

- La TDJ est un outil mathématique d'aide à la décision
 - Maths introduites au XX^e siècle sur des résultats profonds et difficiles
 - Une branche bien vivante encore : ex. des jeux à champ moyen pour l'étude de foules (éco ou sociales)
- Exemples d'applications :
 - Économie, Finance
 - Enchères, systèmes de votes, de matching (Google ads...)
- Objectifs du cours
 - Valeur d'un jeu à somme nulle, équilibres de Nash d'un jeu,...
 - Parcourir un grand nombre d'exemples pour développer une culture "jeux"
- Pour qui ?
 - Un cours d'ouverture par rapport au PA, qui repose sur des maths difficiles et intéressantes
 - A des résonances avec le cours de RO

MAP 551 : Systèmes dynamiques pour la modélisation et la simulation des “milieux réactifs” multi-échelles

Systèmes Dynamiques

$$d_t U = F(t, U, \lambda) \quad t \in \mathbb{R} \quad \lambda \in \mathbb{R}^p$$

$$U(t = 0) = U_0 \quad U(t) \in \mathbb{R}^n$$

- **Modélisation mathématique**
- **Analyse mathématique**
- **Méthodes numériques et leur analyse**
Approximation numérique précise et efficace

Marc Massot CMAP - marc.massot@polytechnique.edu



Laurent Séries

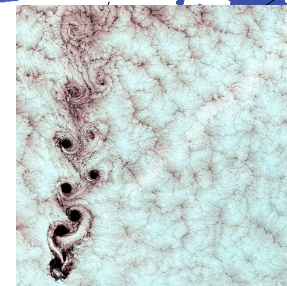
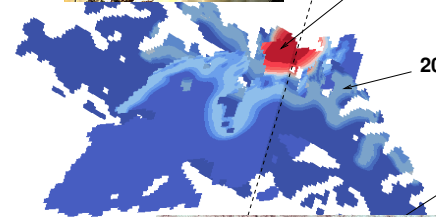
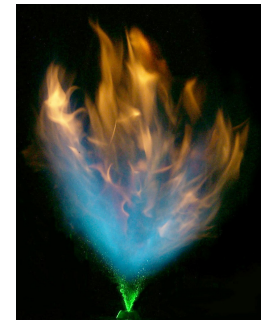


Maxime Breden



Arthur Loison

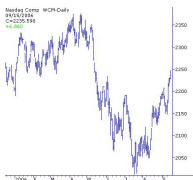
Milieux Réactifs



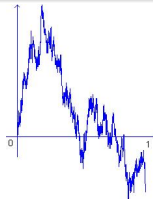
Liens NASA, SpaceX, Stanford, ONERA, CNES, VKI

- PC avec des Notebooks
- Comptes-Rendus
- Projet final et soutenance





Evolution du NASDAQ



Marche aléatoire **changée d'échelle**

$$M_t^n := \frac{1}{\sqrt{n}} S_{\lfloor nt \rfloor}, \quad S_n := \sum_{k=1}^n X_k, \quad X_k = d \frac{1}{2} (\delta_{\{-1\}} + \delta_{\{1\}})$$

Mouvement Brownien, intégrale stochastique, calcul différentiel

⇒ Lien Probabilité et équations aux dérivées partielles

⇒ Couverture des risques, modèle de Black-Scholes

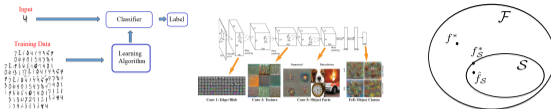
TP hebdomadaires (30% de la note finale)

2 devoirs de maison (30% de la note finale)

Travail régulier INDISPENSABLE

Suivi pour les stages en finance

MAP 553 - Foundations of Machine Learning - Goal



Goal

- Master the **statistical learning** framework and its challenges.
- Know the inner machinery of the most classical supervised and unsupervised **ML methods** to understand their strengths, limitations and connections.
- Understand some **optimization** tools used in ML as well as some **theoretical aspects** of ML.
- Not a course on practical tricks to use machine learning in a data product!

Evaluation

- A numerical lab (5 pt)
- A *kaggle* challenge (5 pt)
- A *short* exam (10 pt)

9 Lectures (Monday 8h30-10h30?)

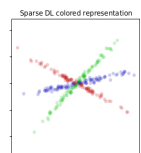
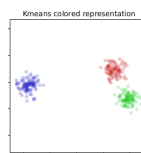
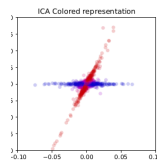
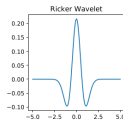
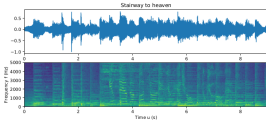
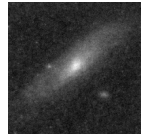
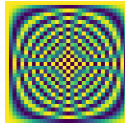
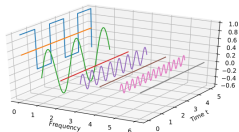
- Statistical Learning: Introduction, Setting and Risk Estimation
 - ML Methods: Probabilistic Point of View
 - ML Methods: Optimization Point of View
 - Optimization: Gradient Descent Algorithms
 - ML Methods: Neural Networks and Deep Learning
 - ML Methods: Trees and Ensemble Methods
 - Unsupervised Learning: Dimension Reduction
 - Unsupervised Learning: Clustering
 - Statistical Learning: PAC-Bayesian Approach and Complexity Theory
-
- For more information: Erwan Le Pennec



Erwan.Le-Pennec@polytechnique.edu

MAP 555 : Signal Processing from Fourier to Machine Learning

R. Flamary



1. Fourier analysis and analog filtering

Fourier Transform, convolution, analog signal processing.

2. Digital signal processing

Sampling, Fast Fourier Transform (FFT), Image processing.

3. Random signals

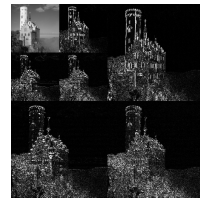
Noise stochastic processes, linear modeling and filtering.

4. Signal representation and dictionary learning

Non-stationarity, Short Time FT, wavelets, DCT, dictionary learning.

5. Signal processing with machine learning

Learning representations, generating realistic signals.



g mountain
alley from t
If a dread o
morning cam



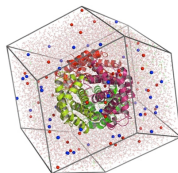
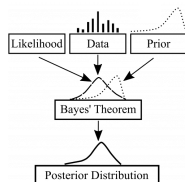
Courses + practical sessions in Python

What are Monte Carlo methods?

- Computation of integral with respect to μ on $(\mathbf{X}, \mathcal{X})$:

$$\int_{\mathbf{X}} f(x) d\mu(x) . \quad (1)$$

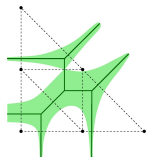
- Simulation of a target distribution π on $(\mathbf{X}, \mathcal{X})$: applications to statistics/machine learning and molecular dynamics



- Goal of the course:
 - master classical Monte Carlo methods;
 - theoretical properties of these methods
 - understand sources of errors and quantify the corresponding uncertainties on the results.

MAP 557: Recherche opérationnelle

Applis: Production de l'énergie, Transport, Optimisation des réseaux télécom, Centres d'appels, Optimisation du revenu & aussi maths



Cours: *Bases:* Polyèdres, Programmation linéaire en nombres entiers, Flots, Branch and Bound; *Outils avancés:* programmation semi-définie.

Débouchés: 4A pro ou PhD track: [Berkeley](#), [Columbia](#), [Cornell](#), [MIT](#), [Montreal](#), [TU-Berlin](#), [TU-Munchen](#), [ETH Zurich](#), France: Master Optim Paris Saclay, COCV/Math model (Paris 6), MPRO.

[Air France](#), [EDF](#), [Orange](#), [Bouygues](#), [RTE](#), [SNCF](#), [Huawei](#)... et des startups ont des groupes spécialisés en RO/Optimisation.

NB: [Projets d'approfondissement industriels ou recherche](#).

Équipe: S. Gaubert (CMAP/INRIA), X. Allamigeon (CMAP/INRIA), E. Gourdin (Orange), F. Meunier (ENPC).

MAP 575: Advanced probability topics (P1)

Instructor: [Igor Kortchemski](#) – *The course is delivered in English.*

↪ **Goal:** to provide a deep understanding of modern probability theory through the use of measure theory, and to see applications in different models.

↪ **Examples of models:** percolation, random matrices, Brownian motion.

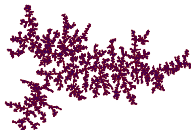
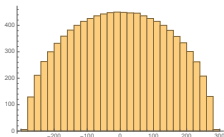
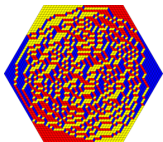


Figure: From left to right: a uniform tiling of an hexagone by rhombi, histogram of the eigenvalues of a random matrix $10^3 \times 10^3$, the Brownian tree coded by Brownian motion.

↪ **What for?** (1) forge **intuition** (2) see **nice results** (3) become familiar with concepts used in other 3A courses (4) have **solid foundations** to apply probability, in a **PhD** or in **business** (a good understanding of probability theory is essential in order to be able to orient oneself in the world of applications and to innovate there).

↪ **Evaluation:** The evaluation is based on an oral presentation of a **research or overview article** on a model.

MAP 575: Advanced probability topics (P1)

Feedback from the 20 students in 2022-2023:

Interest : overall, for you the course was (between 1 and 6 with 1 very annoying, 6 super interesting)

Average result :

1 2 3 4 5 6

Usefulness : given the offer of the courses in École polytechnique, how do you find the existence of this course (between 1 and 6 with 1 not useful at all, 6 absolutely necessary)

Average result :

1 2 3 4 5 6

Workload : the amount of work for this course was (between 1 and 6 with 1 way too heavy, 6 not at all enough)

Average result :

1 2 3 4 5 6

Global difficulty : (between 1 and 6 with 1 very trivial, 6 way too difficult)

Average result :

1 2 3 4 5 6

Other comments and remarks

really good course! Very good teaching style.

Other comments and remarks

A great course, I would recommend it!
I really liked the focus on exercises and learning by doing.

Other comments and remarks

Good class between MAP & MAT

Other comments and remarks

Thank you!

Other comments and remarks

Great course overall! Thanks for introducing us to so many novel and interesting topics

Other comments and remarks

It was cool :-)

Other comments and remarks

Good course.

Other comments and remarks

lovely course!

MAP576: Théorie de l'apprentissage (M. Lerasle et E. Scornet)

Objectifs du cours : comprendre les outils mathématiques fondamentaux permettant d'analyser des algorithmes de Machine Learning.

- ▶ **Techniques utilisées** : minimisation du risque empirique, concentration de la mesure, théorème de Stone.
- ▶ Illustration grâce aux **forêts aléatoires** et aux **méthodes pénalisées**.



Emerging Topics in Machine Learning - MAP578/588

▷ Objectif: découvrir certains des grands enjeux actuels en apprentissage

P1 – MAP 578

Collaborative & reliable learning

Aymeric Dieuleveut
El Mahdi El Mhamdi

- Distributed and decentralized optimization
- Privacy preserving learning
- Robustness
- Fault tolerance
- Alignment

P2 – MAP 588

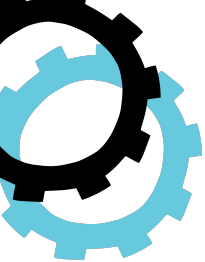
Optimal transport & Interactions with Physical Sciences

Rémi Flamary
Marylou Gabrié

- Introduction to optimal transport (OT)
- Applications of OT to machine learning
- Machine learning methods for physics
- Physics principles in machine learning

▷ Organisation du cours:

- Introductions aux concepts
- Projets en groupe: lecture, implémentation et présentation d'article



ALGORITHMES ET PRINCIPES DE CONCEPTION LOGICIELLE POUR LES MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES EN C++ MODERNE

MAP 579

OBJECTIFS

- Comprendre la structuration complexe d'un logiciel scientifique et les briques élémentaires qui le constituent
- Etre capable de le faire évoluer rapidement tout en assurant sa maintenabilité, sa portabilité et son évolutivité



LOÏC GOUARIN



JOHAN MABILLE

MATÉRIELS

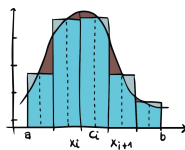
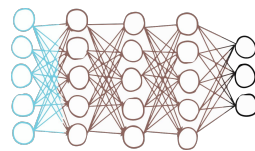
- Large panel d'algorithmes
- C++ moderne
- Notion de conception logicielle

OUTILS

- Jupyter notebooks
- VSCode

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v$$

ρ m $\frac{\partial v}{\partial t} + v \nabla v$ a $-\nabla p$ Expression $\mu \nabla^2 v$ Fréquence



POINTS FORTS

- Apprentissage par l'exemple
- Forte interactivité
- Rendre son code lisible
- Etude des performances

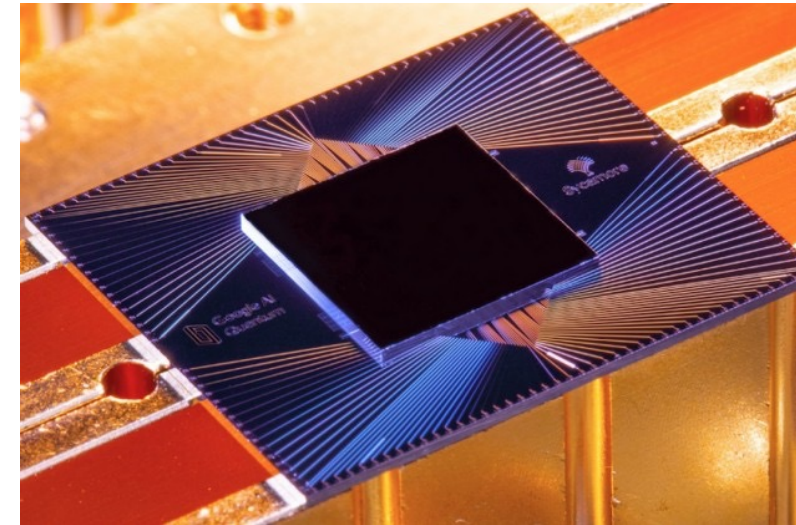


Topic: mathematics behind the recent fast progress towards realization of quantum processors?

Main actors: Academic groups (US, EU, China, Canada), private giants (e.g. Google, IBM, Amazon, Microsoft), startups (e.g. Pasqal and Alice&Bob in France)

Main features for mathematical modelling (richness and complexity):

1. **Schrödinger equation** replaces classical Newton's laws: qubits and quantum oscillators
2. **Entanglement** and **tensor product** for composite systems: model reduction and numerical methods, control and optimization, logical gates and state preparation
3. **Randomness** and **irreversibility** induced by measurements : stochastic systems, Markov chains, Martingales and their stability, quantum memory and error correction



Google's Sycamore quantum processor

MAP 562 : Optimal design of structures

Samuel Amstutz et Benjamin Bogosel

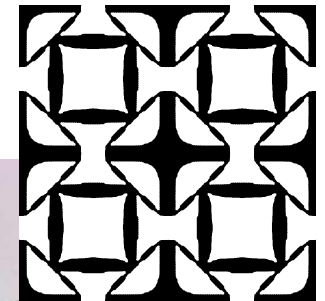
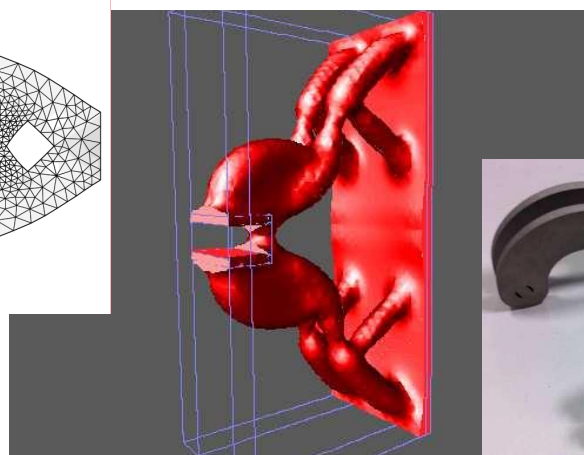
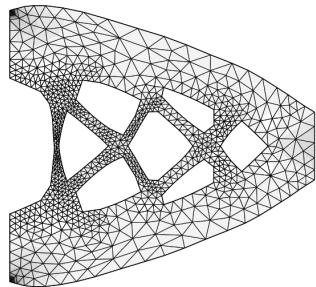
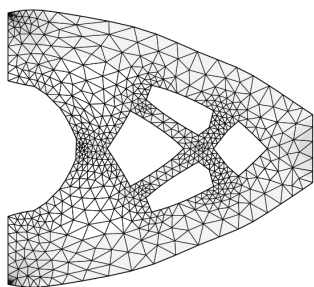
samuel.amstutz@polytechnique.edu & benjamin.bogosel@polytechnique.edu

Application des outils de modélisation mathématique, de calcul numérique et d'optimisation à la conception de structures mécaniques

Prérequis: analyse variationnelle des équations aux dérivées partielles (MAP431)

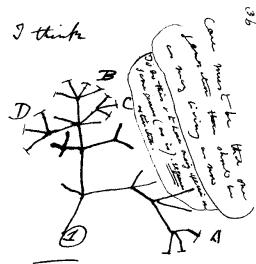
Cours/PC/TP intégrés en une seule séance les mercredis de 14h15 à 18h30

Pas d'examen final mais un contrôle continu sous forme de comptes-rendus et de scripts FreeFem++ à rendre à la suite de chaque chapitre



Cours de probabilités :

- processus markovien de sauts
- mouvement brownien et diffusions
- processus de coalescence



Then between A & B. various
 size of deletion. C & B. The
 first prediction, B & D
 rather greater distinction
 than genes would be
 formed. - binary relation

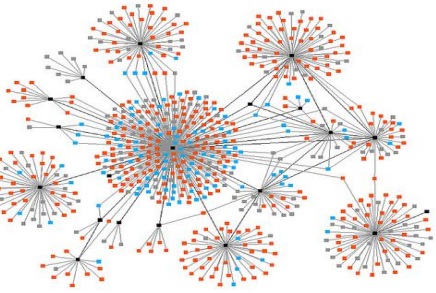
Questions :

Etude en temps long, prédiction ;
 approximation en grande
 population ; généalogies.

Notions biologiques :

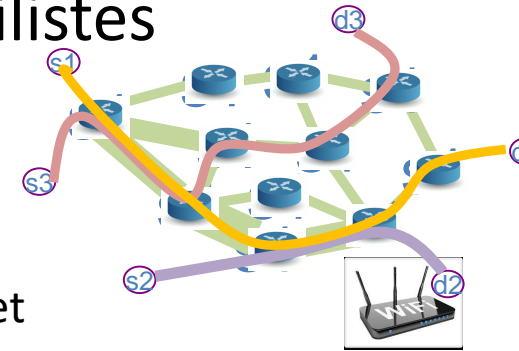
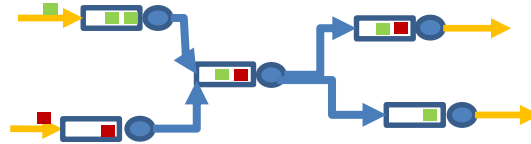
Division cellulaire, déplacement
 aléatoire, compétition, naissance
 et mort, contamination, mutation.

Réseaux sociaux et de communication: modèles et algorithmes probabilistes



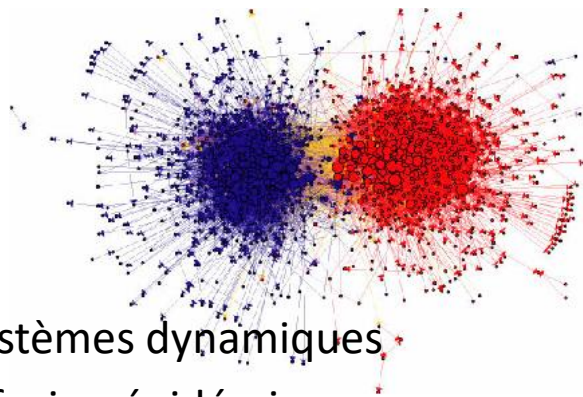
Motivations:

- Gestion des transmissions dans: réseaux sans fil, routeurs, Internet
- Propagation de rumeurs dans les réseaux sociaux et «viral marketing »
- Algorithmes épidémiques ou de « gossip » (réseaux pair-à-pair, de capteurs)
- Structure des réseaux (de petit monde, en communautés, en loi de puissance): son impact, comment l'inférer



Cadre mathématique:

- Chaînes de Markov et leur stabilité
- Optimisation convexe, stabilité de systèmes dynamiques
- Graphes aléatoires, processus de diffusion épidémique
- Algorithmes spectraux de détection de communautés
- Processus de Poisson et de Markov à temps continu, files d'attente



Objectifs et contenu du cours

- Présenter un panorama rigoureux de techniques statistiques modernes permettant de répondre à des questions fondamentales de modélisation et d'estimation se posant en pratique.
- Séries temporelles linéaires et non linéaires, statistique des événements extrêmes, dépendances en grande dimension, statistique des processus à temps continu...
- Approche quantitative de la statistique, pas uniquement packages/toolbox.
- Mémoire sur données réelles obligatoire.
- Prérequis : cours de Statistiques de 2e année.
- Préparation notamment à : M2 en Statistiques, Data Science, Finance Quantitative.

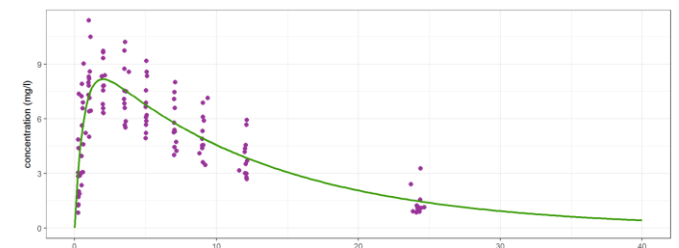
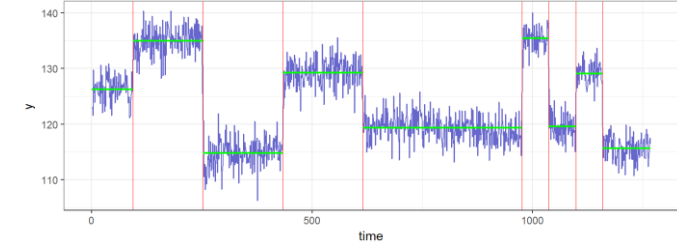
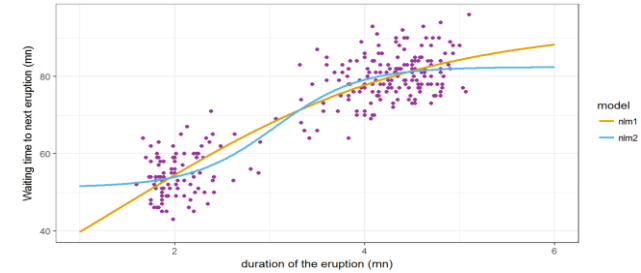
MAP566 Statistics in Action

Objectif : face à un problème pratique, apprendre à utiliser le bon outil statistique pour modéliser des données, comparer des échantillons, restaurer un signal ou une image,...

Démarche :

- Utilisation de données réelles (pharmacologie, toxicologie, génomique,...)
- Formalisation rigoureuse du problème posé
- Utilisation de R pour résoudre ce problème
 - Packages R existants
 - Implémentation d'algorithmes (segmentation, Gibbs sampler, EM, ...)

Site web : sia.webpopix.org



TRANSPORT ET DIFFUSION

MAP/MAT 567, F. GOLSE, G. RAOUL, (G. ALLAIRE)

Renseignements pratiques sur Moodle: <https://moodle.polytechnique.fr>

Modèles de transport et diffusion de particules, analyse et méthodes numériques. Applications typiques: neutronique, transfert radiatif, dynamique des populations structurées.

Pas de prérequis stricts (mais avoir suivi un cours de MAP ou MAT en 2ème année).

Fonction de répartition: $f(t, x, v)$ avec $t =$ temps, $x =$ espace, $v =$ vitesse (ou autre chose).

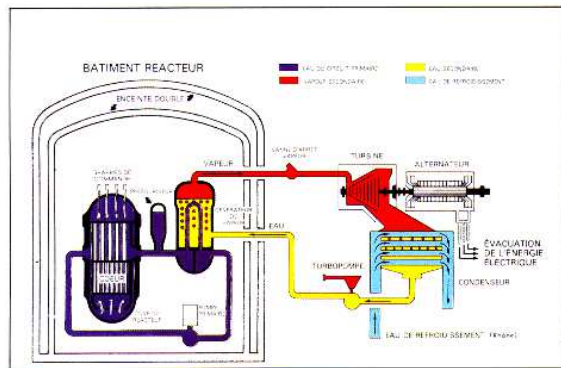
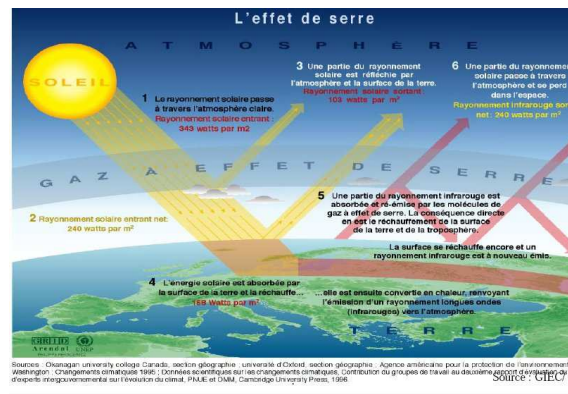
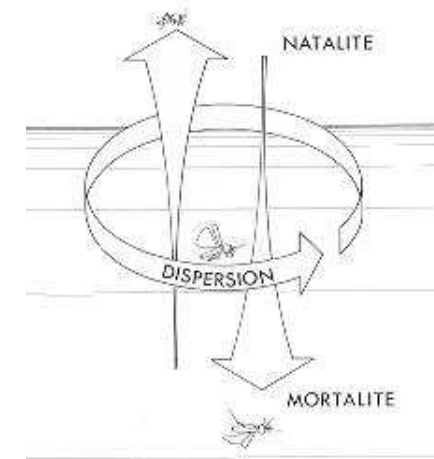


schéma de principe d'un REP

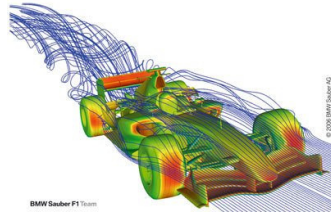


Source : Orono College, Université du Québec, section géographique, Université d'Orléans, section géographique, Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA), Washington, Changements climatiques 1996, Centre scientifique sur les changements climatiques, contributeur du groupe de travail au deuxième rapport d'évaluation sur l'évolution du climat, PNUE et DMU, Cambridge University Press, 1996. Source : GIEC CR



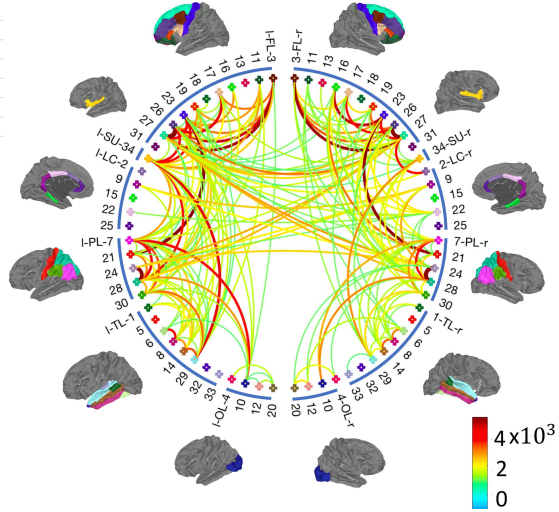
Gestion des incertitudes et analyse de risque (MAP568)

Comment gérer les incertitudes dans les modèles et simulations numériques (en physique, en ingénierie, en épidémiologie, ...) ?

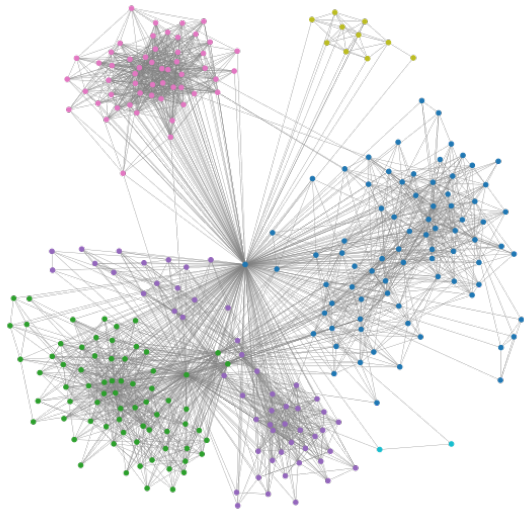


- ▶ **Sources d'incertitudes** : paramètres physiques, conditions environnementales, erreurs de fabrication et de mesure, erreurs de modèles.
- ▶ **Gestion des incertitudes** : quantifier la confiance en les prédictions et les décisions issues de modèles et simulations.
- ▶ Objectif du cours : présenter des méthodes permettant de modéliser, de caractériser et d'analyser les incertitudes.
↳ **Modélisation probabiliste.**

MAP569 Regression and Classification



$$f(A) := -\frac{1}{2\pi i} \oint_{\gamma} f(z) R_A(z) dz$$



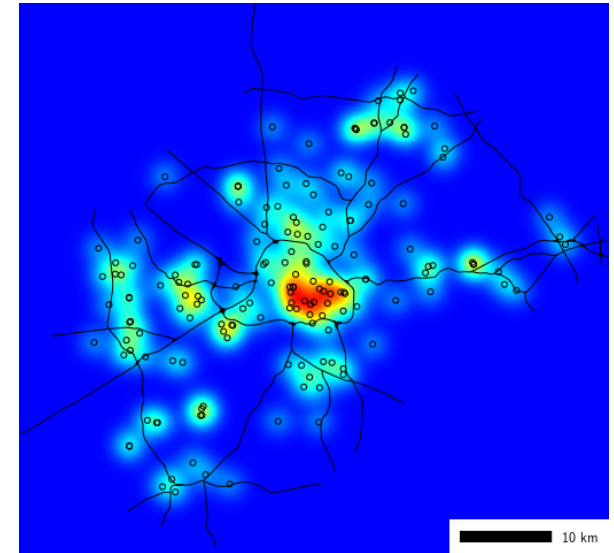
Genomic sequences (HA1 protein)		Serologic data (HI tables)	
>A/USSR/90/1977	QDLPGNDNSTATLCLGHHAVPNG	Antigen	S ₁ S ₂ ... S _k
>A/USSR/92/1977	QDLPGNDNSTATLCLGHHAVPNG	A ₁	1280 1280 ... Miss
>A/ARIZONA/14/1978	QDLPGNDNSTATLCLGHHAVPNG	A ₂	640 2560 ... <20
>A/BRAZIL/11/1978	QDLPGNDNSTATLCLGHHAVPNG	...	...
>A/LACKLAND/3/1978	QDLPGNDNSTATLCLGHHAVPNG	...	...
>A/CALIFORNIA/45/1978	QDLPGNDNSTATLCLGHHAVPNG	...	...
>A/LACKLAND/7/1978	QDLPGNDNSTATLCLGHHAVPNG	...	...
>A/INDIA/6263/1980	QDLPGNDNSTATLCLGHHAVPNG	...	...
>A/CHILE/1/1983	QDLPGNDNSTATLCLGHHAVPNG	...	...
>A/SINGAPORE/6/1986	QDLPGNDNSTATLCLGHHAVPNG	A _r	Miss <20 ... 320
>A/TAIWAN/1/1986	QDLPGNDKSTATLCLGHHAVPNG	...	...

Least square loss		Regularization		
$\min_{\theta \in \mathbb{R}^{p \times k}} \frac{1}{2} \sum_{t=1}^k \sum_{i=1}^{N_t} \|y_{t,i} - x_{t,i} \theta_{t,i}\|_2^2$		$\lambda_1 \sum_{j=1}^p \|\theta_j\|_2$	$\lambda_2 \sum_{t=1}^k \sum_{l=1}^q w_l \|\theta_{G_l,t}\|_2$	$\lambda_3 \sum_{t=1}^k \|\theta_{t,\cdot}\|_1$
		Multi-task	Feature group	Sparse

Topics:

- Linear Model
- Statistical Learning theory
- High-dimensional Statistics
- Unsupervised Learning
- Nonparametric Statistics

Theoretical Foundations and some applications



MAP583: Deep Learning

DATA
FLOWR



Check the resources online:
<http://www.dataflowr.com>

A practical tour of Deep Learning. Take this course if you like coding and want to:

- implement your CNN, RNN, Autoencoders, GANs, siamese networks, transformers... from first principles.
- understand what is transfer learning, representation learning, self-supervision, autodiff, graph neural networks...
- work on a project building a state of the art neural network architecture.



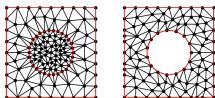
Winners of Turning Award NEW YORK TIMES

“If only I had followed this course... we’d already be on Mars...” **Elon M.**
“Best course ever! Now I can understand Yann!” **Mark Z.**

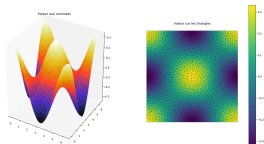
MAP 584 - Mise en œuvre effective des éléments finis

(avec Python)

- ▶ **Objectif** : Implémenter de A à Z la méthode des éléments finis.
- ▶ **Format** : 6 séances de TP + 3 séances de Projet.
- ▶ **Notation** : 1 projet écrit à rendre individuellement.
- ▶ **Contenu** :
 - ▶ TPs : construction du solveur éléments finis sur un problème modèle ;
 - ▶ Projet : utilisation du solveur pour des problèmes plus complexes de mécanique des fluides.



Maillages construits avec la librairie
Triangle de Python



Exemple de solution obtenue avec notre solveur EF

- ▶ **Prérequis** : Avoir suivi MAP 431 est préférable mais pas indispensable.
- ▶ **Enseignante** : Flore Nabet (CMAP)