

Version en français

Chercheur/Chercheuse sur la cohérence énergétique dans les modèles de climat (F/H)

DÉPOSER VOTRE CANDIDATURE EN CLIQUANT ICI

Toutes les candidatures non déposées via le lien ci-dessus ne pourront être prises en compte

⇒ **Informations relatives à l'identification du poste**

Direction/Service recruteur

Direction de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (DESR) / Centre National de Recherches Météorologiques
([CNRM](#))

Adresse du lieu d'exercice du poste

42 avenue Gaspard Coriolis 31057 Toulouse Cedex 1

Projet concerné

PEPR [TRACCS](#) (TRAnsformer la modélisation du Climat pour les services ClimatiqueS)
Projet Ciblé 7 [IMPRESSIION-ESM](#)

Éléments relatifs au projet

Le recrutement intervient dans le cadre du programme de recherche [TRACCS](#) (Transformer la modélisation du climat pour les services climatiques) qui rassemble la communauté française de modélisation du climat. Ses activités couvrent la compréhension fondamentale des changements climatiques et de leurs impacts et s'étendent jusqu'à l'élaboration de prototypes de services climatiques co-construits par les parties prenantes et les experts en modélisation du climat. L'enjeu est d'accélérer le développement des modèles de climat pour répondre aux attentes sociétales en termes d'action climatique, notamment dans le domaine de l'adaptation au changement Climatique.

Le programme est organisé en 10 projets ciblés et un projet de gouvernance, et sera complété par des projets en réponse à des appels d'offres. Il est doté de 51 millions d'euros sur 10 ans. Il est co-piloté par le CNRS et Météo-France, avec 7 autres partenaires académiques. Les activités des projets de gouvernance et des projets ciblés seront principalement menées en région parisienne (laboratoires de l'Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)), à Toulouse ([CNRM](#) et autres entités de Météo-France, CERFACS et CECI) et à Grenoble (Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE)).

Le poste proposé s'inscrit dans le projet TRACCS-PC7 [IMPRESSIION-ESM](#), dont l'objectif principal est d'améliorer la représentation des processus physiques clés dans les deux modèles de système Terre (ESM) français, et d'éventuellement ajouter ceux qui sont actuellement manquants. Il s'agit donc de contribuer ainsi à certains des principaux objectifs de [TRACCS](#) : améliorer notre compréhension du système terrestre, accroître la confiance dans les résultats des ESMs, fournir des informations climatiques de haute qualité aux applications pertinentes en aval, et former la prochaine génération de professionnels du climat. Globalement, l'amélioration de la représentation des

processus physiques dans les ESM repose sur les approches suivantes :

- Le développement de modèles théoriques ou conceptuels des processus physiques et de leurs interactions avec la dynamique d'échelle résolue. Les collaborations solides et en cours entre les partenaires d'[IMPRESSION-ESM](#) et la communauté scientifique des processus physiques du système Terre permettront à [IMPRESSION-ESM](#) de bénéficier des dernières avancées scientifiques.
- L'utilisation de modèles numériques de processus, de simulations numériques à haute résolution et d'observations ciblées pour évaluer et améliorer les modèles conceptuels au cœur des paramétrisations. Certains de ces modèles sont déjà bien établis et certaines de ces observations déjà bien utilisées au sein de la communauté [IMPRESSION-ESM](#), tandis que le développement de nouveaux modèles de référence et l'utilisation de données d'observations nouvelles ou à venir seront encouragés.
- L'exploration de techniques basées sur l'Intelligence Artificielle, appliquées aux observations ou à des modèles plus complexes, afin de concevoir des paramétrisations qui reproduisent mieux la complexité et la diversité du monde réel.

Plus précisément, [IMPRESSION-ESM](#) s'intéresse aux processus clés suivants :

- La convection atmosphérique profonde, son initiation depuis les cumulus et congestus, son organisation, sa variabilité et ses interactions avec le rayonnement ;
- Le rôle des hétérogénéités des surfaces continentales dans le cycle de l'eau et ses interactions avec l'atmosphère ;
- Les processus neigeux aux hautes latitudes et au-dessus des calottes polaires et leurs interactions avec la topographie complexe ou les processus radiatifs ;
- Les processus de mélange dans l'océan et les interactions entre circulation océanique et bathymétrie ;
- La thermodynamique multi-phasique et la rhéologie de la glace de mer ;
- L'interface air-mer et les aspects numériques associés, et les couplages dans le continuum glace continentale–plateformes de glace–glace de mer–icebergs.

Type de poste (Ingénieur de recherche, chercheur, doctorant,...)

Chercheur.e

Date de début de contrat souhaitée

À partir de 01 janvier 2027

Durée du contrat

3 ans (à temps incomplet 50%)

Date limite de candidature

30 septembre 2025

Courriels des personnes à contacter pour tous renseignements complémentaires

romain.roehrig@meteo.fr, aurore.voldoire@meteo.fr

Fourchette de rémunération

3 470,33€ - 4 252,98€

⇒ **Informations détaillées relatives au poste**

Descriptif de la direction/du service

La Direction de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche rassemble les entités de recherche de Météo-France (principalement [CNRM](#), SAFIRE, LACy), l'Ecole Nationale de la Météorologie, et les services partagés de soutien administratif et informatique (PGA).

Le [CNRM](#) est une Unité Mixte de Recherche (UMR 3589) avec la double tutelle Météo-France et CNRS. Le CNRM conduit des recherches dans le domaine de la météorologie et du climat, de l'observation, la compréhension et la modélisation des processus jusqu'à la mise au point de systèmes de prévision météorologique et de projection climatique pouvant être transférés aux services opérationnels de Météo-France.

La personne recrutée rejoindra l'équipe [PHYCLIM](#) (Modélisation des processus PHYsiques de l'atmosphère aux échelles CLIMatiques) du Groupe de Modélisation Grande Echelle et Climat (GMGEC) du [CNRM](#), dont les objectifs incluent le développement, la calibration et l'évaluation du modèle atmosphérique ARPEGE-Climat dans la perspective des différentes utilisations du GMGEC et (ii) l'analyse et la compréhension des processus atmosphériques tropicaux, de leur variabilité, de leurs interactions avec la circulation de grande échelle et de leur évolution en changement climatique.

Descriptif du poste

Missions

La conservation de la masse et de l'énergie est une propriété fondamentale de la dynamique des fluides. Son application dans les sciences du climat fournit un cadre d'analyse du système climatique et de son évolution en réponse à différents forçages externes. C'est également un élément essentiel dans le développement des modèles de climat, que ce soit au niveau des composantes individuelles (e.g., atmosphérique, océanique) ou du couplage entre ces composantes dans le système complet. Notamment, l'absence de conservation de l'énergie dans un modèle de climat peut questionner son aptitude à fournir une réponse réaliste à une perturbation donnée (e.g., Irving et al. 2021).

Néanmoins, garantir ces propriétés de conservation est un exercice particulièrement difficile (e.g., Lauritzen et al. 2022), à l'interface de différentes communautés scientifiques :

- Définir l'énergie d'un fluide multi-espèces multi-phasique comme c'est le cas pour l'atmosphère humide et son équation de conservation requiert l'identification précise d'un certain nombre d'hypothèses concernant par exemple la définition de la vitesse du fluide ou les propriétés thermodynamiques des différentes espèces.
- La garantie de la conservation de l'énergie dans la version discrétisée, numérique, des équations de la dynamique d'un fluide n'est pas nécessairement acquise selon les schémas numériques choisis, ce qui peut nécessiter la mise en œuvre de correcteurs d'énergie plus ou moins évolués.
- Les composantes des modèles de climat sont généralement séparées en un cœur dynamique et une partie physique, le plus souvent développés par des communautés scientifiques différentes. Le couplage entre ces deux composantes ne garantit pas non plus nécessairement la cohérence énergétique de l'ensemble et requiert un travail rigoureux tant sur le plan théorique que numérique.
- Enfin, les composantes des modèles de climat sont aussi généralement développées dans des communautés différentes, si bien que la cohérence énergétique à l'interface entre ces composantes exige une analyse précise des hypothèses réalisées dans chaque composante.

Bien que ces problématiques soient au cœur de la modélisation du climat depuis ses débuts, de nombreuses questions théoriques et pratiques demeurent non résolues, notamment dans le cadre d'un fluide multi-espèces et multi-phasiques comme c'est le cas pour l'atmosphère.

La composante atmosphérique ARPEGE-Climat (Roehrig et al. 2020) du modèle de climat du CNRM (Voldoire et al. 2019) ne conserve pas à ce jour l'énergie. Outre l'ambition de contribuer à développer une approche cohérente pour la conservation de l'énergie du fluide atmosphérique, en présence de vapeur d'eau et de condensats, l'objectif majeur est d'implémenter une telle approche dans le modèle atmosphérique ARPEGE-Climat. On attachera aussi une attention particulière au couplage entre cœur dynamique et composante physique, et une extension vers la cohérence énergétique à l'interface océan-atmosphère pourra être envisagée.

Activités

Le ou la candidat·e retenu·e développera un ensemble d'équations cohérentes permettant d'assurer la

conservation de l'énergie du fluide atmosphérique, tenant compte de la vapeur d'eau et des condensats. Il ou elle en déduira les implémentations nécessaires à réaliser pour parvenir à une conservation de l'énergie effective dans le modèle ARPEGE-Climat, les réalisera et testera leur impact sur la simulation du climat et de sa réponse à un changement de concentration de gaz à effet de serre. Il ou elle développera ensuite un cadre théorique et pratique pour la conservation de l'énergie dans les paramétrisations de la turbulence et de la convection, avec l'objectif de le mettre en œuvre dans les paramétrisations physiques utilisées dans ARPEGE-Climat. Enfin, il ou elle pourra aussi s'attacher à analyser la problématique de conservation de l'énergie à l'interface océan-atmosphère afin de proposer des améliorations.

Il ou elle développera des collaborations en interne avec les autres équipes du [CNRM](#) travaillant sur le modèle ARPEGE-Climat, son cœur dynamique et ses paramétrisations physiques, mais aussi en externe avec les scientifiques impliqués dans les projets [TRACCS-PC7](#) [IMPRESSION-ESM](#) et [TRACCS-PC5](#) [COMPACT](#).

Il est aussi attendu que le ou la candidat·e retenu·e publie ses résultats dans des revues scientifiques à comité de lecture et les communique lors de conférences nationales ou internationales, en particulier aux assemblées générales du projet [IMPRESSION-ESM](#) et du programme [TRACCS](#).

Références

Irving, D., Hobbs, W., Church, J., and Zika, J., 2021 : A mass and energy conservation analysis of drift in the CMIP6 ensemble. *Journal of Climate*, **34**(8), 3157–3170. doi : [10.1175/JCLI-D-20-0281.1](#)

Lauritzen, P., et al., 2022 : Reconciling and improving formulations for thermodynamics and conservation principles in Earth System Models (ESMs). *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, **14**(9), e2022MS003117. doi : [10.1029/2022MS003117](#)

Roehrig, R., et al., 2020 : The CNRM Global Atmosphere Model ARPEGE-Climat 6.3: Description and Evaluation. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, **12**(7), e2020MS002075. doi : [10.1029/2020MS002075](#)

Voltaire, A., et al., 2019 : Evaluation of CMIP6 DECK Experiments With CNRM-CM6-1. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, **11**, 2177–2213. doi : [10.1029/2019MS001683](#)

Descriptif du profil recherché

Connaissances générales

- La personne recrutée devra posséder une thèse de doctorat dans le domaine des sciences du climat, de la physique ou de la dynamique des fluides.
- Une expérience en modélisation numérique est requise.

Compétences techniques

- Bonne maîtrise du Fortran ou de tout autre langage structuré
- Maîtrise d'outils d'analyse scientifique (e.g. Python, R)
- Maîtrise de l'environnement Unix

Savoir-faire

- Autonomie et sens de l'organisation
- Rigueur dans les développements techniques et les analyses scientifiques
- Motivation et curiosité scientifique
- Anglais parlé et écrit niveau B2 minimum

Savoir-être

- Bon relationnel et sens du travail en équipe
- Disponibilité et réactivité

⇒ Informations relatives aux candidats

Niveau d'études/diplôme souhaité

Bac ☐

Bac + 2 ☐

Bac + 3 ☐

Master ☐

Doctorat ☒

Niveau d'expérience minimum requis

Débutant ☐

Confirmé ☒

Expert ☐

Niveau souhaité en anglais

Aucun ☐

Introductif ☐

Intermédiaire ☐

Seuil ☐

Avancé ☒

Autonome ☐

Maîtrise ☐

⇒ Télétravail possible

OUI ☒ NON ☐

Si oui, nombre de jour(s) potentiel(s) :

Jusqu'à 2 jours par semaine pour un temps plein

⇒ Management

OUI ☐ NON ☒