

# PHQ671 : Physique du climat

## Cible(s) de formation:

Comprendre les fondements physiques et mathématiques de la modélisation climatique. Développer des modèles simples pour estimer le forçage radiatif et le potentiel de réchauffement global de plusieurs gaz à effet de serre. Explorer les interactions des composantes du système climatique. Analyser les forces et les limites des modèles climatiques pour évaluer l'impact des activités humaines sur le climat.

## Contenu:

Fondements de la climatologie. Historique et caractéristiques des modèles climatologiques. Transfert radiatif dans l'atmosphère et forçage radiatif. Potentiels de réchauffement global des principaux gaz à effet de serre. Phénomènes de transports dans le système climatique. Rôle des modèles dans les politiques climatiques et les accords internationaux.

**Charge de travail:** 3-1-5 (3 crédits)

**Préalable(s):** MAT193, MAT298, PHQ114, PHQ201, PHQ202 ou PHQ203

## Plan cadre

1. Fondements de la climatologie (4 heures)
  - Définition et objectifs des modèles climatiques. Historique du développement des modèles climatiques.
  - Présentation des cinq composantes principales du système climatique : atmosphère, hydrosphère, cryosphère, surface terrestre, biosphère.
  - Équilibre radiatif global et bilan énergétique de la Terre. Notions de forçage radiatif et effet de serre. Les principaux gaz à effet de serre et l'évolution de leur concentration depuis l'ère préindustrielle. Données et estimations du GIEC.
2. Hiérarchie des modèles climatiques (2 heures)
  - Modèles zéro-dimensionnels.
  - Circulation générale de l'atmosphère et des océans.
  - Limitations et choix de la complexité des modèles.
3. Transfert radiatif dans l'atmosphère (8 heures)
  - Grandeurs photométriques fondamentales (luminance, émittance). Le rayonnement du corps noir. Équation de transfert du rayonnement en géométrie plan-parallèle. Distribution verticale des températures et des gaz dans l'atmosphère.
  - Construction de modèles à couches atmosphériques et étude des propriétés optiques des gaz en fonction de l'altitude. Estimation d'un spectre de flux sortant.
4. Forçage radiatif et réchauffement climatique (4 heures)
  - Modèles simplifiés de forçage radiatif pour  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  et  $\text{N}_2\text{O}$ . Facteurs de sensibilité climatique.
  - Utilisation de données spectrales réelles pour estimer le forçage radiatif. Validation de modèles simplifiés avec des outils logiciels comme HITRAN/SPECTRALCALC.
  - Comparaison des résultats avec les estimations du GIEC.
5. Potentiel de réchauffement global (4 heures)
  - Définition et importance du potentiel de réchauffement global (PRG) d'un gaz à effet de serre.
  - Impacts climatiques de la réduction des concentrations de  $\text{CH}_4$  et  $\text{N}_2\text{O}$ . Études de rétroactions : albédo glace-neige, vapeur d'eau, nuages. Couplages entre les composantes climatiques. Le cycle global du  $\text{CO}_2$  entre l'atmosphère et l'océan. Modèles compartimentaux.
  - Implications des PRG dans les politiques climatiques internationales.

6. Phénomènes de transports dans le système climatique (8 heures)
  - Introduction à la mécanique des fluides : équations de conservation de la masse, de l'impulsion et de l'énergie. Équations de diffusion et d'advection-diffusion. Notions de thermodynamique.
  - Dynamique atmosphérique : circulations zonale et méridienne.
  - Dynamique océanique : gyres, circulation thermohaline, ondes de Kelvin et de Rossby, ondes de Poincaré.
7. Résolution numérique appliquée (6 heures)
  - Discrétisation des équations différentielles (Euler, Runge-Kutta, différences finies).
  - Stabilité numérique et condition de Courant-Friedrichs-Lewy.
  - Applications aux équations de diffusion et d'advection-diffusion.
8. Problèmes climatiques actuels (2 heures)
  - Réchauffement global.
  - Diminution de la couverture glaciaire continentale et montée du niveau des mers.
  - Modélisation des événements extrêmes : El Niño, vagues de chaleur.
9. Perspectives et conclusions (2 heures)
  - Limites actuelles des modèles climatiques.
  - Développements futurs : intégration des interactions biosphère-climat, meilleure résolution spatiale.
  - Rôle des modèles dans les politiques climatiques et les accords internationaux.