

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

Laboratoire : CNRM UMR3589

Titre du stage : **Évaluation de la prévision d'ensemble couplée océan-atmosphère kilométrique**

Nom, statut et coordonnées (téléphone et email) du (des) responsable (s) de stage :

Cindy Lebeau-pin Brossier (CR CNRS, CNRM)	cindy.lebeau-pin-brossier@meteo.fr	05 61 07 90 39
François Bouttier (IPEF Météo-France, CNRM)	francois.bouttier@meteo.fr	05 61 07 98 25

Sujet du stage :

Le stage proposé s'inscrit dans le projet transverse AROBASE (Lebeau-pin Brossier et al. 2023), pour la mise au point d'un système de modélisation et de prévision multi-couplé à échelle kilométrique.

Le couplage océan-atmosphère pour la prévision numérique du temps (PNT) constitue un point d'étape important dans la construction du système AROBASE. Il permet de représenter les structures de fine échelle et l'évolution interactive de l'océan superficiel au cours de la prévision et permet une meilleure représentation des interactions à l'interface air-mer. Le couplage des modèles d'atmosphère AROME et d'océan NEMO permet ainsi l'étude des processus couplés océan-atmosphère et des phénomènes sensibles à ce couplage, avec un réalisme sans précédent (Rainaud et al. 2017 ; Sauvage et al. 2021 ; Pianezze et al. 2022).

La qualité de telles prévisions, dites déterministes, sur quelques cas d'étude reste cependant modérée par les lacunes des systèmes d'observation servant à l'initialisation des modèles numériques, la résolution des calculs, et les approximations dans la représentation des processus physiques. Pour obtenir une valeur prédictive séparée du bruit lié aux erreurs de prévisions, une technique de simulation des erreurs appelée prévision d'ensemble (PE) peut être utilisée. Elle consiste à injecter des perturbations quasi-aléatoires dans les modèles utilisés, ce qui produit des ensembles de simulations parallèles dont la dispersion est révélatrice de la croissance des erreurs au cours des simulations. La prévision d'ensemble est une technique bien connue en modélisation de l'atmosphère, à ses débuts en modélisation océanique à haute-résolution, mais encore quasiment jamais appliquée au système couplé océan-atmosphère régional (Wei et al, 2014 ; Gentile et al. 2022).

Une première PE couplée océan-atmosphère sur une période d'un mois et demi, utilisant la configuration FRA36 de NEMO (1/36°, soit ~2.5 km de résolution) couvrant la zone maritime autour de la France métropolitaine couplée au modèle AROME a été réalisée par l'équipe encadrante. Cette première expérience s'appuyant sur les perturbations du système de prévision d'ensemble opérationnel (PE-AROME) mais ne contenant aucune perturbation océanique doit permettre dans un premier temps d'évaluer la propagation à courte-échéance des perturbations atmosphériques dans l'océan (couplé). Ces effets seront à qualifier en fonction des régions, de la stratification océanique et/ou du type de situation météorologique. Par comparaison de la PE couplée à une PE atmosphérique, les effets du couplage seront ensuite évalués du point de vue de la PNT, notamment en fonction des régions et/ou du type de situation météorologique.

Parmi les perturbations océaniques et à la surface envisagées (conditions initiales, aux limites, schémas physiques dans le modèle d'océan, paramétrisation des échanges...), les perturbations de l'état initial océanique semblent les plus à même d'impacter significativement la PNT aux premières échéances de prévision. Des perturbations océaniques initiales seront donc mises au point au cours du stage pour quelques cas (déterminés par l'analyse précédente), et utilisées dans des expériences de PE couplée afin de déterminer quelle(s) dispersion(s) additionnelle(s) sont apportée(s). Si l'avancée du stage le permet, des perturbations dans la paramétrisation des flux turbulents à la surface marine pourront être examinées.

Gentile, E. S., Gray, S. L. & Lewis, H. W. (2022). The sensitivity of probabilistic convective-scale forecasts of an extratropical cyclone to atmosphere–ocean–wave coupling. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **148**, 685–710. <https://doi.org/10.1002/qj.4225>.

- Lebeaupin Brossier, C., Guidard, V., et al. (2023). Application de la Recherche à l'Opérationnel pour l'assemblage d'AROME avec des Systèmes Environnementaux. *Comité Scientifique Consultatif de Météo-France 2023*. [http://www.umr-cnrm.fr/IMG/pdf/comsi\\_mf\\_2023\\_arobase.pdf](http://www.umr-cnrm.fr/IMG/pdf/comsi_mf_2023_arobase.pdf).
- Pianezze, J., J. Beuvier, C. Lebeaupin Brossier, G. Samson, G. Faure, G. Garric (2022). Development of a forecast-oriented kilometre-resolution ocean-atmosphere coupled system for western Europe and sensitivity study for a severe weather situation. *Nat. Hazards Earth Sys. Sci.*, **22**, 1301-1324, <https://www.doi.org/10.5194/nhess-22-1301-2022>.
- Rainaud, R., C. Lebeaupin Brossier, V. Ducrocq, H. Giordani (2017). High-resolution air-sea coupling impact on two heavy precipitation events in the Western Mediterranean. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **143**, 2448-2462, <http://www.doi.org/10.1002/qj.3098>.
- Sauvage, C., C. Lebeaupin Brossier, M.-N. Bouin (2021). Towards kilometer-scale ocean-atmosphere-wave coupled forecast: a case study on a Mediterranean heavy precipitation event. *Atmos. Chem. Phys.*, **21**, 11857-11887, <http://www.doi.org/10.5194/acp-21-11857-2021>.
- Wei, M., Rowley, C., Martin, P., Barron, C. N. and Jacobs, G. (2014). The US Navy's RELO ensemble prediction system and its performance in the Gulf of Mexico. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **140**, 1129-1149. <https://doi.org/10.1002/qj.2199>.

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

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

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

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

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

Pour les évaluations à mi-parcours :

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

Le poster pourra être rédigé en anglais ou en français.

Pour les évaluations finales :

\* Rapport de stage :

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

- présentation des résultats ou des cas d'étude, 1 discussion, 1 conclusion avec des perspectives, 1 conclusion personnelle d'une demi-page (apport du stage), 1 bibliographie.
- Possibilité de mettre des annexes (utiles pour l'équipe d'accueil) qui ne seront pas évaluées et dont la lecture ne doit pas être indispensable à la compréhension du rapport.
  - Format impératif des 25 à 30 pages : police de caractères de taille 12, marges de 2,5 cm.

\* Soutenance de stage :

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