

Sujets de projet

Développer un modèle numérique pédagogique de trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre à long terme

Sujet 1

L'objectif de ce projet est de développer un modèle numérique permettant de construire des trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre à différentes échelles géographiques et désagrégation sectorielles.

Ce modèle, développé en Python, mobilisera une base de données historiques d'émissions de GES qu'il conviendra de collecter, nettoyer et analyser.

Il devra ensuite projeter à plus long terme des trajectoires reflétant l'impact de différentes mesures d'atténuation données par l'utilisateur (solutions technologiques et politiques de décarbonation).

EnergyLand - Développer un simulateur de système énergétique

Sujet 2

L'objectif de ce projet est de développer un modèle de simulation du système énergétique simplifié d'un pays (ou d'une ville), de le faire évoluer en fonction de différents leviers (par exemple évolution des besoins, disponibilité des ressources, solutions décarbonées) et d'en présenter les impacts (par exemple : mix énergétique, émissions de gaz à effet de serre, déchets, consommation en eau, biodiversité, etc.).

Les interactions devront être explicitées et permettre la compréhension du fonctionnement du modèle (qui se veut pédagogique et ludique), un tableau de bord pourra être développé afin de faciliter l'utilisation du modèle et la visualisation des résultats.

Programmation linéaire pour la transition bas-carbone des matériaux de construction

Sujet 3

Le choix des matériaux de construction joue un rôle critique dans la décarbonation du secteur du bâtiment. Le ciment et l'acier, piliers traditionnels, sont fortement émetteurs de CO₂ lors de leur production, tandis que les métaux biosourcés comme le bois lamellé-croisé (CLT) sont neutre en carbone et permettent de le stocker, mais introduisent de nouvelles contraintes liées à l'usage des terres et aux capacités de production.

La planificatrice ou le planificateur doit ainsi optimiser sa stratégie de recours aux différents systèmes structurels (béton, acier, CLT), avec pour objectif de minimiser les coûts tout en respectant un objectif climatique et des contraintes de ressource en bois et forêt, notamment la politique internationale de biodiversité dite “30x30” de protection de 30% des terres dès 2030.

Le but de ce projet est de construire et d'implémenter un modèle mathématique simplifié, basé sur la programmation linéaire multi période (2025-2050), permettant de rendre compte de ces arbitrages. Une attention particulière sera portée sur l'identification et à la formulation rigoureuse des contraintes du problème. Les consommations de ciment, d'acier et de CLT découlent d'une matrice d'intensités par m² construit, et le modèle inclut coûts, émissions, prix du carbone et contraintes de surfaces disponibles.

Les outils mathématiques mobilisés sont liés à la modélisation par optimisation linéaire, à l'analyse de sensibilité et à l'interpolation économique des résultats (valeurs duales).

Un modèle de base sera fourni pour l'implémentation technique, l'accent étant mis sur la compréhension de la formulation, l'adaptation des contraintes et l'analyse critique des résultats.

L'implémentation se fera en Python (PuLP/Pyomo) ou en Matlab, à l'aide d'un solveur libre (CBC, HiGHS ou GLPK).

Tester des stratégies climatiques par simulation

Sujet 4

Ce projet aborde le changement climatique à travers l'apprentissage de la modélisation intégrée (qui représente l'évolution des systèmes énergétiques, naturels et climatiques) et la discussion de la plausibilité des transitions technologiques et écologiques et des trajectoires de températures. Il encourage la réflexion autour des trajectoires optimales permettant de réduire les émissions mondiales et d'évaluer la faisabilité de la lutte contre le changement climatique, en maintenant la hausse des températures en dessous de $2^{\circ}C$ ou $1.5^{\circ}C$ conformément à l'accord de Paris.

Dans ce projet, nous utiliserons un modèle de dynamique des systèmes (stocks/flux,rétroactions) calibré à partir de la littérature et conçu pour fonctionner en quelques secondes dans un navigateur web.

En comprenant le fonctionnement de ce modèle, vous serez en mesure de saisir les interactions entre l'énergie, les terres, le climat et les émissions, tout en discutant des leviers de politique énergétique et climatique. Cela implique une compréhension technologique, la maîtrise des dynamiques des systèmes et l'application de contraintes réelles dans ce type de modèles. Pour cela, vous devrez :

- Identifier les stocks, flux et les rétroactions (+/-)
- Comprendre la représentation des technologies et actions clés de la transition énergétique : substitution des combustibles fossiles par les énergies renouvelables, amélioration de l'efficacité, électrification des usages, rôle du stockage et de l'usage des terres et effets sur les émissions et la température.
- Relier des leviers de politique chiffrés aux mécanismes internes du modèle
- Réaliser des analyse de sensibilité et tester des interactions simples
- Expliquer les résultats sous forme : levier → variables intermédiaires → résultats
- Identifier le logiciel derrière du modèle et discuter de son rôle

Le livrable sera en forme de note principale avec figures exportées et tableaux de paramètres.

Spectacles de drones (des maths pour les systèmes mulit-agent)

Sujet 5

Ce projet de mathématiques appliquées à la simulation de spectacle de drones s'appuie sur le modèle de Cucker-Smale, utilisé pour décrire la dynamique de consensus et de formation de groupes dans des systèmes multi-agents.

Dans ce cadre, chaque drone est représenté comme une particule dont la position et la vitesse évoluent selon un système d'équations différentielles couplées, où l'interaction dépend de la distance relative aux autres drones.

L'objectif est de reproduire numériquement des chorégraphies collectives stables, en garantissant la synchronisation et l'évitement des collisions grâce à l'analyse des propriétés de convergence du modèle.

Des simulations stochastiques ou numériques permettent d'explorer la robustesse de ces formations face à des perturbations (vent, erreurs de capteurs), offrant ainsi un outil de conception et d'optimisation pour les spectacles aériens automatisés.

Pré-requis : outils et méthodes mathématiques et informatiques de Mam3 et de la curiosité mathématique.

Graph Laplacian and Applications

Sujet 6

Everybody -more or less- knows what a Laplacian operator is for real valued smooth functions, but what is a Laplacian for a discrete graph ? How is defined, to what end ?

The graph Laplacian matrix serves as a fundamental operator for analyzing the structure and dynamic of complex networks, with profound applications in spectral clustering and dimensionality reduction. This project is aimed at helping the students to be more familiar with this tool and therefore at exploring its utility in graph modelled processes such as social networks, drone swarms or biochemical systems.

Pre-requisites : Mam3 math and programming skills, curiosity.

Résolution des équations de Navier-Stokes

2D

Sujet 7

Nous nous intéressons dans ce projet à la résolution des équations qui régissent la dynamique des fluides incompressibles, les équations de Navier-Stokes. Pour rendre ce problème abordable, nous nous plaçons dans le cadre simplifié des équations bidimensionnelles (2D), avec des conditions aux limites périodiques.

Ce modèle nous permettra néanmoins de simuler quelques écoulements intéressants :

- l'instabilité de Kelvin-Helmholtz d'une couche de mélange plane,

Sur le plan numérique, plusieurs algorithmes seront abordés :

- la discrétisation des équations par différences finies;
- les schémas d'intégration en temps d'Adams-Bashfort et Crank-Nicolson;
- la résolution d'une équation de Helmholtz par une méthode de factorisation approximative (ou ADI);
- la résolution d'un laplacian en utilisant une transformée de Fourier rapide (FFT);
- la résolution d'un système tridiagonal périodique par la méthode de Thomas.

Problème de Riemann et discontinuités

Sujet 8 Etude du tube à choc

Le tube à choc est un dispositif fermé contenant un gaz interte, divisé en deux parties par un diaphragme qui maintient des conditions thermodynamiques différentes (pression, masse volumique, température). La rupture du diaphragme génère une onde de choc qui se propage dans la section à base pression.

Ce système, inventé par Paul Vieille en 1899 pour l'étude des déflagrations est utilisé pour simuler des écoulements autour de projectiles et de véhicules supersoniques.

Le tube moteur, à gauche, contient le gaz à haute pression ($p_L, \rho_L, T_L, U_L = 0$), tandis que la droite est le tube de travail, avec une pression plus faible ($p_R < p_L$).

Lors de la rupture du diaphragme, une onde de détente et une onde de choc se forment, séparées par une ligne de glissement qui se déplace à vitesse constante. Ces phénomènes provoquent des discontinuités dans les paramètres comme la pression, la masse volumique, la température et la vitesse du gaz.

L'objectif de ce projet est donc de simuler cet écoulement.

Développement d'un benchmark en commande optimale

Sujet 9

Ce projet vise à créer un système de benchmark complet pour évaluer les performances du package Julia OptimalControl.jl en utilisant la collection de problèmes standardisés du repo OptimalControlProblems.jl.

Objectifs principaux

- Implémenter une suite de tests automatisée couvrant différentes catégories de problèmes de contrôle optimal (linéaires, non-linéaires, avec contraintes, temps fixe/libre)
- Développer des métriques de performance incluant temps de calcul, précision des solutions, taux de convergence et robustesse numérique
- Créer un framework de comparaison permettant d'évaluer différents solveurs et méthodes de discréétisation
- Générer des rapports de benchmark automatiques avec visualisations des résultats

Livrables attendus

- Module Julia intégrant les problèmes d'OptimalControlProblems.jl
- Infrastructure de tests paramétriques avec différentes configurations
- Dashboard de visualisation des performances comparatives
- Documentation technique et guide d'utilisation

Compétences requises

méthodes numériques, visualisation de données

Ce projet contribuera significativement à l'écosystème Julia en fournissant un outil d'évaluation standardisé pour la communauté du contrôle optimal, facilitant le développement et la validation de nouveaux algorithmes. Ce sera l'occasion de découvrir le langage Julia et d'utiliser intensivement les outils de travail collaboratifs type git et les mécanismes d'intégration continue (CI) associés.

GPU

Sujet 10

La société DOREA, basée à Sophia Antipolis, est spécialisée dans le développement de logiciels de simulation numérique appliquées au domaine du spatial. Dans ce cadre, elle développe des outils pour la modélisation et l'analyse des flux thermiques sur satellites et autres systèmes complexes. Un prototype de calcul déterministe des flux solaires a déjà été initié, reposant sur l'utilisation de GPU afin d'accélérer les temps de simulation. Toutefois, ce prototype nécessite aujourd'hui d'être repris, consolidé et amélioré, afin d'être intégré dans un cadre industriel robuste et performant.

Objectif du projet

L'objectif principal est de reprendre et d'améliorer le prototype existant de calculs déterministes des flux solaires sur GPU, en particulier :

- Analyser et comprendre l'architecture actuelle du prototype
- Refaire un état de l'art sur les méthodes déterministes de calcul de flux radiatifs et leur adaptation aux architectures parallèles (GPU, CUDA, OpenCL, etc)
- Implémenter et tester des optimisations numériques et algorithmiques adaptées au calcul massivement parallèle
- Comparer les performances obtenues aux approches existantes (CPU vs GPU, déterministes vs Monte Carlo)
- Proposer une version améliorée, robuste et maintenable, intégrable dans les outils de simulation thermique de l'entreprise.

RK4

Sujet 11

La société DOREA, basée à Sophia Antipolis, est spécialisée dans le développement de logiciels de simulation numérique appliquées au domaine du spatial. Dans ce cadre, elle développe et maintient un solveur thermique écrit en Fortran, utilisé pour la simulation des comportements thermiques de satellites et d'autres systèmes complexes.

Actuellement, le solveur repose en partie sur un schéma Runge-Kutta d'ordre 4 (RK4) classique. Si ce schéma est robuste et précis, il présente certaines limites en termes de performances et d'optimisation mémoire, particulièrement sur des modèles de grande taille ou fortement couplés.

Objectif du projet

L'objectif principal est d'étudier et d'implémenter des méthodes numériques avancées permettant d'améliorer l'efficacité du solveur thermique, en particulier :

- Explorer l'état de l'art des méthodes Runge-Kutta explicites à faible consommation mémoire (LowStorage Runge-Kutta Methods)
- Evaluer l'intérêt des méthodes particulières de type Parallel Fourth-Order Runge-Kutta
- Comparer ces approches au schéma RK4 existant en termes de stabilité, précision, temps de calcul et consommation mémoire
- Proposer une intégration optimale dans le code Fortran existant, en tenant compte des contraintes industrielles (robustesse, maintenance, compatibilité avec les cas d'étude de l'entreprise)

Control of cell tissue shape evolution via modulator cells to achieve a target shape

Sujet 12

The study of the evolution of forms, or morphogenesis, is fundamental in biology to understand how the complexity of organisms and tissue patterns emerges within cell populations. Nature displays an incredible diversity of forms governed by the dynamic interactions within these cell populations. Processes like proliferation, migration, and differentiation of cells are often controlled by signaling molecules such as growth factors. Deciphering these rules sheds light on the translation of the genome into biological architecture and on the principles of self-organization at the population level. Moreover, morphogenesis at the scale of cell populations is crucial for health, disruptions can lead to malformations and are often associated with diseases like cancer, where the growth and organization is dysregulated. Understanding morphogenesis at the population level is therefore essential for medicine and evolutionary biology. Computational approaches, such as our simulation, are powerful tools for exploring these questions. Our project aims to better understand the levers of morphogenesis within populations by attempting to control it, including through Artificial Intelligence, with the goal of achieving specific forms.

Background

The code provided simulates the evolution of a population of cells on a grid. Cells can proliferate, migrate, differentiate and die according to defined rules, influencing emerging forms.

Work Expected

- Definition of Target Motive and Reward
- Implementation of modulator Cells and their Signal
- AI Agent design : choose a modulator cell parameter to control and a simple AI algorithm
- Integration of AI Control : the AI makes decisions on the modulator cells at each step (or at regular intervals) depending on the reward
- Experimentation: run simulations and observe whether the AI, via the modulator cells, succeeds in guiding the growth of the main cells towards the target shape
- Analysis : evaluated AI performance and the impact of modulator cells

- Report and presentation

Possible issues

- How can we define the interaction (signal) between the modulator cells and the main cells (range, intensity of effect)?
- What property of modulator cells with AI control? Which simple AI algorithm will be used to control modulator cells ?
- How do the presence and controlled behaviour of modulator cells influence the ability to reach the target shape ?

Skill developed

- Modeling and simulation of multi-agent systems
- Julia programming
- Design of signaling systems
- Basic of reinforcement learning or evolutionary algorithms applied to control
- Definition of objective and reward functions
- Analysis of simulation results.

Méthode MTGAUE pour l'analyse de l'activité neuronale

Sujet 13

Ce projet s'inscrit dans le domaine de la neuroscience computationnelle. Son objectif est d'améliorer la détection de patrons d'activité neuronale conjointe enregistrés simultanément à partir de plusieurs neurones.

La méthode de référence est la méthode des Unitary Events (UE) qui repose sur le comptage de coincidences. Cependant, les méthodes classiques de comptage, basées sur des intervalles de temps, peuvent perdre des informations de synchronie.

La méthode multiple shift coincidence count a corrigé cela, mais ses propriétés statistiques étaient mal comprises.

Le projet propose une nouvelle approche statistique appelé MTGAUE (Multiple Tests based on a Gaussian Approximation of the UE). Dans cette méthode, une nouvelle méthode de comptage des coincidences est introduites afin de généraliser les multiple shift coincidence counts aux processus de Poisson.

C'est sur ce nouveau comptage dont une approximation gaussienne est proposée permet alors de définir un test d'indépendance reposant sur des tests multiples, afin d'identifier les zones de l'activité neuronale qui entrent en collaboration afin de répondre à une stimulation.

L'objectif de ce projet est de coder cette méthode et de la mettre en application sur des données simulées afin de montrer la pertinence de la méthode puis sur des données réelles.

Il conviendra de comprendre les fondamentaux sur les processus de Poisson et les tests multiples.

Prédiction et sélection de variables à l'aide de l'algorithme CART et des forêts aléatoires

Sujet 14

La sélection de variables est une étape cruciale en modélisation, même avec des méthodes robustes comme les arbres CART et les forêts aléatoires.

Même si ces modèles gèrent naturellement de nombreuses variables, les bénéfices de la sélection sont multiples :

- cela peut éviter dans les arbres CART de nuire à la capacité de généralisation sur de nouvelles données
- cela permet de réduire le risque de surapprentissage
- accélération de la phase d'entraînement des modèles
- le modèle finale est plus facile d'utilisation et d'interprétation

L'objectif de ce projet sera de revenir sur les modèles CART et RandomForest et sur les méthodes de sélection de variables qui leur sont propres avec une phase de programmation de ces dernières et une comparaison si possible avec des fonctions toutes faites disponibles dans le logiciel R.

Building a quantum processor emulator

Sujet 15

Quantum computation has a promise to greatly improve various computational tasks in a variety of fields. However, efficient quantum computer are still not available. When improvements to this technology are proposed, one usually starts with a classical emulator of a quantum computer. The goal of this project is to build such an emulator for a quantum computer consisting of 0-10 connected noisy transmon qubits and try the dynamical decoupling strategy for their control. The programming part of the project is relatively simple. The main focus will be on quantum control strategies to produce gates with higher fidelity.

Latitude

Sujet 16

Un groupe peut poursuivre le travail initié lors de la semaine opendata.

Latitude

Sujet 17

Un groupe peut poursuivre le travail initié lors de la semaine opendata.