 – 17h40 <b>Agriculture</b></p> <p>17h40 – 18h20 <b>Montagne et tourisme</b></p>	<p>14h30 – 15h10 <b>Discussion Turbulence / Convection</b></p> <p>15h10 – 16h10 <b>Flux turbulents à l'interface air/mer</b></p> <p>16h10 – 16h40 <i>Pause-café</i></p> <p>16h40 – 17h50 <b>Flux turbulents à la surface continentale</b></p>

Mercredi 17 janvier 2024

<p>9h – 10h20 <b>Hydrologie</b></p> <p>10h20 – 10h40 <i>Pause-café</i></p> <p>10h40 – 11h20 <b>Villes et milieux urbains</b></p> <p>11h20 – 11h50 <b>Villes et milieux urbains :</b> <b>Remise du prix AAM Patrick Brochet</b></p> <p>12h – 13h <b>Remise du prix Prud'homme</b></p>	
13h – 14h <i>Pause déjeuner</i>	
<p>14h – 15h30 <b>Modélisation climatique et indicateurs climatiques</b></p>	

## Lundi 15 janvier 2024 – Sessions DEPHY

- 13:30 – 14:00**    **Accueil café**
- 14:00 – 14:15**    **Introduction à la session DEPHY – amphithéâtre du CIC**
- 14:15 – 15:35**    **Session Microphysique – amphithéâtre du CIC**
- 14:15 – 14:35    Étude des processus thermodynamiques et turbulents impliqués dans le cycle de vie du brouillard durant SOFOG3D    *Cheikh DIONE (LMD) et al.*
- 14:35 – 14:55    Évaluation de la représentation des processus de collection et de breakup des gouttes de pluie dans les modèles de prévision à l'aide d'observations radars multifréquences    *Laurence NIQUET (LaMP) et al.*
- 14:55 – 15:15    Représentation des processus de glace secondaire dans un modèle microphysique bin tridimensionnel : impacts sur un nuage de convection profonde    *Pierre GRZEGORCZYK (LaMP) et al.*
- 15:15 – 15:35    Vers une nouvelle paramétrisation des nuages hauts et des régions de sursaturation en glace dans LMDZ    *Audran BORELLA (IPSL) et al.*
- 15:35 – 16:05**    **Pause-café**
- 16:05 – 18:15**    **Session Interactions nuages/rayonnement et tuning – amphithéâtre du CIC**
- 16:05 – 16:25    Vers des paramétrisations des propriétés optiques des nuages de glace cohérentes avec la microphysique    *Marie TAUFOR (CNRM) et al.*
- 16:25 – 16:45    3D radiative effects of contrails and cirrus clouds    *Julie CARL (LMD) et al.*
- 16:45 – 17:05    Les nuages bas sont-ils réellement "too few too bright" dans les modèles ?    *Najda VILLEFRANQUE (CNRM) et al.*
- 17:05 – 17:25    Compensations d'erreurs nuages de cumulus - rayonnement dans LMDZ 1D    *Maëlle COULON-DECORZENS (LMD) et al.*
- 17:25 – 17:45    Can metrics of upper atmosphere temperature be used in quantifying parametric uncertainty of sea ice extent?    *Brady FERSTER (LOCEAN) et al.*
- 17:45 – 18:15    Discussion microphysique/nuages/rayonnement/tuning

14:15 – 14:35

Session Microphysique – amphithéâtre du CIC

Dr Cheikh DIONE - Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD), Ecole Polytechnique

## **Étude des processus thermodynamiques et turbulents impliqués dans le cycle de vie du brouillard durant SOFOG3D**

Cheikh DIONE, Marie TAUFOR, Martial HAEFFELIN, Christine LAC, Frédéric BURNET, Jean-Charles DUPONT, Jean-François RIBAUD, Felipe TOLEDO, Guylaine CANUT, et Pauline MARTINET

En automne et hiver, on observe une large occurrence de brouillards sur le sud-ouest de la France. Le brouillard est un phénomène météorologique impactant divers secteurs d'activités socio-économiques et sa compréhension est essentielle pour mieux prévoir sa formation et dissipation. Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet ANR SOFOG3D (SOuth westFOGs 3D experiment for processes study) dont l'objectif est de mieux comprendre les processus de fine échelle impliqués dans le cycle de vie du brouillard. Elle a comme objectif de caractériser les processus thermodynamiques et turbulents impliqués dans les différentes phases de la vie du brouillard. Ainsi, à partir des données d'observations au sol (station météo, visibilimètre) et de télédétection radar, télémètre et Lidar vent collectées pendant la campagne SOFOG3D (Burnet et al., 2020), nous avons analysé à l'aide d'un modèle conceptuel de brouillard adiabatique développé au SIRTA (Toledo et al., 2021) quatre épisodes échantillonnés lors de l'hiver 2019/2020 : deux de type radiatif et deux de type advectif-radiatif (Dione et al. 2023). Cette étude est complétée par l'analyse d'un des cas d'étude de brouillard radiatif long simulé à résolution de 100 m avec le modèle Meso-NH (Lac et al., 2018).

Cette présentation s'articulera autour de deux grands axes : la première concernera une analyse exhaustive des processus pilotant la formation, évolution et dissipation du brouillard à l'aide d'une synergie instrumentale et la seconde présentera la capacité du modèle Meso-NH à reproduire le cycle de vie du brouillard et les différents processus identifiés.

14:35 – 14:55

Session Microphysique – amphithéâtre du CIC

Mme Laurence Niquet - Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP), Université Clermont Auvergne (UCA)

## **Évaluation de la représentation des processus de collection et de breakup des gouttes de pluie dans les modèles de prévision à l'aide d'observations radars multifréquences**

Laurence Niquet(1), Frédéric Tridon(2,1), Antoine Causse(1), Baptiste Bordet(3), Pierre Grzegorzczuk(1), Wolfram Wobrock(1), Céline Planche(1,4)

(1) Université Clermont Auvergne, Laboratoire de Météorologie Physique, INSU-CNRS UMR 6016, Clermont-Ferrand, France

(2) DIATI, Politecnico di Torino, Turin, Italy

(3) Université Grenoble Alpes, Grenoble, France

(4) Institut Universitaire de France (IUF)

Comprendre les processus à l'origine des pluies est indispensable non seulement pour mieux anticiper les événements météorologiques extrêmes mais aussi pour comprendre l'évolution des pluies dans le climat changeant actuel. Or, l'un des processus microphysiques le moins bien connu est le processus de fragmentation (breakup) des gouttes de pluie et sa représentation (bulk) dans les modèles de prévision reste très incertaine. Il est généralement représenté à l'aide d'une paramétrisation unique le combinant avec le processus de collection. Il existe de multiples versions de cette paramétrisation puisqu'elles sont basées sur de rares observations en laboratoire ou sur des approches purement empiriques.

A l'aide d'observations radars multifréquences fournissant l'évolution de la distribution en taille des gouttes (DSD) avec une haute résolution spatiale et temporelle, cette étude a pour objectifs (i) d'évaluer la capacité des différentes paramétrisations à reproduire les observations et (ii) de développer une nouvelle paramétrisation des processus de collection et de fragmentation (breakup). Pour cela, cette étude se concentre sur deux types de systèmes précipitants, une situation de front qui s'est produite en Finlande en juin 2014 et une ligne de grains observée en Oklahoma en juin 2011.

14:55 – 15:15

Session Microphysique – amphithéâtre du CIC

M. Pierre Grzegorzcyk - Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP), Université Clermont Auvergne (UCA)

## **Représentation des processus de glace secondaire dans un modèle microphysique bin tridimensionnel : impacts sur un nuage de convection profonde**

Pierre Grzegorzcyk, Wolfram Wobrock, Laurence Niquet, Frédéric Tridon, Céline Planche

Des comparaisons entre les observations in situ aéroportées effectuées lors de la campagne HAIC (Guyane française, 2015) et les résultats de simulations réalisées avec le modèle 3D à microphysique bin DESCAM ont révélé d'importantes disparités dans les concentrations en cristaux de glace. En effet, pour les systèmes nuageux de convection profonde échantillonnés lors de cette campagne, les concentrations simulées pour les plus petites particules de glace ( $D < 700 \mu\text{m}$ ) étaient sous-estimées de 2 à 3 ordres de grandeur par rapport aux observations. Cette discordance pouvait être attribuée aux processus de multiplication de la glace (ou glace secondaire), efficaces dans la production de petits cristaux de glace, qui n'étaient pas pris en compte dans le modèle.

Dans ce sens, les processus de Hallet-Mossop, de fragmentation des gouttes gelées ainsi que de la fragmentation des cristaux par collision ont été implémentés dans le modèle DESCAM. Des études passées effectuées en laboratoire ont permis d'établir diverses paramétrisations pour chacun de ces processus. Récemment, une nouvelle étude en laboratoire (Grzegorzcyk et al., 2023) a permis de préciser la représentation du processus de fragmentation des cristaux par collisions en fournissant non seulement une nouvelle représentation du nombre de fragments de glace mais aussi de leur distribution en taille.

Différentes représentations de chacun de ces processus de multiplication de la glace ont été implémentées dans DESCAM et ont été évaluées en comparant les résultats d'une simulation d'un cas de nuage de convection profonde aux observations de la campagne HAIC. Les résultats mettent en évidence (i) un impact significatif du processus de Hallet-Mossop et du processus de fragmentation des cristaux par collision sur les concentrations en cristaux de glace, (ii) une meilleure adéquation entre les concentrations en cristaux simulées et observées lors de la campagne HAIC, (iii) mais aussi les impacts de ces processus sur le développement et les propriétés thermodynamiques du système nuageux.

15:15 – 15:35

Session Microphysique – amphithéâtre du CIC

M. Audran Borella – Climaviation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)

## **Vers une nouvelle paramétrisation des nuages hauts et des régions de sursaturation en glace dans LMDZ**

Audran Borella, Étienne Vignon, Olivier Boucher

Les régions sursaturées en glace (ISSRs) sont des régions où l'air est saturé en glace, mais où la vapeur d'eau n'est pas condensée. Ces régions jouent un rôle majeur dans la formation des cirrus in situ, c'est-à-dire des nuages qui ne proviennent pas de la congélation homogène de gouttelettes liquides surfondues. La représentation correcte de ces régions dans les modèles atmosphériques est une condition préalable à l'amélioration de la représentation des nuages élevés et à la simulation correcte de leur effet radiatif.

LMDZ est la composante atmosphérique globale du modèle climatique IPSL-CM, activement et historiquement impliqué dans les exercices CMIP. Le schéma nuageux actuel de LMDZ utilise une approche statistique et suppose que toute l'eau sursaturée est instantanément condensée. Il n'est donc pas en mesure de représenter la sursaturation en glace. Une paramétrisation de celle-ci dans LMDZ nécessite de revoir certains des processus clés impliqués dans la formation et l'évolution des nuages de glace dans le modèle, tels que les processus de condensation et de sublimation, l'impact des précipitations de glace sur les zones sursaturées, la croissance ou la sublimation des nuages de glace par turbulence locale.

Dans cette étude, nous présentons notre approche pour développer une nouvelle paramétrisation de la sursaturation en glace et des nuages à haute teneur en glace dans LMDZ et montrons son impact sur la simulation des zones sursaturées et des cirrus. Nous nous concentrerons en particulier sur la dérivation d'une nouvelle fonction pour caractériser la variabilité sous-maille de l'humidité en utilisant le produit d'observation IAGOS (In-service Aircraft for a Global Observing System).

16:05 – 16:25

Session Interactions nuages/rayonnement et tuning – amphithéâtre du CIC

Dr Quentin Libois - Météo-France, CNRM

## **Vers des paramétrisations des propriétés optiques des nuages de glace cohérentes avec la microphysique**

Marie Taufour, Alexis Tahay, Quentin Libois

Les nuages de glace constituent une composante essentielle et pourtant insuffisamment connue du bilan radiatif de la Terre. Dans les modèles atmosphériques les propriétés de diffusion simple des nuages de glace sont généralement paramétrisées en fonction du rayon effectif des particules de glace, quantité qui est elle-même estimée de manière empirique à partir du contenu en glace et de la température des nuages, sur la base d'observations in situ. Ces paramétrisations sont souvent indépendantes des hypothèses faites dans le schéma microphysique, qui traite pourtant des mêmes objets. En particulier, la forme supposée des particules de glace n'apparaît pas toujours explicitement, alors que les propriétés optiques en dépendent fortement. Dans cette étude nous développons des paramétrisations des propriétés optiques des nuages de glace qui sont cohérentes avec les hypothèses du schéma microphysique. Nous présentons plus spécifiquement un jeu de paramétrisations adapté au code radiatif ecRad, construit à partir d'une base de données de référence de propriétés de diffusion simple de cristaux de glace de tailles et de formes variées. Nous nous appuyons sur ces paramétrisations pour quantifier la sensibilité de l'impact radiatif des nuages de glace à la forme des cristaux et à la forme de la distribution dimensionnelle de ces cristaux. Nous réalisons pour cela des simulations ecRad des flux radiatifs à la surface et au sommet de l'atmosphère. Cette étude met en évidence les incertitudes sur l'impact radiatif des nuages de glace liées à la méconnaissance du détail microphysique de ces nuages, et met en avant l'importance de raffiner la manière dont ils sont modélisés.

16:25 – 16:45

Session Interactions nuages/rayonnement et tuning – amphithéâtre du CIC

Mme Julie CARL - Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD)

### 3D radiative effects of contrails and cirrus clouds

16:45 – 17:05

Session Interactions nuages/rayonnement et tuning – amphithéâtre du CIC

Dr Najda Villefranque - CNRM

## **Les nuages bas sont-ils réellement "too few too bright" dans les modèles ?**

N. Villefranque, M. Coulon Decorzens, F. Hourdin, A. Idelkadi

Nous revisitons les conclusions d'une série d'articles portant sur l'évaluation des nuages bas des modèles de climat. Dans ces articles, les couvertures nuageuses observées sont comparées avec les maxima sur la verticale des fractions nuageuses simulées. Les auteures déduisent de la différence entre ces deux quantités que les nuages simulés sont "too few" dans les GCMs. Nous montrons ici que cet écart provient en réalité principalement de la différence de nature entre les deux quantités comparées. En effet la couverture nuageuse intégrée verticalement, pour des cumulus, est toujours supérieure à la fraction nuageuse maximale sur la verticale car ces nuages ne sont jamais parfaitement empilés sur la verticale. Le diagnostic réalisé dans ces études ne permet donc pas de conclure que les fractions nuageuses des nuages bas sont sous-estimées dans les GCMs. Partant de ce constat, nous discuterons du lien étroit et trop souvent négligé entre évaluation des modèles de climat et modélisation du transfert radiatif.

17:05 – 17:25

Session Interactions nuages/rayonnement et tuning – amphithéâtre du CIC

Mme Maëlle Coulon--Decorzens - LMD

## **Compensations d'erreurs nuages de cumulus - rayonnement dans LMDZ 1D**

Maëlle Coulon--Decorzens, Najda Villefranque, Frédéric Hourdin

Global climate model tuning often targets in priority top-of-atmosphere radiative fluxes, which control the global mean temperature and drive global atmospheric circulations. However, climate models still suffer from significant structural errors in the representation of cloud-radiation interactions. In most radiative transfer parameterizations, the effects of subgrid clouds on radiation are quite simply represented, for instance assuming maximum vertical overlap of adjacent cloudy layers and neglecting 3D radiative effects associated with the horizontal transport of photons. These approximations lead to systematic biases that have been estimated both offline and in interactive atmospheric simulations. However, the link between these parameterization structural errors and global model tuning has not been investigated yet. Do these errors induce systematic biases in the metrics used for tuning? Are they partially compensated by the cloud parameterizations or other components of the system to eventually provide the right fluxes?

Significant advances in the last decade have led to more sophisticated radiative transfers models, such as the SPARTACUS solver which for the first time parameterizes the subgrid 3D effects of clouds (Hogan et al., Shafer et al., 2016; embedded in the ecRad package of Hogan and Bozzo, 2018). By complexifying the description of subgrid clouds and modelling new radiative processes, SPARTACUS introduces new degrees of freedom in the treatment of cloud-radiation interactions and is also more expensive. Should this more accurate solver be used in future climate simulations? If so, how can we constrain its free parameters?

We address these questions by applying a history matching approach to tune the atmospheric global model LMDZ, in which the ecRad radiative transfer model has recently been implemented. A brute-force strategy would be to tune several versions of LMDZ using the various solvers embedded in ecRad, e.g. with and without 3D effects. However tuning a 3D GCM is expensive, therefore in this work we start by comparing the behavior of the different ecRad solvers at the scale of a cloud field, by running it offline on cloudy profiles computed by LMDZ in its Single Column Model version. This is done using a series of cumulus cases for which we have both Large-Eddy Simulations and 3D Monte Carlo radiative references. Using the “htexplo” tool (Couvreur et al., Hourdin et al. 2021) and ecRad solvers of various complexities, parameters of shallow convection and cloud parameterizations are tuned against reference radiative metrics which, for the first time, allows us to address the question of error compensation between clouds and radiation properly.

17:25 – 17:45

Session Interactions nuages/rayonnement et tuning – amphithéâtre du CIC

Dr Brady Ferster - LOCEAN, Sorbonne Université, CNRS

## **Can metrics of upper atmosphere temperature be used in quantifying parametric uncertainty of sea ice extent?**

Brady Ferster, Juliette Mignot, Julie Deshayes

The release of robust and acceptable versions of the IPSL climate models have required intensive efforts through rounds of hand tuning parameters. The last round proved tedious in particular in achieving a desirable Arctic sea ice extent in the model. However, a novel machine-assisted tuning method that significantly reduces the uncertainty in parameter selection and accelerates the tuning process has been demonstrated using the IPSL model. This approach employs repeated rounds of history matching and targets observable atmospheric metrics, gradually refining the choice of parametric values. While this method has been successfully applied in atmospheric mode using AMIP simulations, its effectiveness in improving the coupled model's calibrations, and more specifically the representation of strongly coupled features such as the latitudinal position of mid-latitude jets, atmospheric temperature profiles, and Arctic sea ice extent remains to be explored. This study explores the possibility to expand the set of targeted atmospheric metrics to include based on the importance to the North Atlantic and Arctic climates. The expanded metric selection identifies specific atmospheric biases, such as a warm stratospheric temperature and a cold upper tropopause temperature bias, which contribute to the coupled model's overestimated Arctic sea ice extent compared with observations. Our main result demonstrates that by including metrics targeting observed upper atmosphere temperature, we may be able to reduce the parametric uncertainty related to achieving a desirable Arctic sea ice state. Not only do these results demonstrate the rapid development in model tuning and our understanding of the coupled climate system, but directly relate to the achievable objectives outline in ANR-TRACCS-PC6-QUINTET.

## Mardi 16 janvier 2024 – Suite sessions DEPHY

<b>09:00 – 10:40</b>	<b>Session Transport dans la couche limite – amphithéâtre du CIC</b>	
09:00 – 09:20	Thermodynamic invariance of (un)averaged models of geophysical motion	<i>Thomas DUBOS (LMD/IPSL)</i>
09:20 – 09:40	Designing a TKE-I turbulent mixing parameterization for versatility and thorough tuning	<i>Etienne VIGNON (LMD) et al.</i>
09:40 – 10:00	Energetically consistent coupling of Eddy-Diffusivity Mass-Flux and TKE schemes for atmospheric and oceanic convection	<i>Manolis PERROT (Laboratoire Jean Kuntzmann) et al.</i>
10:00 – 10:20	Insensibilité de la couche limite convective au pas de temps	<i>Frédéric HOURDIN (LMD) et al.</i>
10:20 – 10:40	Amélioration de la représentation des stratocumulus et cumulus, ainsi que des précipitations associées, dans le modèle AROME	<i>Adrien MARCEL (CNRM) et al.</i>
<b>10:40 – 11:10</b>	<b>Pause-café</b>	
<b>11:10 – 12:50</b>	<b>Session Convection – amphithéâtre du CIC</b>	
11:10 – 11:30	Evaluation des poches froides dans le modèle AROME pendant la campagne EUREC4A	<i>Florent BEUCHER (CNRM) et al.</i>
11:30 – 11:50	Simulation de la transition de la convection peu profonde à la convection profonde à travers les échelles : Le rôle des paramétrisations physiques	<i>Catherine RIO (CNRM) et al.</i>
11:50 – 12:10	Vers des paramétrisations de la convection atmosphérique incluant une dépendance au relief sous-maille	<i>Nathan PHILIPPOT (CNRM / IGE) et al.</i>
12:10 – 12:30	Évaluation et amélioration de la paramétrisation des poches froides dans LMDZ	<i>Mamadou Lamine THIAM (LMD) et al.</i>
12:30 – 12:50	Les systèmes convectifs dans les modèles globaux à échelle kilométrique	<i>Emma CHAUVIN (CNRM) et al.</i>
<b>13:00 – 14:00</b>	<b>Buffet</b>	
<b>14:00 – 14:30</b>	<b>Ouverture des Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère &amp; Introduction au programme TRACCS - amphithéâtre du CIC</b>	
<b>14:30 – 15:10</b>	<b>Discussion turbulence / convection – Salle CIC 1<sup>er</sup> étage</b>	
<b>15:10 – 16:10</b>	<b>Session Flux turbulents à l'interface air/mer – Salle CIC 1<sup>er</sup> étage</b>	
15:10 – 15:30	Formation des vents de surface dans une tempête et sensibilité aux paramétrisations physiques	<i>Florian PANTILLON (LAERO) et al.</i>
15:30 – 15:50	Implémentation et évaluation de nouvelles paramétrisations de flux de chaleur et de quantité de mouvement dans SURFEX incluant l'impact des embruns	<i>Sophia BRUMER (LAERO) et al.</i>

15:50 – 16:10 Identification des effets croisés des flux turbulents air-mer dans un modèle couplé (GCM) *Clément DEHONDT (LSCE) et al.*

**16:10 – 16:40** **Pause-café**

**16:40 – 17:50** **Session Flux turbulents à la surface continentale – Salle CIC 1<sup>er</sup> étage**

16:40 – 17:00 Measured and simulated turbulent flux over heterogeneous surface: MOSAI project (Model and Observation for Surface Atmosphere Interactions) *Fabienne LOHOU (LAERO) et al.*

17:00 – 17:20 Évaluation du couplage surface-atmosphère en modélisation unicolonne *Émilie BERNARD (CNRM) et al.*

17:20 – 17:50 Discussion couplages atmosphère/surface

Fin des sessions DEPHY

09:00 – 09:20

Session Transport dans la couche limite – amphithéâtre du CIC

M. Thomas Dubos - Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD), Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)

## **Thermodynamic invariance of (un)averaged models of geophysical motion**

Thomas Dubos

Weather and climate modelling systems result, at least conceptually, from a sequence of approximations and coarse-graining operations, applied to a "master" model such as the compressible Navier-Stokes equations. The resulting models consist of a reversible set of fluid equations complemented by semi-empirical closure relationships. This system should possess invariance properties inherited from its "perfect" ancestor. Regarding thermodynamics, invariance is the very practical property that a given model, starting from an initial condition characterized by observable variables such as temperature and pressure, leads to the same prediction independently from the value given to those model constants that are arbitrary. Such arbitrary constants include the reference pressure used to define potential temperature and the reference enthalpies and entropies appearing in thermodynamic potentials. Upon examination, potential temperature and variants thereof are found not to be invariant. As a result, down-gradient closures generally violate thermodynamic invariance. However, as I will show, it is possible to systematically construct invariant flux-gradient relationships.

Beyond down-gradient closures, these results have wider implications in terms of model design, especially at the age of machine learning.

09:20 – 09:40

Session Transport dans la couche limite – amphithéâtre du CIC

M. Etienne VIGNON - Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD)

### **Designing a TKE-I turbulent mixing parameterization for versatility and thorough tuning**

É. Vignon, K. Arjdal, F. Cheruy, M. Coulon-Decorzans, C. Dehondt, T. Dubos, F. Hourdin, S. Fromang, L. Lange, L. Raillard, G. Rivière, R. Roehrig, A. Sima, A. Spiga, P. Tiengou

This study presents the development of a new TKE-I parameterization of the turbulent eddy coefficients in large-scale atmospheric models. While the framework remains relatively simple - with the resolution of a single prognostic equation for the turbulent kinetic energy - the parameterization has been carefully designed to be completely tunable in the sense that all adjustable parameters have been clearly identified and their number minimized to help assess its parametric sensitivity and calibration. Instead of using semi-empirical formulations, we have adopted a heuristics approach for expressing the mixing length, stability functions and turbulent Prandtl number in order to guarantee the versatility of the scheme and its applicability for virtually any planetary atmospheres composed of an ideal and perfect gas. Particular attention has also been paid to the consistency of the parameterization with the second law of thermodynamics and to its numerical convergence at typical time steps used in climate models. Test and tuning on weakly stable and very stable boundary layers are performed using the single-column version of the LMDZ model. The robustness and versatility of the scheme are also assessed by challenging 3D simulations of the extreme Antarctic and Martian boundary layers.

09:40 – 10:00

Session Transport dans la couche limite – amphithéâtre du CIC

M. Manolis Perrot - Laboratoire Jean Kuntzmann

## **Energetically consistent coupling of Eddy-Diffusivity Mass-Flux and TKE schemes for atmospheric and oceanic convection**

Manolis Perrot, Florian Lemarié

The integration of the mass-flux (MF) concept with the Eddy-Diffusivity (ED) approach has long been studied and applied for parameterizing convection in atmospheric models, and very recently in ocean models. The EDMF closure relies on breaking down vertical turbulent fluxes into two components:

- a diffusion term, addressing local small-scale mixing in a near isotropic environment, which intensity usually scales with TKE ;
- a mass-flux transport term, accounting for the non-local effects of vertically coherent structures, (called "plumes") within the environment.

We expose an energetically consistent coupling of Eddy-Diffusivity Mass-Flux (EDMF) schemes with Turbulent Kinetic Energy (TKE) schemes, for dry atmospheres and oceans.

To achieve such a goal, we rederive the scheme from first principles using a formal multifluid decomposition. This approach offers several key advantages. Firstly, it enables us to establish a fully consistent energy budget between resolved and subgrid scales, effectively rectifying energy biases present in some prior EDMF schemes. Notably, this approach facilitates a clear separation of convective and turbulent small-scale energy reservoirs.

Secondly, when compared to existing oceanic schemes, our model demonstrates performance in reproducing TKE, vertical buoyancy fluxes (second-order moments), and vertical fluxes of TKE (third-order moments). It is validated against Large Eddy Simulation (LES) and observational data of oceanic convection.

Thirdly, during the theoretical development of the scheme, we maintain transparency regarding underlying assumptions. Thus our framework exhibits the flexibility to formally relax scale assumptions, potentially leading to further scale-aware versions of the scheme.

10:00 – 10:20

Session Transport dans la couche limite – amphithéâtre du CIC

M. Frédéric HOURDIN - Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD)

## **Insensibilité de la couche limite convective au pas de temps**

10:20 – 10:40

Session Transport dans la couche limite – amphithéâtre du CIC

M. Adrien Marcel - Météo-France, CNRM

### **Amélioration de la représentation des stratocumulus et cumulus, ainsi que des précipitations associées, dans le modèle AROME.**

Adrien Marcel (CNRM/GMME), Sébastien Riette(CNRM/GMME), Didier Ricard(CNRM/GMME)

La convection peu profonde est un processus important pour la représentation de la couche limite et des nuages bas. Récemment, des biais de rayonnement solaire incident à la surface ont été attribués à une mauvaise représentation de la couverture nuageuse dans le modèle de prévision numérique du temps (PNT) AROME, en particulier des nuages d'origine convective de type cumulus (Cu) et plus stratiformes tels que les stratocumulus (Sc). Ce travail vise à améliorer la paramétrisation de la convection peu profonde dans AROME et son couplage avec les schémas de turbulence et de nuages sous maille. Plusieurs modifications simples proposées dans la littérature, ont été testées dans une configuration 1D du modèle AROME (MUSC). Cette configuration permet d'utiliser et d'évaluer les paramétrisations du modèle dans un cadre idéalisé. Ainsi, plusieurs cas académiques de développement de couche limite tels que des cumulus (ARMcu,RICO), des stratocumulus (FIRE), des cas transitions Sc -> Cu (SANDU) et de convection sèche (AYOTTE,IHOP) sont examinés et comparés à des simulations LES afin de mesurer les apports de ces modifications.

Dans un travail futur, les modifications les plus pertinentes seront ensuite implémentées dans une version 3D d'AROME pour les évaluer dans un cadre réel, avec une comparaison simulations/observations de campagnes de mesures (SIRTA, MAGIC, METEOPOLE-FLUX).

11:10 – 11:30

Session Convection – amphithéâtre du CIC

M. Florent Beucher - Météo-France

## **Evaluation des poches froides dans le modèle AROME pendant la campagne EUREC4A**

F. Beucher, F. Couvreur, D. Bouniol, F. Favot, N. Rochetin, T. Dauhut

Des simulations “libres” AROME à une résolution de 2.5 km ont été réalisées sur un grand domaine allant du Cap Vert aux Antilles pendant la campagne Eurec4a (jan/fev 2020). Ces simulations ont permis de montrer la bonne capacité d’un modèle à échelle kilométrique à représenter les différentes organisations de la convection peu profonde (Beucher et al., 2022). Dans cet exposé, on s’intéresse plus particulièrement aux poches froides associées aux systèmes les plus organisés comme les “Fleurs”. Un suivi lagrangien de ces poches via un outil de tracking permet de montrer les bonnes performances d’AROME même si à cette échelle nombre de processus restent paramétrés. Notre évaluation repose sur des observations au site de la Barbade ainsi que de récentes études numériques menées à échelle hectométrique sur un cas de Fleur (Dauhut et al., 2020).

11:30 – 11:50

Session Convection – amphithéâtre du CIC

Dr Catherine Rio - CNRS, CNRM

### **Simulation de la transition de la convection peu profonde à la convection profonde à travers les échelles : Le rôle des paramétrisations physiques**

Catherine Rio (1), Fleur Couvreur (1), Frédéric Hourdin (2), Aude Champouillon (1), Nicolas Rochetin (2), Jean-Pierre Chaboureau (3), Jean-Yves Grandpeix (2)

(1) Centre National de Recherches Météorologiques, CNRM, Toulouse

(2) Laboratoire de Météorologie Dynamique, LMD, Paris

(3) Laboratoire d'Aérodynamique, LAERO, Toulouse

La représentation de la transition de la convection peu profonde à la convection profonde reste un défi pour les modèles de prévision et de climat, puisqu'elle implique de simuler de façon réaliste la succession de trois régimes nuageux : les nuages bas de type cumulus, les nuages moyens de type congestus et les cumulonimbus. Si les processus associés à la convection profonde sont résolus dans les modèles de prévision à résolution kilométrique, ceux associés à la convection peu profonde doivent être paramétrisés. Dans les modèles de climat avec une maille de l'ordre de 100km, une paramétrisation de la convection profonde doit être activée en plus de celle de la convection peu profonde.

Dans cette étude, le rôle des paramétrisations physiques dans la simulation de la transition entre convection peu profonde et convection profonde est analysé d'une part dans le modèle MESO-NH à échelle kilométrique et dans le modèle grande-échelle LMDZ. Pour cela, on se base sur un cas d'étude continental et un cas d'étude océanique pour lesquels une simulation de référence d'une résolution de l'ordre de 100m, dans laquelle les structures convectives sont explicitement résolues, a été réalisée avec le modèle MESO-NH. Les résultats pointent le rôle essentiel de la paramétrisation du transport convectif peu profond dans la simulation de la transition, ainsi que le rôle de la représentation des précipitations dans les cumulus et les congestus, en lien avec la formation de poches froides sous les nuages qui organisent la convection. En particulier la façon de paramétriser les congestus doit être améliorée, dans le modèle à échelle kilométrique comme dans le modèle grande-échelle.

11:50 – 12:10

Session Convection – amphithéâtre du CIC

M. Nathan Philippot - Université Paul Sabatier, CNRM, IGE

## **Vers des paramétrisations de la convection atmosphérique incluant une dépendance au relief sous-maille.**

Nathan Philippot

La convection atmosphérique est une composante essentielle du cycle de l'eau et du bilan d'énergie sur Terre et doit être bien représentée dans les modèles de climat. Or la résolution horizontale de ces modèles (~100 km) ne permet pas de résoudre la convection explicitement. Celle-ci doit être paramétrisée afin de rendre compte de ses effets sur les champs résolus par le modèle.

Les paramétrisations actuelles considèrent une surface plane à l'échelle de la maille. En réalité, 30% de la surface des continents possède une topographie complexe qui influence la convection atmosphérique par l'action de brises thermiques ou de soulèvement dynamique. L'absence de représentation de ces processus limite les performances des modèles de climat en région de montagne.

Dans ce travail, nous étudions les processus de brise thermique orographique en cherchant à les représenter à l'échelle sous-maille dans les paramétrisations de la convection.

Pour cela des simulations LES idéalisées ont été réalisées avec Méso-NH pour différentes topographies, et pour différentes conditions atmosphériques. Afin d'isoler spécifiquement l'effet des brises de pente, ces simulations sont initialisées sans vent, et sont forcées avec des flux de surface prescrits et homogènes.

Nous avons adopté une analyse orientée objets pour décrire les thermiques, les brises et les nuages.

Différents cas de développement de couche limite montagnaise ont été obtenus, avec parfois une transition vers la convection profonde. L'analyse détaillée des processus nous a permis de proposer un schéma conceptuel des mécanismes clés. Et les premières comparaisons de ces LES avec le résultat des paramétrisations actuelles suggèrent que ces dernières sont inadaptées à reproduire les transports verticaux en montagne dès la phase peu profonde.

C'est pourquoi nous nous sommes fixé comme prochain objectif de créer une paramétrisation de la convection peu profonde avec relief sous-maille du type EDMF (Eddy Diffusivity Mass Flux), qui reproduirait au mieux les profils moyens de nos différentes LES.

En améliorant la représentation de la convection peu profonde nous espérons aussi améliorer le déclenchement de la convection profonde en montagne, étant donné que dans certains modèles de climat le déclenchement de la convection profonde dépend de la paramétrisation des thermiques. Il faudra peut-être aussi agir directement sur les paramétrisations de la convection profonde car d'autres processus convectifs sont modifiés par le relief, comme par exemple l'étalement des poches froides.

12:10 – 12:30

Session Convection – amphithéâtre du CIC

M. Mamadou Lamine THIAM - Laboratoire de Météorologie Dynamique

## **Évaluation et amélioration de la paramétrisation des poches froides dans LMDZ**

Mamadou Lamine THIAM, Frédéric HOURDIN, Jean-Yves GRANDPEIX, Catherine RIO et  
Amadou Thierno GAYE

Les poches froides, créées sous les nuages par évaporation des précipitations, jouent un rôle essentiel sur le maintien et la propagation des systèmes convectifs. La non-représentation de leurs effets dans les modèles de climat conduit à des erreurs dans la représentation du cycle de vie de la convection. LMDZ est le premier modèle de climat à avoir introduit une paramétrisation des poches froides (Grandpeix et Lafore, 2010). Bien que cette paramétrisation ait permis d'améliorer la représentation de la convection et en particulier du cycle diurne des précipitations continentales (Rio et al., 2009), les variables internes du modèle de poches, comme leurs propriétés géométriques et thermodynamiques, n'ont encore jamais été évaluées finement. L'objectif de ce travail est d'évaluer et d'améliorer la paramétrisation des poches froides dans LMDZ en se basant sur des simulations de grand tourbillons (LES) en mode équilibre radiatif-convectif, en conditions océaniques ou continentales. Pour cela, des critères sont appliqués dans les simulations LES afin d'identifier les poches froides et calculer leurs propriétés et ainsi les comparer à celles simulées par la paramétrisation. Nous présenterons les améliorations et les ajustements substantiels du schéma des poches dans LMDZ résultant de cette analyse. Des tests de sensibilité montrent également l'importance de bien représenter la densité de poches froides par mètre carré.

Dans la suite, nous affinerons un modèle de dynamique de population des poches afin de remplacer sa valeur imposée par un calcul pronostique de son évolution dans LMDZ.

12:30 – 12:50

Session Convection – amphithéâtre du CIC

Mme Emma Chauvin - CNRM

## **Les systèmes convectifs dans les modèles globaux à échelle kilométrique**

Emma Chauvin

Cette étude examine les populations de systèmes convectifs à méso-échelle (MCS) simulés par le modèle atmosphérique global à résolution kilométrique (2.5 km) AROME-Global, développé au CNRM. La simulation analysée couvre 120 jours et a été réalisée dans le cadre de la phase hivernale du projet DYAMOND (DYnamics of the Atmospheric general circulation Modeled On Non-hydrostatic Domains). Afin d'évaluer la représentation des MCS dans le modèle, l'algorithme de suivi et de détection des MCSs TOOCAN (Folleau and Roca 2013a), déjà appliquée aux températures de brillance infrarouge observées par les satellites géostationnaires, est appliqué aux champs issus de la simulation.

La répartition spatiale des systèmes simulés est cohérente avec celle observée malgré une surestimation de leur occurrence. Le modèle simule des systèmes avec des caractéristiques morphologiques proches de celles observées, mais avec des systèmes légèrement plus petits, moins rapides et parcourant donc de plus petites distances.

Une approche composite est mise en œuvre pour documenter l'évolution des propriétés microphysiques, radiatives et dynamiques au cours du cycle de vie de ces MCSs tropicaux. La répartition des précipitations au cours du cycle de vie est bien représentée, tout comme le cycle diurne de la convection. Les systèmes simulés sont cependant associés à des albédos plus faibles et des OLR plus forts que dans les observations, vraisemblablement en conséquence de la non prise en compte de l'effet radiatif des hydrométéores précipitants dans le schéma radiatif du modèle. Ces simulations donnent accès à des champs difficilement mesurables, comme la vitesse verticale au sein des MCS et les flux de masse associés permettant de documenter leur évolution au cours du cycle de vie.

15:10 – 15:30

Session Flux turbulents à l'interface air/mer – Salle CIC 1er étage

M. Florian Pantillon - Laboratoire d'Aérodologie (LAREO)

## **Formation des vents de surface dans une tempête et sensibilité aux paramétrisations physiques**

Wahiba Lfarh, Florian Pantillon, Jean-Pierre Chaboureau

Les dégâts importants causés par les tempêtes des moyennes latitudes sont en grande partie dus aux rafales de vents qui les accompagnent. Ces rafales résultent du transport de vents forts issus de circulations de méso-échelle vers la surface par des processus de fine échelle. Une simulation à résolution hectométrique (LES pour large-eddy simulation) est réalisée sur un grand domaine avec le modèle Méso-NH pendant le passage de la tempête méditerranéenne Adrian le 29 octobre 2018. Elle montre que la couche limite est organisée en rouleaux convectifs approximativement orientés dans la direction du vent. Ces rouleaux convectifs d'une taille de 2 km environ sont responsables du transport des vents forts vers la surface. Par rapport à la LES, une simulation à résolution kilométrique surestime le transport vertical de quantité de mouvement et le vent de surface au cœur de la tempête. Des tests de sensibilité LES sont ensuite réalisés à la représentation des échanges à l'interface air-mer, qui est mal contrainte en conditions de tempête. La prise en compte de l'effet des embruns marins augmente les flux turbulents de chaleur sensible, ce qui renforce le transport vertical et l'intensité des vents de surface. Cela réduit également la taille des rouleaux convectifs et offre ainsi une contrainte sur la représentation des flux turbulents de surface. Ces résultats montrent l'importance des paramétrisations de couche limite et à l'interface air-mer pour la formation des vents de surface dans les tempêtes.

15:30 – 15:50

Session Flux turbulents à l'interface air/mer – Salle CIC 1er étage

Dr Sophia Brumer - Laboratoire d'Aérodologie (LAREO)

### **Implémentation et évaluation de nouvelles paramétrisations de flux de chaleur et de quantité de mouvement dans SURFEX incluant l'impact des embruns**

Sophia Brumer, Marie-Noëlle Bouin, Jean-Luc Redelsperger

Les flux air-mer d'enthalpie et de quantité de mouvement influencent considérablement la dynamique de la couche limite atmosphérique marine (MABL). Déjà par vents modérés, mais certainement par vents forts, le déferlement des vagues est un moteur important des flux air-mer et les embruns générés par le moutonnement doivent être pris en compte dans la modélisation de l'atmosphère.

Nous présenterons ici les derniers efforts réalisés pour incorporer les flux de quantité de mouvement et de chaleur induits par les embruns dans SURFEX. Deux algorithmes de flux ont été développés, basés sur COARE et WASP. Ils peuvent être mis en œuvre dans des simulations avec différents degrés de couplage/forçage entre l'atmosphère et les vagues, ainsi que dans des simulations atmosphériques autonomes. Plusieurs fonctions de génération d'embruns (SSGF) peuvent être activées sur la base de paramétrisations dérivées de mesures publiées.

Les impacts des embruns seront illustrés par une série de simulations couplées vagues-atmosphère d'un cyclone idéalisé utilisant Meso-NH et le modèle de vagues de troisième génération WAVEWATCH III®. La production d'embruns reste très incertaine. En effet, les fonctions de génération d'embruns existantes s'étendent sur plusieurs ordres de grandeur, ce qui entraîne des incertitudes dans les champs simulés, qui seront discutées.

15:50 – 16:10

Session Flux turbulents à l'interface air/mer – Salle CIC 1er étage

M. Clément Dehondt - Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE)

### **Identification des effets croisés des flux turbulents air-mer dans un modèle couplé (GCM)**

C. Dehondt, P. Braconnot, S. Fromang, O. Marti

Les variables à l'interface océan-atmosphère (vent, température de l'air, humidité, courant de surface et SST) sont liées aux flux turbulents de surface de manière complexe via des fermetures "bulk". L'analyse de la dynamique de cet ensemble est un enjeu scientifique majeur car il impacte les cycles de l'énergie et de l'eau.

Cette étude tente d'isoler les rétroactions à l'œuvre en analysant des simulations forcées et couplées afin d'expliquer la dynamique du système, notamment les rétroactions locales et les téléconnexions. Plusieurs formulations bulk sont étudiées (NCAR, COARE3.6, ECMWF et LMDZg) sur différents modèles (LMDZ-DYNAMICO et NEMO). Une estimation du terme de rétroaction en SST est donnée par un calcul « offline ».

16:40 – 17:00

Session Flux turbulents à la surface continentale – Salle CIC 1er étage

Mme Fabienne LOHOU - Laboratoire d'Aérodologie (LAREO)

### **Measured and simulated turbulent flux over heterogeneous surface: MOSAI project (Model and Observation for Surface Atmosphere Interactions)**

LOHOU, Fabienne, LOTHON, Marie, BASTIN Sophie, BERNARD Emilie, BRUT Aurore, CANUT Guylaine, CHERUY Frederique, COHARD Jean-Martial, COUVREUX Fleur, DARROZES José, DUPONT Jean-Charles, FERNANDEZ Royston, JOME Mathilde, LAFONT Sébastien, ROEHRIG Romain, ZOOUZA Maurin

The land surface, through its topography, soil moisture, temperature or vegetation activity, impacts the atmosphere from daily to seasonal time scale. An accurate assessment of the Land-Atmosphere (L-A) exchanges, and their correct representation, are therefore essential for weather and climate forecasts. However, Earth System Models (ESM) and Numerical Weather Prediction (NWP) often have large biases in their representation of surface-atmosphere flux when compared to observations. The detailed quantification and reduction of these biases are still on-going efforts in many modelling centres. The Models and Observations for Surface-Atmosphere Interactions (MOSAI) project aims at contributing to this effort, with a focus on the impact of surface heterogeneity.

The first step to achieve this objective is to conduct a fair and correct evaluation of the L-A interactions simulated by ESM and NWP. This is based on (i) reliable references against which the simulated L-A exchanges can be evaluated, and, (ii) relevant comparison methods able to point out the ESM and NWP weaknesses. These points define the two first scientific objectives of MOSAI project: (1) to investigate and determine the uncertainty and representativeness of L-A exchanges measured over heterogeneous landscapes. The second scientific objective (2) is to propose and test new methods to evaluate the L-A exchanges in ESM using long-term measurements.

The second step of the project concerns the improvement of the L-A exchanges simulated by the ESM and NWP. The coupling between land surface models (LSM) and atmospheric models is based on several simplifications which are different when considering Large Eddy Simulation (LES), weather or climate models. The third scientific objective (3) addresses some of these underlying simplifications in the coupling between LSM and atmospheric models, and their impacts on the simulated L-A exchanges.

From an observational prospective, MOSAI is based on long-term reference surface observations of research infrastructures (ACTRIS and ICOS) and on Enhanced Observing Periods (2021-2023) on three different ACTRIS-Fr sites. From the modelling perspectives, several ESM, NWP and LES models are involved.

In this presentation, we will state the objectives and strategy of MOSAI, and illustrate them with ongoing fields, works and results. The latter will notably address (1) the representativity of reference long-term measurements in a heterogeneous landscape, (2) the use of Neural Networks for the evaluation of models, (3) the impact of the heterogeneity on the boundary layer structure.

17:00 – 17:20

Session Flux turbulents à la surface continentale – Salle CIC 1er étage

Mme Émilie BERNARD - CNRM

### **Évaluation du couplage surface-atmosphère en modélisation unicolonne**

Émilie Bernard, Romain Roehrig, Bertrand Decharme, Fleur Couvreur, Marie Lothon, Fabienne Lohou

La couche limite atmosphérique est fortement influencée par son couplage avec les surfaces continentales. Ce couplage joue ainsi un rôle essentiel pour la prévision des phénomènes météorologiques et l'évolution des climats régionaux.

Si les paramétrisations des processus atmosphériques et des surfaces continentales sont généralement développées de manière indépendante dans des configurations unicolonne qui facilitent l'analyse des processus et la comparaison aux observations ou à des simulations de référence à fine résolution (e.g., Large-Eddy Simulations – LES), il existe peu de cadres unicolonne permettant l'analyse et l'évaluation de leur couplage. C'est l'objectif des présents travaux que de pallier ce manque.

Partant de la campagne BLLAST de juin 2011, des travaux de modélisation réalisés à la suite de la campagne (e.g., Darbieu et al. 2015) et des observations collectées sur plusieurs sites dans la région de Lannemezan, nous développons quatre configurations de modèle unicolonne couplant surface et atmosphère pour la journée de ciel clair du 20 juin 2011. Chaque configuration diffère des autres par le type de couvert, supposé à ce stade homogène spatialement : une prairie, un champ de blé, un champ de maïs et une forêt de pins. Le cadre de modélisation (conditions physiographiques, initialisation, forçage) sera donc décrit et appliqué à la version unicolonne du modèle CNRM-CM6-1 couplant la composante atmosphérique ARPEGE-Climat au module de surface SURFEX. Les résultats des simulations seront comparés aux observations BLLAST, notamment en termes de représentation des flux turbulents à la surface. Du fait de la non-fermeture du bilan de surface dans les observations, cette comparaison exige l'utilisation d'une correction. Le choix s'est porté sur une méthode préservant le rapport de Bowen mesuré.

Ce cadre de modélisation est aussi appliqué au modèle Méso-NH en configuration LES, couplé à SURFEX. Ces simulations fournissent une référence cohérente pour l'évaluation de la couche limite dans CNRM-CM6-1, en particulier de sa sensibilité aux propriétés de surface.

Dans la réalité, la surface est généralement très hétérogène à l'échelle d'une maille de modèle de prévision du temps ou de climat. Bien que ce travail se focalise sur des surfaces homogènes, il s'agit en fait d'une étape vers l'étude du couplage surface-atmosphère en conditions hétérogènes. Le cadre 1D/LES sera en effet prochainement étendu à des surfaces hétérogènes en termes de propriétés physiographiques, afin de revisiter la représentation de ces couplages.

**Mardi 16 janvier 2024**

**Sessions 'Modéliser les systèmes anthropisés – comprendre et anticiper les impacts et risques météo et climatiques'**

<b>09:30 – 12:30</b>	<b>Matinée d'échanges autour de la modélisation du climat global et régional, à destination des non-spécialistes – Salle CIC 1<sup>er</sup> étage</b> <b>Pause-café de 10h40 à 11h10</b>	
<b>13:00 – 14:00</b>	<b>Buffet</b>	
<b>14:00 – 14:30</b>	<b>Ouverture des Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère &amp; Introduction au programme TRACCS - amphithéâtre du CIC</b>	
<b>14:30 – 16:10</b>	<b>Session Energie - amphithéâtre du CIC – Animation tbc</b>	
14:30 – 14:50	Vers le développement de services climatiques pour l'énergie en Afrique de l'Ouest. Enjeux sur la modélisation météorologique et climatique	<i>Sandrine ANQUETIN (IGE) et al.</i>
14:50 – 15:00	Prévision de la demande en énergie électrique gouvernée par les conditions météorologiques en Côte d'Ivoire (Démonstrateur TRACCS PC DEMOCLIMA)	<i>Benoît HINGRAY (IGE) et al.</i>
15:00 -15:20	Characterization of compound wind drought and cold events leading to stress conditions for the electric network in France	<i>François COLLET (CECI) et al.</i>
15:20 – 15:40	Amélioration de la prévision du givrage pour le secteur de l'énergie	<i>Rémi DUPONT (CNRM &amp; VALEMO) et al.</i>
15:40 – 15:50	Evolution du risque de rafales et des risques liés à la neige et au givre dans les secteurs des transports et de l'énergie en France (Démonstrateur TRACCS PC DEMOCLIMA)	<i>Yann MICHEL (Météo-France) et al.</i>
15:50 – 16:10	Simulating hydropower operations in a land surface model: a demand-based approach	<i>Laure BARATGIN (LMD) et al.</i>
<b>16:10 – 16:40</b>	<b>Pause-café</b>	
<b>16:40 – 17:40</b>	<b>Session Agriculture - amphithéâtre du CIC – Animation Simon Munier (CNRM)</b>	
16:40 – 17:00	Une démarche inter- et transdisciplinaire pour l'élaboration d'un outil de suivi des conditions agroclimatiques en alpage au sein du programme Alpes Sentinelles	<i>Claire DELEGLISE (INRAE LESSEM) et al.</i>
17:00 – 17:20	Risques de dommages dus à l'évolution du climat pour les productions de maïs et de blé d'hiver en France (Démonstrateur TRACCS PC DEMOCLIMA)	<i>Nathalie DE NOBLET-DUCOUDRE (LSCE) et al.</i>
17:20 – 17:40	Prévisions des récoltes à l'échelle décennale au Sénégal (Démonstrateur TRACCS PC DEMOCLIMA)	<i>Juliette MIGNOT (LOCEAN) et al.</i>
<b>17:40 – 18:20</b>	<b>Session Montagne et tourisme - amphithéâtre du CIC – Animation Samuel Morin (CNRM)</b>	
17:40 – 18:00	Entre physique de la neige et compréhension de ses pratiques de production : l'interdisciplinarité au service d'une recherche articulée avec la demande sociale	<i>Carlo Carmagnola (CNRM et Dianeige) et al.</i>
18:00 – 18:20	La modélisation en appui du développement de services climatiques appliqués au secteur du tourisme de montagne : de l'évolution de l'enneigement aux liens avec le cycle de l'eau	<i>Samuel Morin (CNRM) et al.</i>

14:30 – 14:50

Session Energie - amphithéâtre du CIC - Animation tbc

Mme Sandrine Anquetin - CNRS, IGE

## **Vers le développement de services climatiques pour l'énergie en Afrique de l'Ouest.**

### **Enjeux sur la modélisation météorologique et climatique**

S. Anquetin(1,3), L. Clauzel(1,3), L. Crochemore(1,3), D. Danso(1,2,3), A. Diedhiou(1,3), B. Hingray(1,3), A. Kobéa(2,3), K. Kouadio(2,3), B. Kouassi(2,3), C. Lavaysse(1,3), B. Marticorena(4), D. Raynaud(5), G. Tremoy(5)

(1) IGE (Grenoble, France)

(2) LASMES (Abidjan, Côte d'Ivoire)

(3) LMI NEXUS (IRD, France <-> UFHB – CEA-CCBAD, Côte d'Ivoire)

(4) LISA (Créteil, France)

(5) Steadysun (Chambéry, France)

Les États d'Afrique de l'Ouest ont fait de la transition énergétique l'une des trois principales priorités pour remplir leurs engagements dans leurs contributions déterminées au niveau national (CDN). Pour relever ce défi, il faut accélérer l'accès à l'électricité pour des centaines de millions d'Africains, tout en réduisant l'utilisation des combustibles fossiles et en abordant des questions clés telles que l'évaluation des ressources renouvelables et des conflits liés aux usages multiples des ressources en eau dans une région en pleine croissance démographique.

Dans ce contexte, les énergies renouvelables jouent un rôle important. Néanmoins, un déploiement massif d'énergies renouvelables variables (solaire, éolien) augmente la complexité de la conception, de la gestion et de la maintenance des systèmes électriques en raison de la nature intermittente et des dépendances à la météo, au climat et à l'environnement de la ressource.

À l'échelle régionale, le développement de ces énergies intermittentes va augmenter la sensibilité des systèmes électriques aux conditions météorologiques. Cette sensibilité s'accroît aussi du fait d'une sensibilité croissante de la demande en électricité à ces mêmes conditions météorologiques, sensibilité résultant de l'effet combiné du réchauffement climatique dans la région et de l'intensification des usages électriques (Kondi Akara et al., 2023) liés notamment aux besoins domestiques (ventilation, climatisation et réfrigération) et pour soutenir le développement industriel et économique.

Pour des questions de planification, la trajectoire énergétique actuelle en Afrique de l'Ouest nécessite donc d'évaluer les ressources renouvelables et leur variabilité spatio-temporelle, d'estimer les météo-sensibilités de la demande et d'estimer leurs évolutions possibles au cours des décennies futures. Pour des questions de gestion opérationnelle et d'optimisation des équilibres offres/demande, elle nécessite aussi la mise en place de systèmes de prévision pour prévoir de manière fiable et robuste la demande électrique et la production issue des énergies renouvelables sur des horizons allant de quelques minutes à plusieurs jours à l'avance.

Cette présentation partagera les résultats des recherches partenariales menées au sein du Laboratoire Mixte International NEXUS (France - Côte d'Ivoire) qui vise à développer des services climatiques en s'attachant à comprendre l'état du nexus eau – énergie – agriculture en Afrique de l'Ouest et ses interactions avec le changement climatique. Ces travaux ont été initiés dans une démarche de co-construction avec les acteurs de l'énergie en Côte d'Ivoire.

Les nuages et la poussière sont des facteurs influençant fortement la production photovoltaïque (effets direct/indirect ; dépôt sur les panneaux). Lors de cette présentation, seront présentés i) la caractérisation de la structure verticale et la persistance des nuages en Afrique de l'Ouest (Danso et al., 2019, 2020, 2021), ii) les tendances futures de l'évolution du GHI et de la température et de leurs signatures sur la production PV future sur le siècle à venir (Danso et al., 2022) et iii) l'enjeu de la prévision météorologique en Afrique de l'Ouest pour la gestion opérationnelle des centrales (Clauzel et al., soumis), leur maintenance (Aidara et al., 2023) notamment sur l'empreinte en eau liée au nettoyage des panneaux (projet NETWAT, [netwat.osug.fr](http://netwat.osug.fr)) et la planification de futurs projets de centrales solaires.

Il s'agira plus spécifiquement de discuter des enjeux de modélisation météorologique et climatique pour répondre aux besoins des acteurs pour la planification, la gestion et la maintenance des réseaux et des centrales solaires en Afrique de l'Ouest.

14:50 – 15:00

Session Energie - amphithéâtre du CIC - Animation tbc

M. Benoît Hingray - IGE

## **Météo-sensibilité présente et future de la demande électrique en Afrique de l'Ouest**

(Démonstrateur TRACCS PC DEMOCLIMA)

Benoît Hingray et al. (IGE, LMI NEXUS, CI-Energie, CIE, SODEXAM)

En Afrique de l'Ouest, la demande électrique s'accroît de 5 à 10% par an. Du fait d'une demande croissante pour les systèmes de refroidissement (réfrigération, climatisation), la demande électrique devient aussi de plus en plus sensible aux conditions météorologiques du moment et les périodes chaudes et humides conduisent à des pics de consommation très importants. Cette sensibilité pourrait devenir rapidement critique, d'autant plus que ces conditions météorologiques sont amenées à devenir plus fréquentes et plus intenses dans le futur (Rohat et al. 2019). Selon Waite et al. (2017), le chauffage, la ventilation et la climatisation représentent déjà 35% de l'énergie primaire totale aux États-Unis et devraient atteindre des proportions similaires dans de nombreuses autres régions du globe.

Prévoir ou projeter les variations futures de la demande d'électricité dues aux variations des conditions météorologiques reste un défi dans les pays d'Afrique de l'Ouest car la sensibilité météorologique de la consommation d'électricité reste mal comprise et caractérisée dans cette région. La sensibilité croissante aux conditions météorologiques a été récemment soulignée pour les grandes villes ouest africaines par Kondi Akara et al. (2022) mais elle reste inconnue pour le reste du territoire.

Les travaux réalisés dans le démonstrateur DEM3, dans le cadre du PC3 « DEMOCLIMAT » du programme de recherche TRACCS, visent à combler cette lacune, à caractériser la sensibilité météorologique de la consommation électrique sur une couverture spatiale continue et à démontrer la valeur des informations et projections climatiques pour améliorer la gestion et la planification des réseaux électriques pour les décennies à venir.

Ce démonstrateur DEM3 sera développé dans un premier temps pour la Côte d'Ivoire, en étroite collaboration avec CI-Energie (Côte d'Ivoire Energie, <https://www.cinergies.ci/>), la CIE (Compagnie Ivoirienne d'Electricité ; <https://www.cie.ci/>) et la SODEXAM (Société d'Exploitation de Développement Aéroportuaire, Aéronautique Météo, <https://www.sodexam.com/>). Il sera idéalement ensuite étendu à d'autres pays de la Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO).

15:00 -15:20

Session Energie - amphithéâtre du CIC - Animation tbc

M. François Collet - CECI, Université de Toulouse, CERFACS, CNRS

## **Characterization of compound wind drought and cold events leading to stress conditions for the electric network in France**

François Collet<sup>1</sup>, Margot Bador<sup>1</sup>, Julien Boe<sup>1</sup>, Laurent Dubus<sup>2</sup>, Bénédicte Jourdier<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CECI, Université de Toulouse, CERFACS, CNRS, Toulouse, France

<sup>2</sup> RTE, Paris, France

To reach climate mitigation goals, the share of renewable energies in the French power system is going to increase, rendering it more exposed to meteorological drivers. Compound low wind power production and high electricity demand events, which are associated with winter compound wind drought and cold events in France, are events that will pose a more important risk to the security of electricity supply. The scope of this study is to assess the evolution of compound wind drought and cold event occurrence, to identify the large-scale circulation patterns associated with these events using an unsupervised classification method, and finally to quantify the role of large-scale circulation changes in the evolution of the occurrence of these events using a dynamical adjustment approach based on constructed circulation analogues.

To identify compound wind drought and cold events relevant to the energy sector, indicators representing the wind power capacity factor and electricity demand are calculated using, respectively, wind speed and surface temperature from ERA5 and MERRA2 reanalysis and parameters of current French wind farms and electricity demand. These indicators show a good correlation compared to validated observations of wind power capacity factor and electricity demand in France over the 2011-2021 overlap period.

A large interannual variability for the occurrence of cold and compound events is found. Both cold and compound events exhibit a significant negative trend, indicating that these situations of stress for the current French electric network have become less frequent over the observational record. The unsupervised classification of ERA5 sea level pressure shows that synoptic conditions associated with compound events somewhat project on the Scandinavian blocking and NAO- weather regimes. Finally, a significant contribution of large-scale circulation changes in the decreasing number of compound events is found.

15:20 – 15:40

Session Energie - amphithéâtre du CIC - Animation tbc

M. Rémi Dupont – VALEMO, CNRM

### **Amélioration de la prévision du givrage pour le secteur de l'énergie**

Rémi DUPONT (VALEMO/CNRM), Yann MICHEL (DSM/CS/ENERGIE)

Le phénomène de givrage représente un défi majeur dans le secteur de l'énergie, notamment dans le transport d'électricité et l'énergie éolienne. Dans le transport d'électricité, les lignes aériennes sont vulnérables à l'accumulation de glace, entraînant des perturbations dans la transmission d'énergie. De même, dans l'énergie éolienne, le givrage des pales réduit considérablement la production d'énergie en altérant l'aérodynamisme.

Afin d'anticiper ces problèmes et servir d'outil d'aide à la décision pour les acteurs du secteur de l'énergie, un système de prévision d'accrétion, WIRE (Winter Risks for Energy) a été développé à Météo-France. Ce système a dans un premier temps été développé pour prévoir l'accrétion de givre et de neige sur les câbles de transport d'électricité (Bouilloud L., 2017) et il a par la suite été étendu à la problématique de la prévision d'accrétion sur les éoliennes (Dupont, 2020).

Le modèle de simulation d'accrétion utilise comme paramètre d'entrée les champs microphysiques du modèle AROME (Seity, et al., 2011) tels que le contenu en eau nuageuse, et le contenu en graupel, ainsi que les champs de vent, pression, température et humidité, au niveau d'altitude considéré. Le système WIRE utilise les prévisions d'ensemble du modèle Arome (PEAROME) (Bouttier F., 2012) dans le but d'élaborer une prévision probabiliste d'accrétion de neige et de glace sur les câbles et éoliennes. Des cartes de probabilités d'occurrence de formation de manchon neigeux ou de glace sont notamment produites quotidiennement.

15:40 – 15:50

Session Energie - amphithéâtre du CIC - Animation tbc

M. Yann MICHEL - Météo-France

## **L'évolution du risque de givre, de neige et de rafales sur les infrastructures électriques et de transport en climat futur: vers un futur démonstrateur TRACCS/DEMOCLIMAT.**

Y. Michel<sup>1</sup>, A. Freignaux<sup>1</sup>, S. Delecroy<sup>1</sup>, R. Dupont<sup>1,2,3</sup>, L. Bouilloud<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Météo-France, Toulouse, France

<sup>2</sup> Météo-France – CNRS, CNRM, Toulouse, France

<sup>3</sup> Valemo

Météo-France a développé un modèle physique d'accrétion de neige et de glace sur des câbles ainsi que sur des pales d'éoliennes en rotation: WIRE (Winter Risks for Energy). WIRE est basé sur une modélisation avancée de l'accrétion et de la fonte (Makkonen 2000, Bouilloud et al. 2017) et est exploité en aval de la prévision d'ensemble AROME, de manière à fournir de manière quotidienne des prévisions de givrage et de rafales de vent pour les deux prochains jours. Nous décrivons le service météorologique WIRE: comment l'information est délivrée aux usagers, quels sont les retours du terrain, et enfin comment WIRE a été étendu du secteur de l'énergie au secteur des transports puis potentiellement des antennes de télécommunication.

Le but de ce démonstrateur TRACCS est d'étudier l'évolution du risque en climat futur, en particulier pour les épisodes extrêmes qui peuvent causer des dommages importants aux infrastructures électriques. Le dimensionnement de ces infrastructures, qui sont exposées aux aléas climatiques sur des longues durées (typiquement 80 ans), doit être réalisé en ayant une bonne connaissance de ce risque et de son évolution en climat futur. Le givre cause également des pertes significatives de la production éolienne ainsi que des interruptions de services dans les transports, trains et tramways notamment. Dans un climat qui se réchauffe, le risque ne diminue probablement pas de manière uniforme sur le territoire Français, et peut même augmenter si la neige devient plus humide et donc plus lourde. Plusieurs gestionnaires de réseaux électriques comme ENEDIS et EDF SEI (en Corse) ont déjà fait part de leur intérêt pour la démarche.

15:50 – 16:10

Session Energie - amphithéâtre du CIC - Animation tbc

Mme Laure Baratgin - Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD)

### **Simulating hydropower operations in a land surface model: a demand-based approach**

Laure Baratgin, Jan Polcher, Patrice Dumas, Philippe Quirion

Climate change is expected to have a profound impact on hydropower generation. While hydrological models have been widely used to assess these effects, they often present some limitations for an accurate estimation. A major challenge lies in the modeling of release decisions for hydropower reservoirs, which result from intricate trade-offs, involving power sector dispatch, competing water uses and the spatial allocation of power generation within the grid.

To address this gap, this study introduces a novel demand-based approach for integrating hydropower within the routing module of a hydrological model. First, hydropower infrastructures are placed in coherence with the hydrological network and links are built between hydropower plants and their supplying reservoirs to explicitly represent water transfers resulting from hydropower generation. Then, coordinated dam operation is simulated by distributing a prescribed electric demand to be satisfied by hydropower over the different power plants in the grid, while considering the operational constraints associated with the multipurpose nature of most dams.

To validate our approach, we implement this framework within the routing scheme of the ORCHIDEE land surface model and employ the French electrical system as a case study. We drive the model with SAFRAN climatic reanalysis and prescribe observations of hydropower production as the total power demand to be met by hydropower plants. By comparing the simulated evolution of the stock in reservoirs to the observations, we find that the model simulates realistic operations of reservoirs and successfully satisfies hydropower production demands over the entire period. We highlight the role of uncertainties on estimated precipitation and the limited knowledge on hydropower infrastructure on the estimation of production. Finally, we show that such integration of hydropower reservoirs in the model improves the simulations of river discharges in mountainous catchments affected by hydropower.

16:40 – 17:00

Session Agriculture - amphithéâtre du CIC - Animation Simon Munier (CNRM)

M. Hugues François et Mme Claire Deleglise - INRAE LESSEM

**Une démarche inter- et transdisciplinaire pour l'élaboration d'un outil  
de suivi des conditions agroclimatiques en alpage  
au sein du programme Alpes Sentinelles**

Deléglise C.(1), François H.(1), Bray, F.(1), Dodier H.(1,2), Samacoïts R.(3), Morin S.(3,4) et  
Crouzat E.(1)

(1) Univ. Grenoble Alpes, INRAE Lyon-Grenoble, LESSEM

(2) Fédération des Alpages de l'Isère, Grenoble

(3) Météo-France, DCSC, Toulouse

(4) CNRM (UMR CNRS/Météo-France), Univ. Toulouse / Univ. Grenoble Alpes

Les montagnes sont tout particulièrement sensibles aux impacts du changement climatique. S'il s'agit à la fois d'une réalité physique et d'une perception plus grande des acteurs du fait de l'exposition de leurs activités ou des milieux naturels avec lesquels ils interagissent, cette sensibilité accrue a donné lieu à des dispositifs originaux, partagés entre scientifiques et acteurs de terrain.

Parmi les dispositifs "sentinelles", le réseau Alpes Sentinelles s'attache à analyser, comprendre et ainsi mieux anticiper l'impact du changement climatique en alpage. Ce réseau s'inscrit à la fois dans une perspective d'observation de long terme (évolution des conditions météorologiques, de la ressource en herbe et en eau et des pratiques pastorales) et comme un espace de co-construction de connaissances et d'outils entre les différents acteurs impliqués au travers des groupes de travail inter- et transdisciplinaires (scientifiques, gestionnaires des territoires protégés, conseillers techniques des services pastoraux).

Dans ce cadre, une démarche de diagnostic de la vulnérabilité climatique en alpage a été élaborée par le réseau Alpes Sentinelles (Deléglise et al., 2019). Sa première étape repose sur la caractérisation de l'exposition climatique des alpages, c'est-à-dire du contexte climatique résultant des grandes influences climatiques ainsi que du microclimat auxquels chaque alpage est soumis (Deléglise et al., 2022). Nous réalisons cette caractérisation grâce à un ensemble d'indicateurs agroclimatiques développés en croisant les données de la réanalyse climatique produite par Météo-France pour les territoires de montagne (Vernay et al., 2022) avec les périmètres des alpages disponibles via l'enquête pastorale (2012-2014), qui est un recensement systématique des espaces d'alpages utilisés par l'élevage pastoral (Dobremez et al., 2016). Pour un transfert opérationnel, les indicateurs ont été mis à disposition de tous via une interface web développée par le groupe de travail d'Alpes Sentinelles.

Ce travail constitue une base de connaissances nouvelles qui permet de mieux qualifier les déclinaisons locales -en alpage- du changement climatique global et ainsi d'outiller les acteurs de terrain pour leur gestion opérationnelle à l'échelle de l'alpage. Suite à ces analyses historiques, nous travaillons actuellement selon une méthodologie et un cadre partenarial comparables pour des développements en climat futur. Ils viseront à accompagner les acteurs de terrain dans la prise en compte des tendances d'évolution projetées, ainsi que dans l'intégration des variabilités interannuelles et des incertitudes associées aux différents indicateurs agroclimatiques. Au-delà des principaux résultats quantitatifs, les développements méthodologiques réalisés pourront intéresser un public large, tant en termes géographiques que thématiques.

17:00 – 17:20

Session Agriculture - amphithéâtre du CIC - Animation Simon Munier (CNRM)

Mme Nathalie DE NOBLET-DUCOUDRE - Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE)

## **Risques de dommages dus à l'évolution du climat pour les productions de blé d'hiver et de maïs en France**

(Démonstrateur TRACCS-PC3-DEMOCLIMA)

Nathalie de Noblet-Ducoudré (LSCE-CEA / IPSL) ; [nathalie.de-noblet@lsce.ipsl.fr](mailto:nathalie.de-noblet@lsce.ipsl.fr)  
Burak Bulut (LSCE-CEA / IPSL), Paul Rigaud (LSCE-CEA / IPSL), Olivier Thérond (LAE / INRAE), Renan Le Roux (AgroClim / INRAE), Iñaki Garcia de Cortazar (AgroClim / INRAE), Denis Allard (BioSP / INRAE), M. Vrac (LSCE-CNRS / IPSL), J. Servonnat (LSCE-CEA / IPSL), H. Raynal (Agir / INRAE)

Les producteurs de grandes cultures et les instituts techniques agricoles (e.g. Arvalis) en France s'inquiètent de plus en plus de la quasi-absence d'années « normales » et donc de l'augmentation de la variabilité interannuelle des productions. En 2016 par exemple, la production de blé en France a été très déficitaire en raison de la combinaison d'un hiver chaud, d'un printemps humide et d'un rayonnement insuffisant à la surface en juin (Ben-Ari et al., 2018; Nóia Júnior et al., 2023). Une production agricole déficitaire n'est en effet pas toujours la conséquence d'un événement météorologique extrême isolé, mais peut résulter d'une combinaison d'anomalies météorologiques successives (non extrêmes), comme ce fut le cas en 2016.

Comprendre les causes météorologiques des mauvaises récoltes et identifier si de telles causes risquent de devenir plus fréquentes avec le changement climatique sont des éléments clés pour aborder l'adaptation des cultures.

Dans le cadre du PC3-DEMOCLIMA du PEPR TRACCS, nous proposons de nous intéresser à deux grandes cultures annuelles en France, le blé d'hiver et le maïs, et d'élaborer un cadre méthodologique afin d'identifier les combinaisons d'événements météorologiques qui pourraient entraîner des pertes de rendements pour ces cultures dans le futur. Notre méthode sera basée sur l'élaboration et la production d'indicateurs éco-climatiques (c.-à-d. des indicateurs agro-climatiques calculés pour une phase phénologique donnée). Ces indicateurs nous renseignent sur les effets des conditions météorologiques (= stress) sur le fonctionnement des plantes tout au long de leur développement (Caubel et al., 2015, 2017 ; Le Roux et al., subm.). Ils combinent les risques climatiques, l'exposition des cultures (temps phénologique spécifique) et la sensibilité (seuils physiologiques) et sont donc un outil utile pour exprimer la vulnérabilité des cultures au changement climatique. Lorsqu'ils sont combinés, ces indicateurs éco-climatiques peuvent fournir des informations sur l'écart entre le rendement attendu et le rendement potentiel.

Dans cette présentation nous présenterons les résultats de quelques études basées sur l'utilisation de ces indicateurs pour le blé d'hiver, puis nous parlerons du projet de démonstrateur que nous souhaitons développer dans le cadre de TRACCS.

17:20 – 17:40

Session Agriculture - amphithéâtre du CIC - Animation Simon Munier (CNRM)

Mme Juliette MIGNOT - LOCEAN

**Prévisions des récoltes à l'échelle décennale au Sénégal**  
(Démonstrateur TRACCS-PC3-DEMOCLIMA)

17 :40 – 18:00

Session Montagne et tourisme - amphithéâtre du CIC - Animation Samuel Morin (CNRM)

Dr Carlo Maria Silvio CARMAGNOLA - Centre d'Etudes de la Neige

**Entre physique de la neige et compréhension de ses pratiques de production :  
l'interdisciplinarité au service d'une recherche articulée  
avec la demande sociale.**

Carmagnola, C.(1,3), François, H.(2), Bray F.(2), Morin, S.(3)

1) ABEST-Dia4S, Meylan

2) Univ. Grenoble Alpes, INRAE Lyon-Grenoble, LESSEM

3) CNRM (UMR CNRS/Météo-France), Univ. Toulouse / Univ. Grenoble Alpes

De nombreux travaux menés ces dernières décennies au sujet de l'impact du changement climatique sur l'enneigement des stations de ski, notamment l'étude des stations européennes publiée par l'OCDE en 2006 (Abegg et al.), ont été conduites en ne considérant que l'évolution des précipitations naturelles de neige. Ainsi, elles ne reflétaient pas les conditions d'exploitation vécues par les exploitants de domaines skiables, notamment dans un contexte où, dans le début des années 2000, la diffusion et l'amélioration des techniques de production de neige connaissent un progrès significatif.

Les travaux de P. Spandre (thèse 2013-2016) sur l'intégration des pratiques de gestion de la neige dans la chaîne de modélisation SAFRAN/Crocus ont ainsi permis d'ouvrir la voie à de nouvelles possibilités de simulations. Cette modélisation repose avant tout sur une approche interdisciplinaire. L'utilisation d'un modèle de neige à base physique, tel Crocus, est un pré-requis, mais il est également nécessaire d'intégrer les pratiques de gestion de la neige, notamment en ce qui concerne la production de neige, opération complémentaire à l'entretien ordinaire du domaine skiable auquel contribue le damage. Il s'agit ici d'une question supposant d'intégrer les critères pilotant la prise de décision, transcrite dans le modèle comme une fonction de plusieurs paramètres : les objectifs de production différenciés en fonction du moment de la saison, les zones couvertes par la production de neige, l'état du manteau neigeux et les conditions météorologiques lors de la production.

Dans le prolongement, la logique consiste à renverser la perspective et de proposer d'intégrer la modélisation dans le pilotage des pratiques de production en tant qu'outil d'aide à la décision. Cela implique d'implémenter ces outils dans un contexte d'application au plus proche des pratiques qui sont mises en œuvre sur le terrain, en intégrant l'ensemble des observations quotidiennes du manteau neigeux dans l'exercice d'une modélisation en quasi temps réel. Ce travail a été développé dans le cadre du projet européen PROSNOW. La production d'une information quotidienne sur l'état attendu du manteau neigeux en fonction des conditions météo à court terme et des choix de gestion suppose de s'approcher au plus

près des conditions locales. Pour cela, l'ensemble de la chaîne de modélisation a été affiné dans ses différentes dimensions. En amont, il s'agit de disposer de forçages météorologiques ajustés et des remontées des observations du manteau neigeux réalisées lors des opérations de damage. La prise en compte de cet état introduit une source d'hétérogénéité supplémentaire pour l'initialisation des simulations et démultiplie donc l'ensemble des calculs.

La production d'un service en quasi temps réel tel que PROSNOW, mobilisable dans l'exercice de la gestion quotidienne, intégrant l'ensemble des contraintes entre la disponibilité des observations et la livraison du service en temps et en heure, n'est possible qu'en maîtrisant la multiplicité des simulations à effectuer. Dans ce sens, en se rapprochant de l'échelle opérationnelle de la piste de ski, nos travaux ont développé une approche spatiale intermédiaire entre l'enveloppe du domaine skiable et le pixel sur lequel les mesures de hauteur de neige sont restituées. Les Ski Resort Units ou SRU, comme une portion de piste homogène du point de vue de l'altitude et des pratiques de gestion qui y sont appliquées, permettent ainsi de délivrer une information en phase avec la gestion concrète et la variabilité interne au domaine skiable. Ce cadre méthodologique a permis de développer aussi d'autres outils d'aide à la décision au service des domaines de sports d'hiver. TipSnow, par exemple, se base sur la réanalyse des conditions nivo-météorologiques des 30 dernières années pour fournir des indications sur les objectifs en hauteur de neige à atteindre au cours de l'hiver, afin que les pistes restent ouvertes aux clients jusqu'aux dates souhaitées. Ce système de modélisation a également été mobilisé, de façon croissante, pour des études d'impact du changement climatique sur l'enneigement des domaines skiabiles, et le développement de services climatiques, qui font l'objet d'une autre contribution aux AMA 2024.

Dans notre présentation, nous décrivons comment les différentes pratiques de gestion de la neige ont été implémentées dans le modèle de neige SURFEX/Crocus, avec un focus sur les aspects physiques liés au travail de damage et à la production de neige. Ensuite, nous allons montrer comment ces développements, combinés avec des observations de terrain et des prévisions météorologiques, ont permis de créer des outils de gestion en temps réel tels que PROSNOW et TipSnow. Enfin, quelques exemples extraits directement des interfaces web de PROSNOW et TipSnow pour la saison en cours seront également montrés

18:00 – 18:20

Session Montagne et tourisme - amphithéâtre du CIC - Animation Samuel Morin (CNRM)

M. Samuel Morin – CNRM

**La modélisation en appui du développement de services climatiques  
appliqués au secteur du tourisme de montagne :**  
**de l'évolution de l'enneigement aux liens avec le cycle de l'eau**

Samuel Morin<sup>1</sup>, Hugues François<sup>2</sup>, Raphaëlle Samacoïts<sup>2,3</sup>, Carlo Carmagnola<sup>1,4</sup>, Eric Sauquet<sup>5</sup>, Marion Réveillet<sup>1,6</sup>, Louis Guily<sup>4</sup>, Jean-Michel Soubeyroux<sup>3</sup>

1 Univ. Grenoble Alpes, Université de Toulouse, Météo-France, CNRS, CNRM, Centre d'Études de la Neige, Grenoble and Toulouse, France

2 Univ. Grenoble Alpes, INRAE, LESSEM, Grenoble, France

3 Météo-France, Direction de la Climatologie et des Services Climatiques, Toulouse, France

4 Dianeige/DIA4S/ABEST, Meylan, France

5 INRAE, RiverLy, Lyon, France

6 Univ. Grenoble Alpes, CNRS, IRD, IGE, Grenoble, France

Le secteur du tourisme de montagne, en particulier sa composante « sports d'hiver », procure une activité économique à des nombreuses régions de montagne, notamment dans les massifs français. La raréfaction de l'enneigement sous l'effet du changement climatique, principalement à basse et moyenne altitude, accroît le risque de faible enneigement pour les stations de sport d'hiver. Afin de quantifier l'effet du changement climatique sur la fiabilité de l'enneigement, tenant compte du damage et de la production de neige, des outils spécifiques de modélisation spatiale des domaines skiables et de modélisation de la neige sur piste ont été développés. Il s'agit en particulier de représenter de façon réaliste la production de neige et le damage, tant du point de vue de leur effet physique sur le manteau neigeux, mais aussi en représentant les pratiques de gestion (seuils de déclenchement, fréquence d'utilisation, quantités d'eau mobilisées etc.). La combinaison de ces outils de modélisation avec des données météorologiques représentant le climat passé ou futur (projections climatiques), permet de quantifier, à l'échelle de stations individuelles, l'évolution de la fiabilité de l'enneigement, qui constitue le service climatique ClimSnow. Ce service permet de documenter simultanément l'évolution de l'enneigement naturel et géré et la quantité d'eau mobilisée pour la production, sans contrainte sur sa disponibilité. Par ailleurs, des questions sont régulièrement posées concernant l'interaction entre la gestion de la neige en stations et le cycle hydrologique local (c'est-à-dire, quel est l'effet en aval d'une station de damer de la neige et d'en produire ?). Afin de contribuer à répondre à cette question, une étude pilote a été menée appliquée au cas de la station de La Plagne et un de ses principaux bassins versants (Bonnegarde). Là aussi, la combinaison d'outils de modélisation représentant les effets anthropiques portant sur le manteau neigeux sur piste permet d'apporter des réponses fondées sur une prise en compte combinée des facteurs « naturels » et « anthropiques » agissant sur le cycle de l'eau à l'échelle locale, et leur évolution dans un climat plus chaud. Cette présentation illustrera ces approches et projets complémentaires, sous l'angle de la modélisation appliquée à l'exploration des effets de la gestion de la neige sur plusieurs déterminants du tourisme de montagne hivernal.

## Mercredi 17 janvier 2024

### Suite des sessions 'Modéliser les systèmes anthropisés – comprendre et anticiper les impacts et risques météo et climatiques'

<b>09:00 – 10:20</b>	<b>Session Hydrologie</b> - amphithéâtre du CIC – Animation Nathalie de Noblet-Ducoudré (LSCE)	
09:00 – 09:20	Etude régionale des impacts simulés de l'irrigation sur la couche limite atmosphérique	<i>Pierre TIENGOU (METIS-IPSL) et al.</i>
09:20 – 09:40	Paramétrisation de l'irrigation pour la représentation de ses effets sur la couche limite atmosphérique	<i>Tanguy LUNEL (CNRM) et al.</i>
09:40 – 10:00	Influence de l'irrigation dans les modèles de l'IPSL de 1950 à 2100	<i>Agnès DUCHARNE (METIS-IPSL) et al.</i>
10:00 – 10:20	Identifying and quantifying the effect of climatic and non-climatic drivers on river discharge in Europe	<i>Julie COLLIGNAN (LMD) et al.</i>
<b>10:20 – 10:40</b>	<b>Pause-café</b>	
<b>10:40 – 11:50</b>	<b>Session Ville et milieux urbains</b> - amphithéâtre du CIC – Animation Aude Lemonsu (CNRM)	
10:40 – 11:00	High-resolution meteorological modelling of heat waves events over Paris and the Ile-de-France region during the PANAME campaign	<i>Tim NAGEL (CNRM) et al.</i>
11:00 – 11:20	Modélisation climatique couplée et à haute résolution pour les études d'impacts en ville	<i>Aude LEMONSU (CNRM) et al.</i>
11:20 – 11:50	Influence de l'expansion urbaine sur le climat en région parisienne et exposition des populations aux fortes chaleurs <b>Lauréate du prix AAM Patrick Brochet 2024, remis par l'Association des Anciens de la Météorologie (AAM) à un.e jeune diplômé.e de l'ENM et récompensant la qualité du mémoire de son projet de fin d'études.</b>	<i>Léa CORNEILLE (CNRM) et al.</i>
<b>12:00 – 13:00</b>	<b>Remise du Prix Prud'Homme 2024 par Serge Planton, représentant Jean Jouzel, président de Météo &amp; Climat, à Albane Barbero, actuellement post-doctorante à l'Université Grenoble Alpes, Institut des Géosciences de l'Environnement, pour sa thèse intitulée "Chimie des espèces réactives et leur rôle sur la capacité oxydante en régions polaires", soutenue le 11 juin 2021 à l'Institut des Géosciences de l'Environnement (Grenoble) - <a href="#">informations complémentaires</a>.</b>	
<b>13:00 – 14:00</b>	<b>Buffet</b>	
<b>14:00 – 15:30</b>	<b>Session Modélisation climatique et indicateurs climatiques</b> - amphithéâtre du CIC – Animation Masa Kageyama (LSCE-IPSL)	
14:00 – 14:10	Introduction à la session	
14:10 – 14:30	Les impacts du changement climatique sur l'occurrence des sécheresses et des feux de forêt dans le sud-ouest de la France	<i>Marine LANET (LMD-IPSL) et al.</i>
14:30 – 14:50	Quels facteurs principaux expliquent la grande incertitude du devenir de la circulation océanique en Atlantique Nord ?	<i>Valentin PORTMANN (EPOC) et al.</i>
14:50 – 15:10	Tropical Cyclones in Global High-Resolution Simulations using the IPSL Model	<i>Stella BOURDIN (LSCE-IPSL) et al.</i>
15:10 – 15:30	Quels sont les événements les plus chauds d'ici la fin du siècle ?	<i>Yoann ROBIN (LSCE-IPSL) et al.</i>
15:30 – 15:50	Downscaling climate change over French Guiana: from CMIP6 projections to sector-based indices	<i>Ali BELMADANI (ENM et CNRM) et al.</i>

**Fin des AMA. La semaine se poursuit dans le cadre de l'Assemblée Générale du programme TRACCS**

09:00 – 09:20

Session Hydrologie - amphithéâtre du CIC - Animation Nathalie de Noblet-Ducoudré (LSCE)

M. - Pierre Tiengou - UMR METIS, IPSL

[Poster]

## **Etude régionale des impacts simulés de l'irrigation sur la couche limite atmosphérique**

Pierre Tiengou, Agnès Ducharne, Frédérique Cheruy

Nous présentons la méthodologie mise en place pour étudier les impacts que peut avoir une représentation de l'irrigation dans un modèle climatique sur les interactions surface-atmosphère et la couche limite atmosphérique. Le domaine considéré est centré sur l'Espagne et comprend la zone de mesures de la campagne LIAISE, effectuée en 2021 dans le but d'étudier les effets des hétérogénéités de surface, notamment celles créées par l'irrigation. Cette étude régionale s'appuiera sur un modèle à aire limitée (LAM) qui utilise le cœur dynamique DYNAMICO avec la physique hydrostatique du modèle LMDZ, et sur le modèle de surface continentale ORCHIDEE, dans lequel une nouvelle représentation de l'irrigation a récemment été développée. Des simulations avec et sans représentation de l'irrigation seront réalisées pour analyser les conséquences de cette irrigation simulée sur les interactions directes entre la surface et l'atmosphère (flux turbulents, température) puis sur la structure de la couche limite et les précipitations. Dans un premier temps, le réalisme des simulations sera évalué à l'aide des mesures de la campagne LIAISE. Elles seront ensuite comparées aux modélisations à plus fines échelles effectuées dans le cadre du projet LIAISE avec le modèle Méso-NH. Les impacts de l'irrigation sur le couplage surface-atmosphère seront étudiés à différentes résolutions spatiales avec le LAM-DYNAMICO, entre 10 km et 50 km. Cela permettra d'analyser les échelles caractéristiques auxquelles certains processus du couplage surface-atmosphère sont résolus explicitement par la dynamique du modèle, et donc de mieux comprendre le rôle des paramétrisations de ces processus.

09:20 – 09:40

Session Hydrologie - amphithéâtre du CIC - Animation Nathalie de Noblet-Ducoudré (LSCE)

M. Tanguy Lunel - CNRM

## **Paramétrisation de l'irrigation pour la représentation de ses effets sur la couche limite atmosphérique**

Tanguy Lunel, Aaron Boone, Patrick Le Moigne

L'irrigation est encore largement négligée dans les modèles numériques de prévision météorologique et climatique. Les différents travaux menés pour ajouter l'irrigation dans les modèles de surface utilisent une variété de stratégies, de très simples à complexes, avec des objectifs également divers. L'étude présentée ici s'intéresse à différentes représentations pragmatiques de l'irrigation pour améliorer la modélisation des interactions surface-atmosphère en zone semi-aride dans le modèle couplé Surfex/Meso-NH. L'évaluation des différentes paramétrisations faite avec les données d'observation de la campagne LIAISE a permis également de mettre en évidence la forte influence de l'irrigation sur la couche limite atmosphérique.

09:40 – 10:00

Session Hydrologie - amphithéâtre du CIC - Animation Nathalie de Noblet-Ducoudré (LSCE)

Mme Agnès Ducharne - UMR METIS, IPSL

### **Influence de l'irrigation dans les modèles de l'IPSL de 1950 à 2100**

Agnès Ducharne, Pedro Arboleda-Obando, Peng Huang, Frédérique Chérury, Josefina Ghattas, Pierre Tiengou

L'irrigation est fortement liée à l'agriculture intensive. En 2010, elle couvrait environ 2% des surfaces continentales et 20% des surfaces cultivées, pour 40% de la production agricole mondiale. D'un point de vue hydrologique, 70% des prélèvements en eau douce sont destinés à l'irrigation au niveau mondial, dont environ 40% sont effectués dans les eaux souterraines, entraînant des baisses des ressources associées, qui peuvent être très importantes dans les zones très irriguées. Cette activité est cependant extrêmement hétérogène dans l'espace et très variable dans le temps, en fonction de décisions politiques d'une part et de la variabilité climatique d'autre part, si bien que la littérature scientifique peine encore à identifier des interactions claires entre climat et irrigation.

Dans ce contexte, nous présenterons une synthèse de plusieurs travaux en cours à l'IPSL pour quantifier l'impact de l'irrigation sur l'évolution des ressources en eau d'une part et celle du climat d'autre part, au cours de la période 1950-2100 où l'irrigation, l'occupation des terres, et le climat changent simultanément. Ces travaux s'appuient sur une nouvelle paramétrisation de l'irrigation dans le modèle de surface continentale ORCHIDEE, qui calcule les volumes d'irrigation comme le minimum d'une demande par les cultures (dépendant d'un déficit d'humidité dans le sol) et d'une offre en eau par les rivières et les nappes, modulée par les infrastructures de pompage et d'adduction. Cette paramétrisation a été validée à l'échelle globale en mode forcé, et reproduit correctement les volumes irrigués des années 2000, malgré une légère sous-estimation en moyenne, plus prononcée dans les zones très irriguées.

A l'échelle globale, nous terminons une paire de simulations avec et sans irrigation, en mode couplé surface-atmosphère avec le modèle LMDZ-ORCHIDEE, sous scénario SSP5-8.5 à partir de 2014, associé à une poursuite de l'augmentation des surfaces irriguées. Les résultats sur la période historique montrent un impact modeste de l'irrigation sur le climat simulé, mais une diminution des débits dans certains bassins très irrigués. Nous étendrons cette analyse au climat futur, et compléterons ces résultats en mode couplé par des simulations réalisées sur la France en mode forcé en marge du projet national Explore2, sous scénario RCP8.5 à partir de 2014, et selon plusieurs hypothèses d'évolution des surfaces irriguées. A partir de ces deux jeux de simulations, nous tacherons de synthétiser comment l'irrigation influence l'évolution des ressources en eau, de la biomasse cultivée, et du climat au cours du 21ème siècle, selon les modèles de l'IPSL.

10:00 – 10:20

Session Hydrologie - amphithéâtre du CIC - Animation Nathalie de Noblet-Ducoudré (LSCE)

Mme Julie Collignan - Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD)

## **Identifying and quantifying the effect of climatic and non-climatic drivers on river discharge in Europe**

Julie Collignan, Jan Polcher, Sophie Bastin, Pere Quintana Segui

Predicting and managing the evolution of water resources is paramount for society in the context of climate change and largely managed rivers. The first step in this endeavour is determining which of both processes has dominated changes in the past records.

We propose an innovative way to detect and quantify the changes in river discharge due to climate processes or non-climatic factors over the past century for European catchments.

The Budyko framework is applied with a time-moving window to decompose and quantify the changes in discharge projected on a few parameters. It allows to separate the direct response to changes in precipitation  $P$  and potential evapotranspiration  $PET$  from the indirect modifications of the evaporation efficiency of the watersheds.

The Land surface model (LSM) ORCHIDEE forced with a century-long climate data set simulates the complex hydrological response of catchments' natural state. This yields climate-only changes of discharge. The same methodology is then applied to observed discharge from European gauging stations. Comparing both enables highlighting the areas where critical non-climatic processes such as human water management activities impact the watershed's apparent evaporation efficiency and significantly contribute to trends in the observed discharge over the century.

Results over Europe show that changes in  $P$  dominate long-term changes and variability in discharge explained by climate. The second main climatic driver is the increase in  $PET$ . Over the Mediterranean region, though, water availability is a strong limitation to evaporation and intra-annual changes in the distribution of  $P$  outweigh the effect of  $PET$  trends. Over most catchments, however, and mostly in southern Spain, the changes due to non-climatic drivers dominated over the century. When the focus is on decadal periods, the effect of non-climatic factors is still significant but small compared to the high climate variability. Attempts to attribute these non-climatic changes in the catchments' evaporation efficiencies are presented. Good correlations are found between changes in the evaporation efficiency of Mediterranean catchments and the evolution of water stored in dams. It illustrates that it is a reliable indicator of the effect of human activities on the hydrological changes of watersheds in that area. Many human water management practices impact the watershed's apparent evaporation efficiency, often with complex and inter-correlated feedback with climate.

10:40 – 11:00

Session Ville et milieux urbains - amphithéâtre du CIC - Animation Aude Lemonsu (CNRM)

Dr Tim Nagel - CNRM, CNRS, Météo-France

## **High-resolution meteorological modelling of heat waves events over Paris and the Ile-de-France region during the PANAME campaign**

Tim Nagel, Jean Wurtz, Aude Lemonsu, Valéry Masson, Jonnathan Cespedes, Simone Kotthaus

In this work, the Meso-NH meteorological research model is used to perform hectometric high-resolution numerical simulations of the heatwaves that occur over Paris and the Ile-de-France region during the summer 2022. These events have been documented during the PANAME2022 intensive observation campaign, with, amongst others, ground observations from permanent meteorological stations network, radiosoundings, automatic low-power lidars and ceilometers.

The model results are first validated against the experimental data. Meso-NH shows a good ability to reproduce the ground temperature and the humidity temporal evolution so as the vertical profiles for wind speed and temperature obtained with the radiosoundings.

Atmospheric boundary-layer phenomenon like low-level jets that may occur over the city at night are also detected by the model.

The results show that the urban heat island spatial extension is depending on the atmospheric conditions, and that the high-risk exposure areas may differ from one heatwave to another.

The model is able to identify urban parks of different size. Their cooling effects is depending on the atmospheric conditions and differ for the various heatwaves observed during the campaign.

The present results show that high-resolution meteorological models such as Meso-NH appears as a suitable tool to complement observations. This allows to propose an approach combining observation and modelling in order to thoroughly analyse the small-scale physical processes encountered during the heatwaves over Paris region.

The meteorological simulations results are also intended to be used as input data for air quality, indoor thermal comfort and heat exposure models. This is a first step toward the development of a prototype urban forecasting modelling chain at the hectometric scale over the Paris region.

11:00 – 11:20

Session Ville et milieux urbains - amphithéâtre du CIC - Animation Aude Lemonsu (CNRM)

Dr Aude LEMONSU - CNRM, CNRS

## **Modélisation climatique couplée et à haute résolution pour les études d'impacts en ville**

LEMONSU Aude, MICHAU Yohanna, CORNEILLE Léa

Les villes concentrent les populations et les activités, de sorte qu'elles contribuent aux émissions de gaz à effet de serre, tout en étant très vulnérables aux effets locaux du changement climatique. L'évaluation des impacts du changement climatique nécessite de raffiner les projections climatiques fournies par des modèles de climat globaux ou régionaux à une échelle spatiale plus fine et plus adaptée à l'étude des villes. Pour cela, des méthodes de descente d'échelle dynamique sont mises en œuvre jusqu'à des modèles de climat régional à haute résolution (2-4 km), dits modèles de climat régional à convection profonde résolue. Outre leur résolution fine, certains de ces modèles intègrent une représentation explicite des zones urbaines et des processus physiques associés grâce à un modèle de surface dédié.

Nous présenterons les études menées plus spécifiquement au CNRM qui s'appuient sur le modèle de climat régional à haute résolution CNRM-AROME (2.5 km) couplé au système de modélisation des surface continentales SURFEX et incluant le modèle de canopée urbaine TEB. Cette configuration permet de traiter les interactions entre climat urbain et climat régional et de représenter avec plus de réalisme certains phénomènes propres aux villes, comme les îlots de chaleurs urbains ou l'effet des villes sur les précipitations. Elle doit également permettre le calcul d'indicateurs d'impacts multi-sectoriels à l'échelle des villes et de leur territoire.

11:20 – 11 :50

Session Ville et milieux urbains - amphithéâtre du CIC - Animation Aude Lemonsu (CNRM)

Mme Léa Corneille - CNRM, CNRS, Météo-France

Lauréate du prix AAM Patrick Brochet 2024, remis par l'Association des Anciens de la Météorologie (AAM) à un.e jeune diplômé.e de l'ENM et récompensant la qualité du mémoire de son projet de fin d'études.

### **Influence de l'expansion urbaine sur le climat en région parisienne et exposition des populations aux fortes chaleurs**

Léa Corneille (CNRM, Météo-France – CNRS, Toulouse, France) et al.

Les villes, berceaux de population et d'activités économiques, constituent un enjeu crucial dans les problématiques environnementales actuelles. Leur organisation connaît de fortes évolutions et les enjeux autour de l'aménagement du territoire suscitent un intérêt croissant dans un contexte de changement climatique, puisque les villes y sont particulièrement exposées. La modélisation climatique à haute résolution, couplée avec des modèles de surface adaptés aux zones urbaines, joue alors un rôle crucial dans l'évaluation de ces risques. Cependant, la description de l'occupation du sol constitue une limite au réalisme des simulations climatiques. Par exemple, le modèle de climat régional à haute-résolution AROME (2.5 km) est basé sur une carte d'occupation des sols datant de 1990. L'expansion encourue par les villes jusqu'à la période actuelle n'y est donc pas représentée, ni les dynamiques à venir.

Nous exposerons les études conduites au CNRM sur la prise en compte de l'expansion urbaine dans le modèle de climat AROME couplé au modèle urbain TEB. Ces études visent à identifier l'impact des modifications d'occupation du sol sur le climat régional, ainsi qu'à explorer les conséquences en termes d'exposition de la population aux conditions de fortes chaleurs.

14:10 – 14:30

Session Modélisation climatique et indicateurs climatiques - amphithéâtre du CIC -  
Animation Masa Kageyama (LSCE-IPSL)

Mme Marine Lanet - Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD), Institut Pierre-Simon  
Laplace (IPSL)  
[Poster]

## **Les impacts du changement climatique sur l'occurrence des sécheresses et des feux de forêt dans le Sud-ouest de la France**

Marine LANET, Laurent LI, Hervé LE TREUT

L'été 2022 a été exceptionnellement chaud et sec en France (le deuxième été le plus chaud après 2003 depuis 1900, l'un des 10 étés les plus secs depuis 1959). Dans le Sud-ouest de la France, des "mégafeux" ont brûlé plus de 30 000 hectares de la forêt des Landes, constituant un événement catastrophique exceptionnel depuis 1949 pour l'écosystème naturel régional et la société civile. La spécificité de la forêt des Landes réside dans la présence de lignite et de tourbe sous la surface. Le sol étant très sec en été 2022, le feu a pu se propager en sous-sol et ressurgir plus loin, rendant le travail des pompiers extrêmement difficile.

Ces feux de forêt ont soulevé de nombreuses questions sur la gestion et l'utilisation des terres. L'une d'entre elles est de savoir si la réduction du drainage forestier (créé pour évacuer l'excès d'eau dans cette région très humide en hiver) pourrait rendre la forêt moins vulnérable aux sécheresses et donc réduire le risque de feux de forêt. Pour aborder cette question, la fréquence, l'intensité et les caractéristiques des sécheresses au cours des dernières décennies et pour les décennies à venir sont d'abord analysées. Pour ce faire, un ensemble de 11 indicateurs de sécheresse est développé.

Les conditions climatiques sont ensuite comparées aux caractéristiques des feux de forêt déduites des données satellites MODIS. Bien que les facteurs anthropiques aient un impact important sur le déclenchement des feux de forêt, le risque incendie dépend des conditions climatiques. Des explications physiques pertinentes, au-delà des conclusions statistiques, sont formulées pour l'occurrence des sécheresses et leur relation avec les incendies. Les conditions extrêmes combinées de chaleur et de sécheresse sont en outre évaluées dans les simulations climatiques CMIP6 pour anticiper le risque futur de feux de forêt. Une analyse de détection et d'attribution des conditions favorables aux incendies est également réalisée avec des simulations DAMIP dédiées.

En parallèle de ces travaux de diagnostic, un modèle conceptuel de drainage forestier est également élaboré pour étudier si la modification du drainage peut réduire la vulnérabilité de la forêt aux sécheresses.

L'objectif de ce travail est de développer une méthodologie reproductible dans d'autres régions du monde pour analyser les impacts du changement climatique à l'échelle locale et explorer comment les sciences du climat peuvent fournir des informations quantitatives pour aider la prise de décision.

14:30 – 14:50

Session Modélisation climatique et indicateurs climatiques - amphithéâtre du CIC -  
Animation Masa Kageyama (LSCE-IPSL)

M. Valentin Portmann - EPOC

## **Quels facteurs principaux expliquent la grande incertitude du devenir de la circulation océanique en Atlantique Nord ?**

Valentin Portmann, Didier Swingedouw, Marie Chavent

Les modèles climatiques représentent une opportunité pour tenter d'anticiper le climat futur. Cependant, il existe de fortes différences entre les résultats de ces modèles, notamment à cause de processus difficiles à modéliser, tels que la circulation de retournement en Atlantique (Atlantic Meridional Overturning Circulation en anglais, AMOC par la suite). L'AMOC est une circulation océanique qui redistribue la chaleur et la salinité de l'Atlantique tropicale vers l'Atlantique Nord. Les processus qui influencent sa dynamique sont très variés et leur prépondérance ne fait pas consensus. Les modèles climatiques s'accordent pour prédire une AMOC en ralentissement au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, mais sont en désaccord concernant l'amplitude de son ralentissement : de 10% à 80% à la fin du siècle selon le modèle considéré. Cette incertitude se transmet à celle de nombreuses variables climatiques pour les régions autour de l'Atlantique Nord.

L'objectif de ce travail est de comprendre les causes principales expliquant la dispersion entre les modèles du projet CMIP6 concernant le ralentissement AMOC. Pour se faire, j'ai réalisé différents types de régressions statistiques avancées entre le ralentissement AMOC prédit par les modèles climatiques, et un large ensemble de variables climatiques pour différentes régions du monde. La définition de ces régions spatiales a été réalisée par des méthodes de clustering dans le but de gagner en interprétabilité et en robustesse sur les méthodes statistiques utilisées. J'ai ensuite estimé l'importance de chacune de ces variables avec la méthode des permutations aléatoires. D'après mes premiers résultats, les variables les plus importantes pour expliquer les différences inter-modèles du ralentissement AMOC sont la température océanique de surface dans une région des hautes latitudes de l'Atlantique Nord, la hauteur de mer dans la gyre subpolaire ainsi que la profondeur de la couche de mélange également en Atlantique Nord. La salinité de surface, la glace de mer, et la force des vents ne semble pas être des variables déterminantes pour expliquer les différences inter-modèles de changement d'AMOC, ce qui constitue un résultat relativement surprenant au vue de la littérature discuté en fin d'exposé.

14:50 – 15:10

Session Modélisation climatique et indicateurs climatiques - amphithéâtre du CIC -  
Animation Masa Kageyama (LSCE-IPSL)

Mme Stella Bourdin - Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE),  
Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)

### **Tropical Cyclones in Global High-Resolution Simulations using the IPSL Model**

Stella Bourdin, Sébastien Fromang, Arnaud Caubel, Josefine Ghattas, Yann Meurdesoif,  
Thomas Dubos

Despite many years of extensive research, the evolution of Tropical Cyclone (TC) activity in our changing climate remains uncertain. This is partly because the answer to that question relies primarily on climate simulations with horizontal resolutions of a few tens of kilometers. Such simulations have only recently become accessible for most modeling centers, including the Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL).

Using recent numerical developments in the IPSL model, we perform a series of historical atmospheric-only simulations that follow the HighResMIP protocol. We assess the impact of increasing the resolution from ~200 to 25 km on TC activity.

In agreement with previous work, we find a systematic improvement of TC activity with increasing resolution with respect to the observations. However, a clear signature of TC frequencies convergence with resolution is still lacking. Cyclogenesis geographical distributions also improve at the scale of individual basins. This is particularly true of the North Atlantic, where the agreement with the observed distribution is impressive at 25 km. In agreement with the observations, TC activity correlates with the large-scale environment and ENSO in that basin. By contrast, TC frequencies remain too small in the Western North Pacific at 25 km, where significant biases of humidity and vorticity are found compared to the reanalysis.

Despite the few minor weaknesses we identified, our results demonstrate that the IPSL model is a suitable tool for studying TCs on climate time scales. This work thus opens the way for further studies contributing to our understanding of TC climatology.

15:10 – 15:30

Session Modélisation climatique et indicateurs climatiques - amphithéâtre du CIC -  
Animation Masa Kageyama (LSCE-IPSL)

Dr Yoann Robin - Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), Institut  
Pierre-Simon Laplace (IPSL)

### **Quels sont les plus chauds évènements d'ici la fin du siècle ?**

Yoann Robin, Mathieu Vrac, Aurélien Ribes, Robert Vautard

Le changement climatique d'origine anthropique augmente la fréquence des vagues de chaleur extrême, ce qui peut occasionner d'importants dommages environnementaux, humains, et matériels.

Un type important de vague de chaleur est la vague de chaleur humide, où aux températures élevées s'ajoute une humidité importante. Lorsque ces deux variables sont simultanément élevées, la capacité des humains (et d'autres organismes vivants) à se refroidir par transpiration devient difficile –voire impossible– car l'air est déjà saturé en eau. Ceci entraîne une surmortalité importante par hyperthermie.

La méthode publiée dans [1] et [2] utilise l'analyse Bayésienne pour estimer les lois et statistiques des évènements extrêmes. La synthèse statistique d'ensemble de modèles climatiques (CMIP6) sert d'à priori de la réalité, qui est ensuite contrainte par les observations ERA5. Nous obtenons ainsi la statistique d'évènement extrême entre 1850 et la fin du 21ème siècle, telle qu'elle correspond aux observations sur la période observée, et à des modèles compatibles avec les observations sur le reste de la période.

Cette méthode a été développée à l'origine pour l'attribution d'évènements extrêmes. Nous l'étendons au cas multi-scénario (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 et SSP5-8.5) et l'utilisons afin d'estimer les statistiques des évènements les plus forts (en termes de maximum de température et de heat-index [3]) pouvant se produire d'ici la fin du siècle sur l'Inde et l'Europe.

[1] Y. Robin and A. Ribes, "Nonstationary extreme value analysis for event attribution combining climate models and observations," *Adv Stat Clim Meteorol Ocean.*, vol. 6, no. 2, pp. 205–221, Nov. 2020, doi: 10.5194/ascmo-6-205-2020.

[2] Y. Robin, A. Drouin, J.-M. Soubeyroux, A. Ribes, and R. Vautard, "Comment attribuer une canicule au changement climatique ?," *La Météorologie*, vol. 2021, no. 115, pp. 28–36, doi: 10.37053/lameteorologie-2021-0090.

[3] K. Blazejczyk, Y. Epstein, G. Jendritzky, H. Staiger, and B. Tinz, "Comparison of UTCI to selected thermal indices," *Int. J. Biometeorol.*, vol. 56, no. 3, pp. 515–535, May 2012, doi: 10.1007/s00484-011-0453-2.

15:30 – 15:50

Session Modélisation climatique et indicateurs climatiques - amphithéâtre du CIC -  
Animation Masa Kageyama (LSCE-IPSL)

Dr Ali BEL MADANI - ENM & CNRM

## **Downscaling climate change over French Guiana: from CMIP6 projections to sector-based indices**

A. Belmadani, A. Gentric, P.C. Dutrieux, B. Suez-Panama-Bouton, S. Qasmi, F. Longueville,  
P. Palany

Over the past couple of decades, thanks to the sustained development of Global Climate Models (GCMs) combined with dedicated downscaling strategies such as regional climate modelling or statistical downscaling, climate projections and associated services are now increasingly available at a regional scale across many regions of the world including France. However, whereas this holds for continental France, the national territory includes numerous overseas territories, where this information is still only partially available, if at all.

Here we present the results of statistical downscaling of Coupled Model Intercomparison Project phase 6 (CMIP6) GCMs for the small territory of French Guiana in equatorial South America. Compared with island territories, the larger size of French Guiana makes the direct use of GCMs possible, although statistical downscaling with long daily surface observations of temperature, humidity, precipitation and surface wind remains relevant for bias correction, mapping (the territory is covered by few grid points), and computing tailored climate indices for the agriculture, water resource, energy, or public health sectors.

Obvious advantages are cost-effectiveness and the processing of GCM ensembles that provide more reliable uncertainty estimates made difficult with the more expensive dynamical methods. However, systematic GCM biases such as a displaced Intertropical Convergence Zone may challenge model uncertainty assessment and rather call for a storyline approach supported by selected, skilled GCMs, which all project warming and drying trends over French Guiana. Among the various expected societal impacts, heat stress resulting from the combined humid climate and widespread warming strongly increases the risk of hyperthermia, and the energy demand for air conditioning as a likely local adaptation strategy.