

|                                                                                                                                                     |                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nom du Graduate Programme</b><br><b>Graduate School 4 - Créer les connaissances pour innover demain / Create knowledge for future innovation</b> | Climate modeling: from understanding the past to predicting the future                                           |
| <b>Etablissements associés</b>                                                                                                                      | UBE                                                                                                              |
| <b>Responsable pédagogique du Graduate Programme</b>                                                                                                | Emmanuelle Pucéat                                                                                                |
| <b>UFR / école de rattachement</b>                                                                                                                  | UFR SVTE                                                                                                         |
| <b>Nombre d'heures total (par an)</b>                                                                                                               | 72h (8hCM, 16hCI, 48hTP) au total pour 2 groupes TP d'étudiants par an. Chaque étudiant suit 40h d'enseignement. |
| <b>Langue de la formation</b>                                                                                                                       | Anglais                                                                                                          |
| <b>ECTS supplémentaires</b>                                                                                                                         | 2                                                                                                                |

### Présentation

Le graduate programme Numerical Climate vise à offrir une formation en anglais sur le maniement des modèles numériques de climat et sur l'analyse de leurs résultats à des étudiants de masters ou à des doctorants ayant déjà des connaissances en informatique, en sciences de la terre ou géographie, de l'UBE ainsi que des universités de l'Alliance FORTHEM. S'agissant des formations d'UBE, les étudiants des masters SP2G, CClimat et BD-IA, ainsi que les doctorants des écoles doctorales E2S et SPIM, sont ciblés en première intention. L'objectif est de former entre 20 et 30 étudiants par session.

Cette formation représente une ouverture vers un champ disciplinaire connexe à celui de la formation initiale des étudiants, celui de la simulation numérique du climat, vers des applications de programmation et d'analyse de grandes bases de données dans le champ de la climatologie et de l'environnement. Une formation complémentaire à leur diplôme dans le maniement des modèles de climats complètera les cursus de géologue, géographe et informaticien des étudiants et pourra leur apporter une originalité à l'échelle du territoire français et européen leur ouvrant des débouchés supplémentaires. Des sujets de stage de M2 intégrant cette approche numérique pourront être offerts par la suite aux étudiants de M1 ayant suivi ce graduate programme.

Le graduate programme est organisé sous la forme d'une école d'été de 5 jours qui se déroulera fin juin à l'issue de la première année de Master, structuré en 4 modules d'enseignement répartis sur 5 jours. A ces modules s'ajoutent 3 conférences de chercheurs ainsi que des présentations brèves de sujets de recherche de doctorants.

| Composante du porteur principal | UE                                                                 | Nombre d'heures CM | Nombre d'heures TP | Nombre d'heures CI |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| UFR SVTE                        | Climate system, climatic and paleoclimatic data                    |                    |                    | 8                  |
| UFR SVTE                        | Introduction to computer programming for climate models            |                    |                    | 8                  |
| UFR SVTE                        | Climate modeling: diving into deep time with an earth-system model | 4                  | 24                 |                    |
| UFR SVTE                        | Using CMIP6 simulations to predict climate change                  | 4                  | 24                 |                    |

**Jour 1 :** Le premier jour est dédié à l'acquisition de connaissances requises pour être à même de comprendre et de manipuler des modèles climatiques. Les étudiants sont séparés en 2 groupes : 1) les étudiants ayant un cursus d'informaticien suivront 8h de cours et travaux dirigés intégrés (CI, module « Climate system, climatic and paleoclimatic data ») sur le fonctionnement du système climatique, les différents compartiments, les cycles de l'eau et du carbone, les archives donnant accès à l'évolution du climat dans le passé, qui sont les éléments sur lesquels reposent un modèle de climat. 2) les étudiants ayant un cursus de géologue ou de géographe suivront 8h de cours et travaux dirigés intégrés (CI, module « Introduction to computer programming for climate models ») sur l'utilisation du système d'exploitation GNU/Linux (gestion des fichiers, notion de processus, lancement des programmes, suivi de leur exécution, ...) sur une introduction aux principes du calcul à haute performance (multi-processeurs à mémoire partagée, cluster et mémoire distribuée, GPU et opérations vectorielles, ...) ainsi que sur les bases des langages de programmation (Python et/ou Fortran). Le cours sera illustré avec la construction, la programmation et l'évaluation de petits modèles.

**Jour 2 et jour 3 :** les étudiants suivent le module « Climate modeling : diving into deep time with an earth-system model » constitué d'une matinée de cours sur la hiérarchie des modèles climatiques existants ainsi que sur le fonctionnement d'un modèle de Système Terre (GENIE) et sur la façon d'extraire des informations pertinentes des simulations. L'après-midi et le jour suivant sont consacrés à mettre en pratique les connaissances acquises pour lancer et analyser des simulations à l'aide de ce modèle à travers des exercices pratiques individuels dans un premier temps. Les étudiants sont ensuite répartis dans un second temps en groupes de 3 pour travailler sur une question scientifique qu'ils auront à adresser en mobilisant les connaissances acquises, allant de la définition des simulations à réaliser et leur réalisation à l'analyse des résultats et leur présentation devant la promotion à l'issue du 3ème jour. Les questions scientifiques concerneront des problématiques liées à des changements climatiques passés, qui font intervenir différentes composantes du système climatique et des processus de rétroaction, avec l'utilisation d'un modèle de système terre intégrant ces aspects et permettant des simulations rapides intégrant plusieurs milliers d'années d'itération du modèle.

**Jour 4 et Jour 5 :** les étudiants suivent le module « Using CMIP6 simulations to predict climate change » constitué d'une matinée de cours visant à présenter le programme CMIP6, les modèles impliqués, les séries de simulations disponibles et les façons de les analyser. L'après-midi et le jour suivant sont consacrés à mettre en pratique les connaissances acquises pour aller chercher des sets de simulations et les analyser à travers des exercices pratiques individuels dans un premier temps.

Les étudiants sont ensuite répartis dans un second temps en groupes de 3 pour travailler sur une question scientifique qu'ils auront à adresser en mobilisant les connaissances acquises, allant de l'identification des données pertinentes issues de simulations CMIP6 à l'analyse des résultats et leur présentation devant la promotion à l'issue du 5ème jour. Le programme CMIP6 donne accès à des résultats de simulations issues de modèles permettant d'adresser des questions relatives à des changements climatique à une échelle régionale et au changement climatique actuel et futur.

### Objectifs

Les étudiants doivent avoir acquis à l'issue du graduate programme :

- 1) des connaissances générales sur le fonctionnement du système climatique, sur un langage de programmation couramment utilisé en modélisation climatique, et sur le fonctionnement des modèles climatiques et la hiérarchie de modèles existants.
- 2) des compétences dans l'utilisation de modèles climatiques et dans l'analyse des simulations qu'ils génèrent pour répondre à un questionnement scientifique précis

### Public visé

Le graduate programme est ouvert aux étudiants de Master 1 ayant des bases en informatique, en géographie ou en sciences de la terre. Les étudiants des masters SP2G, CClimat et BD-IA en particulier sont ciblés s'agissant des formations de l'Université Bourgogne Europe. Le graduate programme est également ouvert aux étudiants suivant des masters équivalents dans les universités de l'Alliance Européenne FORTHM et aux doctorants des écoles doctorales E2S et SPIM. L'objectif est de former entre 20 et 30 étudiants par session. Pour la première année de mise en place (2024- 2025), une capacité d'accueil de 21 étudiants est fixée, qui pourra être augmentée la seconde année de mise en place du programme

### Modalités pédagogiques

L'intégralité des enseignements du graduate programme sont prévus en présentiel et comportent des enseignements sous forme de CM, CI, et TP. Les CI et les CM visent à donner des notions de base aux étudiants sur des langages de programmation usuels, sur les différentes composantes du système climatique et la façon dont elles sont représentées dans la hiérarchie de modèles climatiques existante, ainsi que sur les données climatiques et paléoclimatiques et la façon dont elles peuvent être utilisées dans le cadre d'une approche impliquant de la modélisation climatique.

Lors des TP, une partie des enseignements est envisagée sous forme d'exercices pour permettre aux étudiants de façon individuelle de se familiariser avec l'utilisation des modèles climatiques choisis. Une autre partie des enseignements est envisagée sous forme de travail de groupe (par groupe de 3 étudiants) encadré par deux enseignants, un par groupe TP, autour de questions scientifiques que les étudiants auront à adresser en mode projet, allant du choix des simulations à réaliser ou des sets de données à utiliser à l'analyse des sorties des modèles et à la présentation de leurs résultats et conclusions relatives à la question scientifique posée au départ

### Modalités de certification

Les connaissances et compétences acquises seront évaluées à travers :

- 1) le rendu individuel d'un travail écrit à l'issue du jour 3 présentant l'analyse de simulations réalisées à l'aide du modèle de système terre (module « Climate modeling : diving into deep time with an earth-system model »), qui sera noté /20.
- 2) La présentation orale s'appuyant sur un support visuel de l'analyse de simulations permettant de répondre à une question scientifique donnée dans le cadre du module « Using CMIP6 simulations to predict climate change », qui sera noté /20.

Ces travaux nécessitent pour leur réalisation de mobiliser les connaissances acquises dans les modules suivis le premier jour « Climate system, climatic and paleoclimatic data » et « Introduction to programming », ainsi que les compétences acquises dans les deux autres modules.

### Calendrier

Ce graduate programme est organisé sous la forme d'une école d'été d'une semaine à la fin de l'année de Master 1, du 22 au 26 juin 2026 inclus.

### Lieu

Salles A108 et A104 bâtiment Mirande, aile A de Mathématiques, campus de Dijon.

### Modalités de candidatures et d'inscription

Les candidatures seront ouvertes du 1<sup>er</sup> septembre 2025 au 15 novembre 2025 sur la plate-forme eCandidat. section « UFR – SVTE ». Les candidatures se composent d'un CV et lettre de motivation. La sélection des étudiants retenus, des étudiants des masters de l'UBE comme des doctorants et des étudiants des masters des universités de l'Alliance FORTHEM, sera faite par un comité réunissant les responsables des Masters BD-IA, CClimat, SP2G et la coordinatrice du graduate programme.

### Pour tout contact

Emmanuelle PUCEAT  
Professeure des universités  
UFR SVTE – UMR 6282 Biogéosciences  
6 Bd. Gabriel 21000 Dijon  
Tel. 06-11-24-15-81  
Email : [emmanuelle.puceat@u-bourgogne.fr](mailto:emmanuelle.puceat@u-bourgogne.fr)