« Sciences du changement climatique » à Télécom Paris

Philippe Ciblat

Télécom Paris, Institut Polytechnique de Paris

Objectifs pédagogiques

42 heures en S2 de la 1A

1. Fournir des connaissances scientifiques brutes
   - ↪ quelques résultats mathématiques considérés comme cruciaux
   - ↪ chiffres précis permettant de naviguer avec aisance
   - ↪ taxonomie de phénomènes sociétaux
2. Apporter des compétences méthodologiques
   - ↪ modélisation mathématique
   - ↪ vision systémique
3. Induire une réflexion personnelle sur leur parcours d'ingénieur

Evaluation

- 3 QCMs répartis durant le cours (1)
- Analyse de documents sur table (1 et 2)

Positionnement du corps enseignant

- Neutralité : ne pas influencer un processus ou un débat
  - ↪ choix des connaissances/technologies enseignées
  - ↪ choix des découpages/modèles/définitions/approches

- Impartialité : tenir les différentes parties ou arguments à juste ou égale distance
  - ↪ relativisme des opinions en dehors de faits bien documentés

- **Objectivité :** rester aux faits tels qu'ils sont
  - ↪ *restituer les connaissances-clé sans les déformer, esquisser les diverses implications des décisions possibles, construire une connaissance « située » incluant pluralisme des perspectives scientifiques et différents types de savoir*

Organisation du cours

1. Systèmes dynamiques, climat et énergie 18h
2. Numérique et environnement 4h30
3. Systèmes économiques et environnement 9h
4. Leviers d'action pour la transformation 6h

- Examen ..... 1h30 révision + 3h

Partie 1 : Systèmes dynamiques, climat et énergie

1. Système-Terre 7h30
   - Systèmes dynamiques à boucle de rétroaction
   - Notion de modélisation mathématique (cycles C/N/P)
   - Quelques métriques d'évaluation
   - *3 TPs : Proie-Prédateur, Circulation thermohaline, World3*

2. Climat : physique, passé et futur 6h
   - Différents effets modifiant le climat (rayonnement, albédo, etc)
   - Paléoclimatologie
   - Evolution du climat dans le futur
   - *2 TPs : Effet de serre, Séries temporelles climatiques*

3. Energie et décarbonation 4h30
   - Unités d'énergie, mix énergétique
   - Rendement, facteur de charge, retour sur investissement (ACV)
   - Vision systémique de solutions techniques de décarbonation
   - *1 TP : Egalité de Kaya*

Partie 2 : Numérique et environnement

- Bilan global : réseaux de télécoms et IA
- Problématique des matières premières
- Effet rebond
- Effet de levier : le numérique comme externalité positive
- *1 TP : ACV de l'informatique de l'Ecole*

Partie 3 : Systèmes économiques et environnement

1. Fonctionnement du système économique actuel 4h30
   - Principaux mécanismes de l'activité économique contemporaine
   - Notion d'externalités négatives, verrouillage socio-technique
   - *1 TP : Jeu sérieux sur la COP*

2. Théories de la transition environnementale 1h30
   - Capitalisme vert, Green New Deal, Décroissance

3. Histoire politique environnementale 3h
   - Construction socio-politique des problèmes environnementaux
   - Système institutionnel de protection de l'environnement

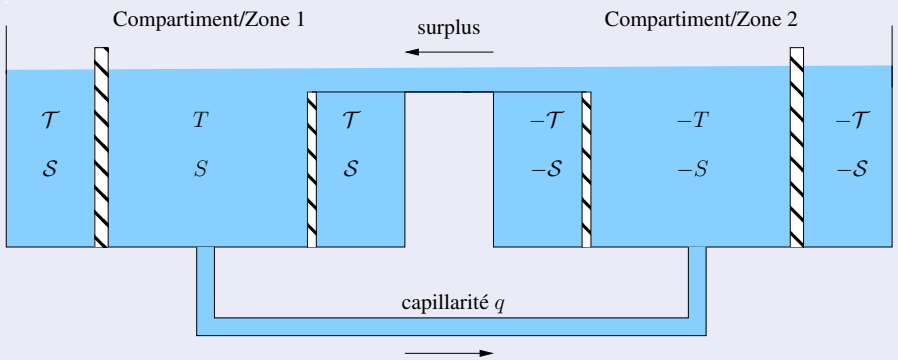
Partie 4 : Leviers d'action pour la transformation

1. Usagers/consommateurs 3h
   - Biais cognitif et quelques concepts psychologiques
   - Place de la consommation dans la transition
   - Etat des lieux de la consommation verte
   - Théorie des changements de comportement

2. Ingénieurs/salariés 3h
   - Démarche RSE
   - Transformation du statut des organisations et entreprises
   - *1 TP : Economie circulaire*

Exemple de travaux pratiques : circulation thermohaline

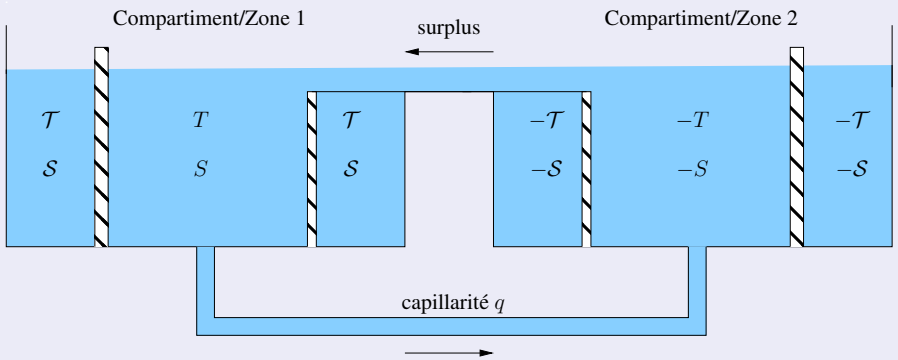
Modèle de Strommel



$$\begin{cases} x &= \text{salinité} \\ y &= \text{température} \\ \dot{x} &= \delta(1-x) - |Rx - y|x \\ \dot{y} &= (1-y) - |Rx - y|y \end{cases}$$

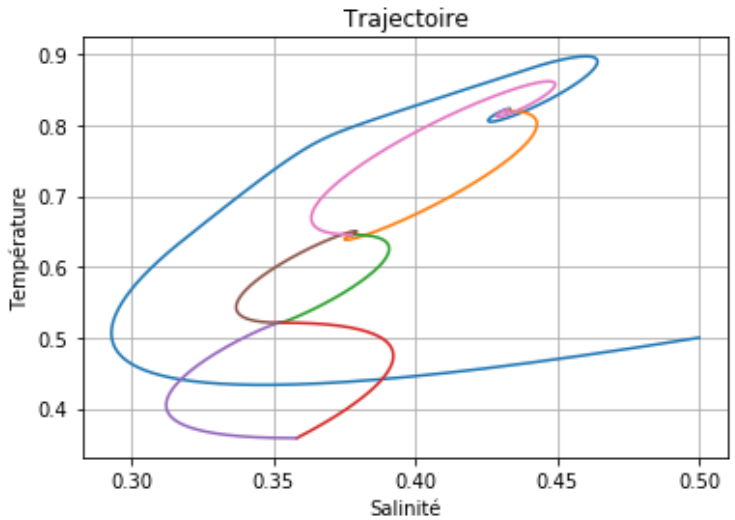
Exemple de travaux pratiques : circulation thermohaline

Modèle de Strommel



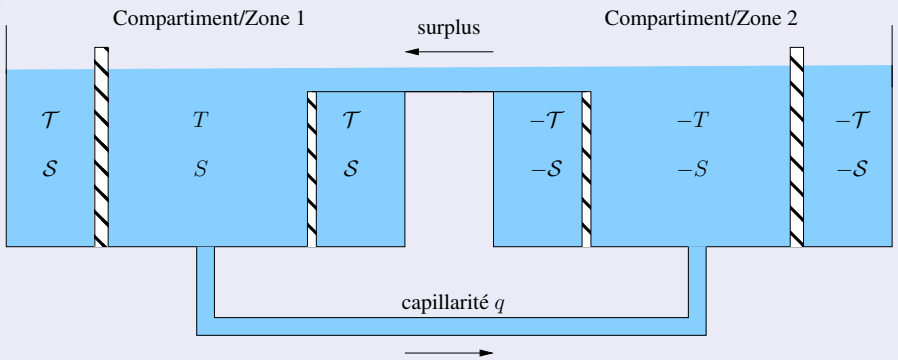
$$\begin{cases} x &= \text{salinité} \\ y &= \text{température} \\ \dot{x} &= \delta(1-x) - |Rx - y|x \\ \dot{y} &= (1-y) - |Rx - y|y \end{cases}$$

$$\boldsymbol{\delta} = [1/6, 1/3, 2/3, 1, 2/3, 1/3, 1/6]$$



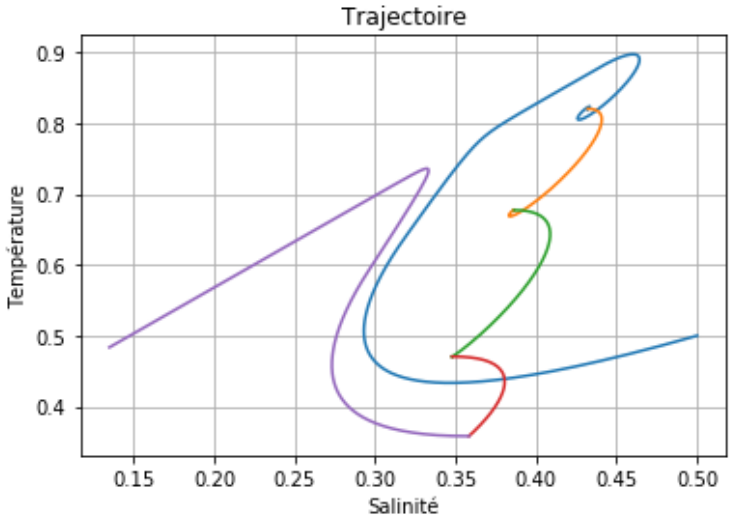
Exemple de travaux pratiques : circulation thermohaline

Modèle de Strommel



$$\begin{cases} x &= \text{salinité} \\ y &= \text{température} \\ \dot{x} &= \delta(1-x) - |Rx - y|x \\ \dot{y} &= (1-y) - |Rx - y|y \end{cases}$$

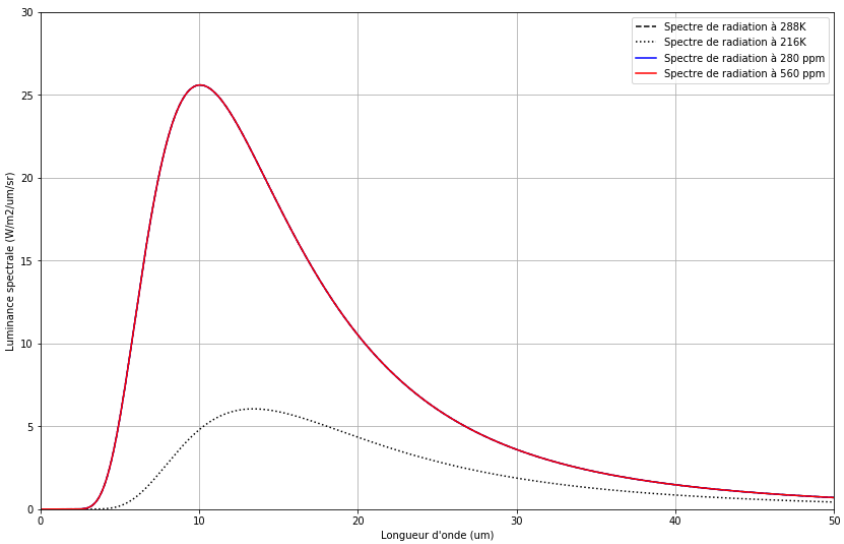
$$\boldsymbol{\delta} = [1/6, 0.3, 0.6, 1, 1/6]$$



Exemple de travaux pratiques : effet de serre atmosphérique

Modèle de Dufresne

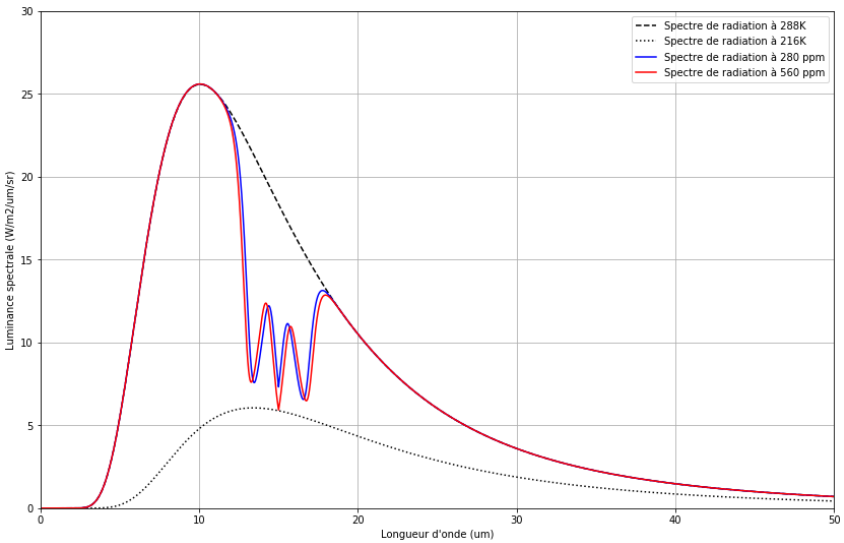
- loi de rayonnement de Planck
- principe d'émission/absorption de Kirchhoff
- gradient de température fondamental

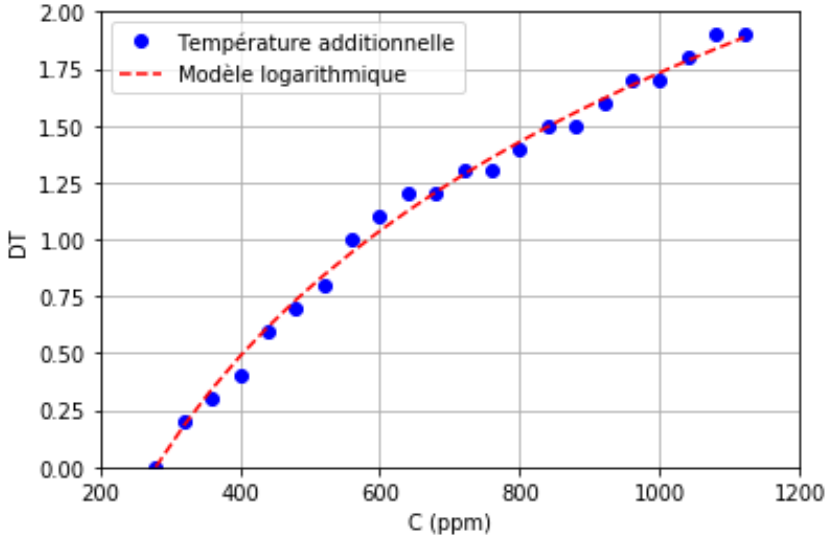


Exemple de travaux pratiques : effet de serre atmosphérique

Modèle de Dufresne

- loi de rayonnement de Planck
- principe d'émission/absorption de Kirchhoff
- gradient de température fondamental

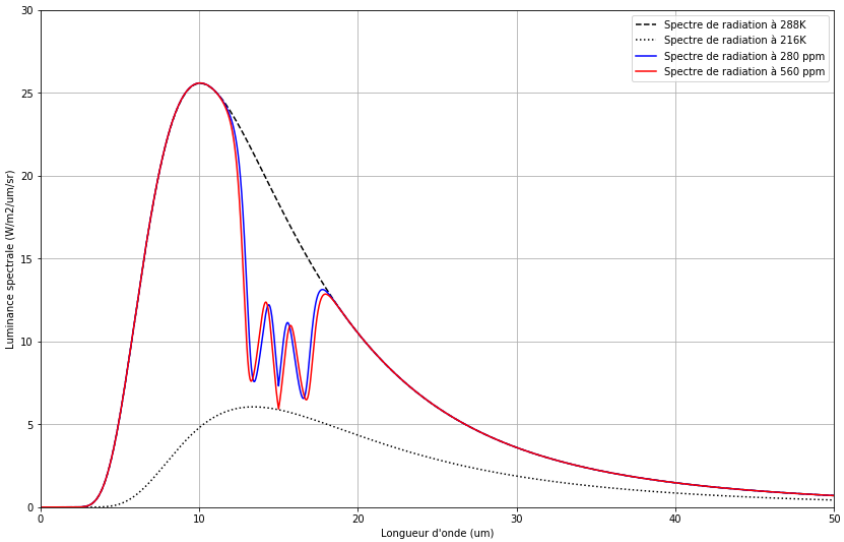


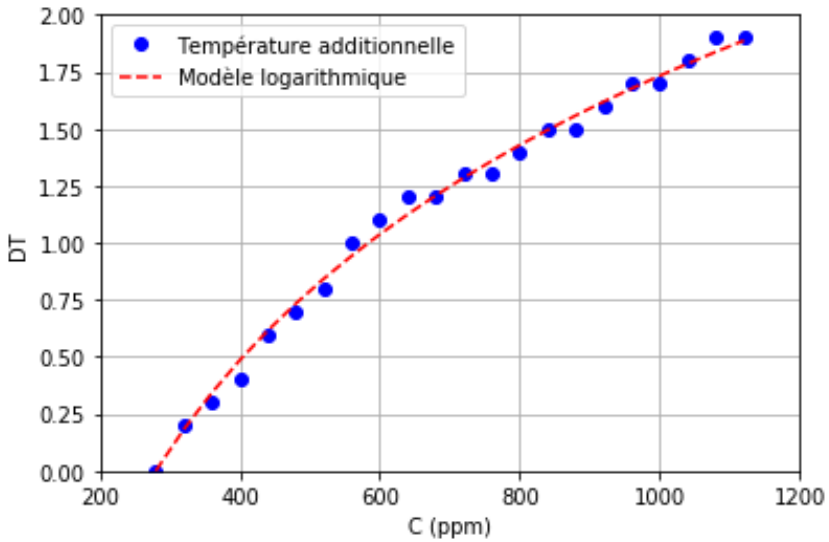


Exemple de travaux pratiques : effet de serre atmosphérique

Modèle de Dufresne

- loi de rayonnement de Planck
- principe d'émission/absorption de Kirchhoff
- gradient de température fondamental





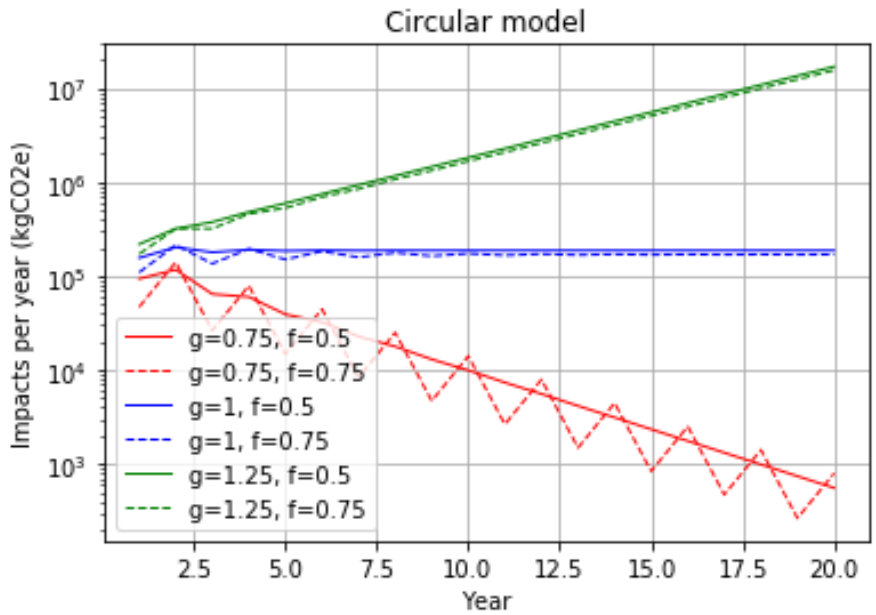
$$T - T_0 \approx 3 \log_{10}(C/C_0)$$

Exemple de travaux pratiques : économie circulaire

Modèle *ad hoc*

- loi de croissance g de la production totale
- proportion fixe f recyclée d'une année sur l'autre
- formulation par machine à état
  - ↪ état du système : $\mathbf{X}(n) = [Q_N(n), Q_C(n)]^{\mathrm{T}}$
  - ↪ sortie du système : $y(n) = \mathbf{c}^{\mathrm{T}}\mathbf{X}(n)$

$$\mathbf{X}(n+1) = \begin{bmatrix} g-f & g \\ f & 0 \end{bmatrix} \mathbf{X}(n)$$



Exemple d'examen

Question 1 : Nuages et géo-ingénierie associée. ... Donner les restes des différentes conséquences néfastes selon la taxonomie d'incertitude vue en cours ... La baisse de température annoncée par cette technique est-elle du bon ordre de grandeur ? ... Quels sont les problèmes géopolitiques induits par cette technique ?

Question 2 : Puits de carbone terrestres. ... Faire un schéma des différents phénomènes mis en jeu en incluant les boucles de rétro-action les reliant ... Intuiter une équation raisonnable reliant la température et la concentration de CO_2 à la capacité d'absorption des plantes.

Question 3 : Réalités et mirages du CCS. ... A quoi pourrait-on comparer les stations de pompage de CO_2 si l'eau jouait le rôle de l'atmosphère : en quoi la comparaison obtenue a ces limites ? ... Est-ce que les chiffres sur le coût énergétique de la capture de CO_2 directement dans l'air sont cohérents entre eux ?

Retour des étudiants

- Quelques élèves très intéressés
  - ↪ le cours est d'une grande richesse et profondément inspirant
- Beaucoup d'élèves ont peu d'entrain voire du rejet
  - ↪ les articles de l'examen ne sont pas scientifiques
  - ↪ une difficulté à savoir ce qu'il faut connaître
  - ↪ le spectre est trop large
  - ↪ on n'est pas venu à Télécom pour cela mais pour de l'informatique

Au-delà du climat, le cours apporte

- une manière de réfléchir (vision holistique)
- une manière de manipuler les données (cohérence des chiffres)
- une manière de modéliser (nature des approximations)
- une manière de cataloguer (taxonomie des politiques)