GSONA

Ecole Universitaire de Recherche
Orléans Numérique

Les Modules
Semestre 1

Année 2020-2021 [mise à jour le 11/09/2020]

Des modules TECH et THEM

TECH / les fondamentaux maths/info	THEM / Les domaines applicatifs
Introduction au langage Python et exemples d'applications	Biologie : qu'analyse-t-on ?
Nouvelles Technologies sous R	Chimie informatique sous Python
Data Mining : Fondements et Outils Python	Data Sciences et Langage
Data Mining avec le logiciel R	Analyse Spatiale Prédictive
Introduction au logiciel SAS	Imagerie et interpolation des structures géométriques 3D
Big Data avec SAS	Modéliser des flux avec Comsol Multiphysics
Big Data avec Hadoop	SIG Raster et 3D : initiation et modélisation environnementale
Algorithmes pour la résolution de problèmes	Analyse de données par des cas pratiques
Méthodes et expérimentations numériques	Méthodologie de l'économétrie
Programmation Haute Performance	
Droit de l'informatique	

Ouverts au Semestre1

Non-disponible ou ouvert au S2

Tous les modules durent 20h

Introduction à Python
et Exemples d’application

Le langage Python est utilisé et apprécié pour l'écriture de simples scripts à des logiciels complets. Nombreuses sont les entreprises ou organismes de recherche à l'utiliser et à recruter des profils ayant l'expérience de ce langage. Intuitif et simple d'apprentissage.

Nous vous donnerons toutes les clés pour débuter avec Python.

Nous découvrirons ensuite quelques bibliothèques spécialisées du langage, autour du calcul numérique et du traitement des langues.

A la fin de ce module, vous **serez autonome**, vous pourrez developer vos premiers programmes et approfondir les spécificités du langage et de ses bibliothèques.

Introduction à Python
et Exemples d'application

Intervenants	Mathieu Liedloff Anthony Perez Carine Lucas Emmanuel Schang
Pré requis	**Aucun**
Période d'enseignement	Le mardi en fin d'après midi – semester 1
Forme	TP, apprentissage par l'exemple
Langue	Français
Évaluation	Exercices de Programmation

Nouvelles Technologies sous R

Ce module présente quelques applications innovantes de R pour proposer des rapports et des documents de travail automatisés (Rmarkdown) et des applications web interactives (Shiny)
Description sur un ou deux transparents ….

Objectifs :

- Savoir construire des rapports faisant intervenir des sorties et analyses R de manière automatique
- Être en mesure de construire des applications web utilisables depuis de nombreux médias (téléphone portable, tablette, PC) et ne nécessitant pas d'installation de R. L'accent sera mis sur l'aspect reproductible et/ou interactif.
- A la découverte de RMarkdown
- La syntaxe Markdown
- Inclusion de codes **R**
- Exemples d'utilisation
- Documents interactifs avec Shiny
- Généralités
- Syntaxe et mise en forme
- Exemples d'utilisation
- Conception de dashboards (en fonction de l'avancement)

Nouvelles technologies sous R

Intervenants	Didier Chauveau Laurent Delsol
Pré requis	Connaissances de base sur l'utilisation de R et la programmation dans ce langage
Période d'enseignement	Le Mardi en fin d'après midi – semester 1
Forme	Cours et TD
Langue	Français
Évaluation	

Analyse de données par des cas pratiques

Une introduction au **Data Science** au travers d'exemples, en mettant résolument l'accent sur la mise en pratique…. et sur les erreurs à ne pas commettre !

Exemple : comparaison entre deux empreintes digitales.

- Est-ce la même personne ?
- Comment quantifier cela ?

Au programme :

- Mesures de similitude : quand deux résultats sont-ils similaires ?
- Les incertitudes : essentielles pour prendre des décisions
- Ajustement de courbes : comment trouver le meilleur modèle ?
- De la classification au réseaux de neurones
- Exemples tirés de la physique, la chimie, les sciences de la Terre, biologie…

Analyse de données par des cas pratiques

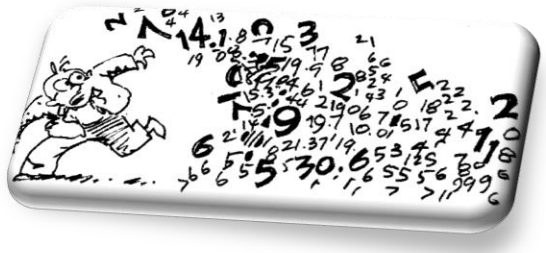
Intervenant	Thierry DUDOK DE WIT (OSUC)
Pré requis	Pratique courante d'un langage de programmation (Python, Matlab, C, ...) et notions de statistiques de niveau licence
Période d'enseignement	Le mardi en fin d'après midi – semestre 1
Forme	Cours-TD interactif avec applications sur Matlab. Cours en français, documents en anglais
Langue	Français
Évaluation	Mini-projet à rendre en Janvier

A regarder avant	Le cours et des liens utiles sont tous sur CELENE

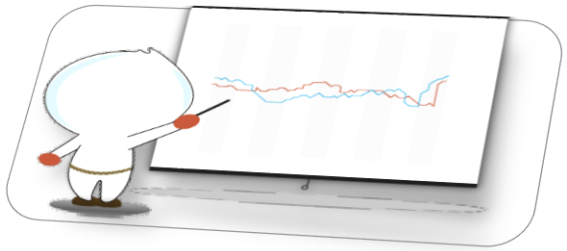
Méthodologie de l'économétrie

- **L'économétrie** représente l'application des outils mathématiques et statistiques

à l'analyse des données économiques



dans le but de donner un contenu empirique



aux théories économiques et de les corroborer ou de les réfuter. (Maddala, 1992)

La dépréciation du dollar est-elle compatible avec la hausse des prix du pétrole ?

Une hausse d'inflation permet-elle de réduire le chômage ?

La pollution atmosphérique a t-elle un impact sur la santé des enfants ?

Quelles sont les conséquences d'une variation du taux d'intérêt sur l'investissement ?

La catégorie socio-professionnelle des parents a t-elle un impact sur le niveau de formation des enfants ?

Quelles sont les conséquences d'une augmentation du prix du pétrole sur la croissance, le chômage, les ventes des voitures, etc.?

Quelques questions auxquelles les économètres essayent de répondre :

ETC ...

Mots clés

- régression, corrélation, causalité, estimateur, paramètre, test statistique, intervalle de confiance…

Méthodologie de l'économétrie

Intervenant	Denisa BANULESCU-RADU (LEO)
Pré requis	Algèbre linéaire, notions de base de probabilités, enthousiasme & curiosité
Période d'enseignement	Le mardi en fin d'après midi – semestre 1
Forme	Cours-TD interactif
Langue	Français / English
Évaluation	Mini-projet

A regarder avant	Le cours et des liens utiles sont tous sur CELENE

Introduction au logiciel SAS

SAS est le progiciel d'informatique décisionnelle le plus utilisé au monde. Il propose l'ensemble des outils de la chaine analytique allant de la constitution des bases de données à la restitution en passant par la statistique, l'économétrie, la recherche opérationnelle mais aussi des approches plus récentes comme le machine learning, le deep-learning etc.

L'objet du cours sera plus particulièrement de présenter l'architecture SAS et les outils proposés par SAS afin de créer des tables SAS et les modifier. Nous présenterons aussi quelques procédures de primo-exploitation des données.

Ce cours n'est pas orienté "statistique". Il est centré sur ce qui occupe 80% du temps d'un data scientist : la donnée.

Introduction au logiciel SAS

Intervenants	Théo Rivinoff
Pré requis	**aucun**
Période d'enseignement	Le mardi en fin d'après midi – semestre 1
Forme	Salle informatique
Évaluation	Devoir de mise en application des connaissances acquises durant le cours (2 heures)

A regarder avant	Des pointeurs utiles ...

GSONA

Ecole Universitaire de Recherche
Orléans Numérique

Les Modules

en prévision du semestre 2

Année 2020-2021 [mise à jour le 11/09/2020]

Data Mining : Fondements et Outils Python

Dans ce module nous introduisons les concepts de base en Machine Learning et en Data Mining et nous dressons un panorama des principales méthodes en classification supervisée et non supervisée.
Nous insistons sur la nécessité de pré-traiter les données et sur la validation des modèles appris.

Nous mettons en pratique d'une part par l'utilisation d'un outil permettant de mettre en œuvre facilement une chaîne complète de Data Mining (prétraitement des données, paramétrage de l'outil, validation du modèle) et d'autre part par l'utilisation d'une librairie Python permettant d'intégrer facilement un processus de Data Mining dans un projet Python.

Il est à noter qu'il s'agit d'un module orienté Machine Learning et Data Mining et en aucun cas d'un module d'approfondissement du langage Python (uniquement utilisation de librairies Python)

Data Mining : Fondements et Outils Python

1- Introduction au Data Mining (types de données – tâches). Importance du pré-traitement des données et de la validation des modèles,

2- Classification supervisée : arbre de décision, classifieur bayésien, k-plus-proche-voisins, réseau de neurones, SVM, noyaux,

3- Classification non supervisée : k-moyenne, hiérarchique, clustering spectral, méthodes fondées sur la densité,

4- Quelques notions sur la recherche de règles d'association et de motifs frequents,

5- Utilisation d'un environnement de Data Mining développé en Python (Orange: https://orange.biolab.si/) et de librairies Python (Scikit-learn: https://scikit-learn.org/stable/),

Data Mining : Fondements et Outils Python

Intervenante	Christel VRAIN
Pré requis	**Sans pré-requis**. Une connaissance de Python peut être un plus mais nous utiliserons principalement des packages Python et des fonctions prédéfinies de ces packages.
Période d'enseignement	Semaine banalisée, 2ème semaine de janvier Semestre 2
Forme	Cours et TP
Évaluation	Mise on œuvre d'un processus de Data Mining sur une base de données, au choix des étudiants. Par groupes de 2 ou 3.

A regarder avant	

Data Mining avec le logiciel R

Contenu

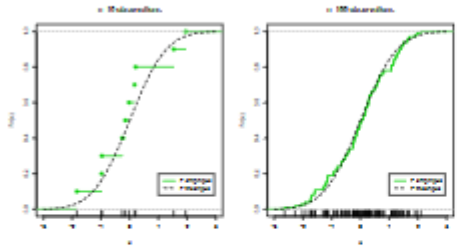
1. Introduction au langage R et aux outils élémentaires (*Exploratory Data Analysis*)
2. Méthodes de Data Mining pour données numériques ou qualitatives **volumineuses** :
   - Techniques multivariées ususelles fondées sur l'Analyse en Composantes Principales : ACP, AFC, ACM
   - Méthodes de classification (*clustering*) non supervisées et supervisées
3. si le temps (et le public) le permet, introduction à la manipulation des *BigData* avec R (package RHadoop)

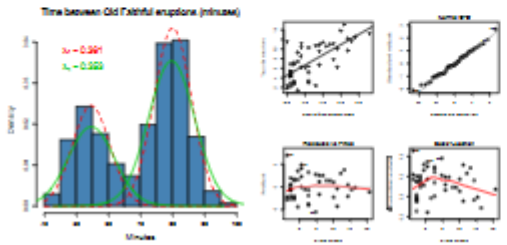
Prérequis : Notions de statistique et d'informatique élémentaire de type Terminale scientifique.

- Gratuit, Open Source, multi-plateforme
- Développé par les meilleurs experts en *Statistical Computing* : The R Core Team
- Langage interactif, orienté objet, extensible
- Pensé pour l'exploration et la modélisation de données
- L'environnement idéal pour populariser/utiliser les méthodes usuelles/nouvelles en statistique
- Plus de 4000 packages associés :
  sites **CRAN** = **C**omprehensive **R** **A**rchive **N**etwork
- Outils de calcul parallèle et/ou distribué intégrés (HPC, BigData)

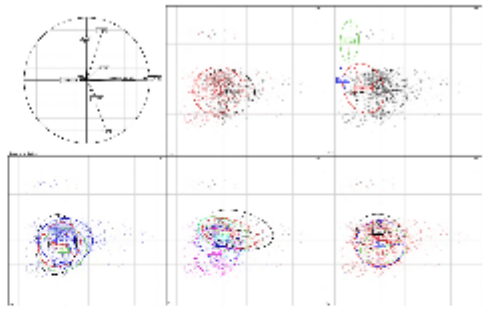
`https://www.r-project.org`

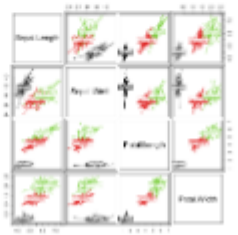
Modélisation, Estimation, Prédiction

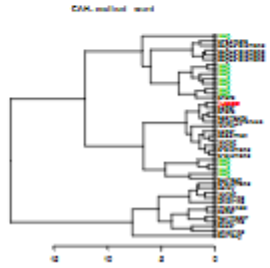




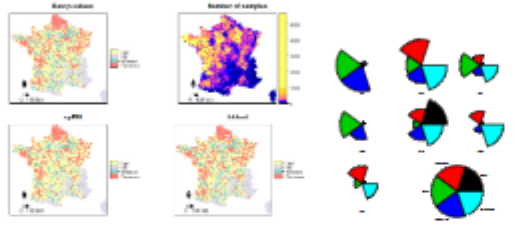
Analyses multivariées, ACP, Clustering...

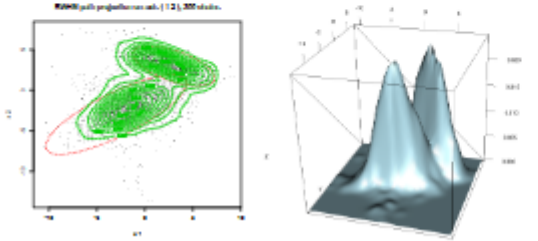




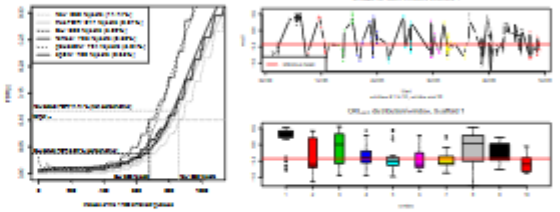


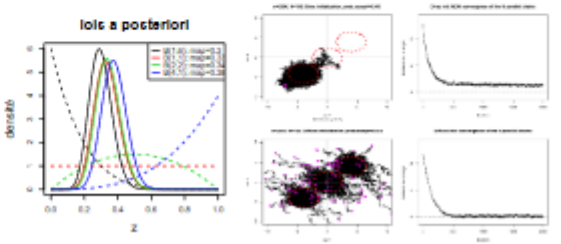
Visualisation, Descriptif, Géostatistiques





Résumés graphiques d'analyses statistiques complexes





GUI → utilisée en TP du module GSON

`https://www.rstudio.com`

Interface web dynamique de visualisation

`http://shiny.rstudio.com/gallery/`

Markdown : générateur de doc. incluant LaTeX et code

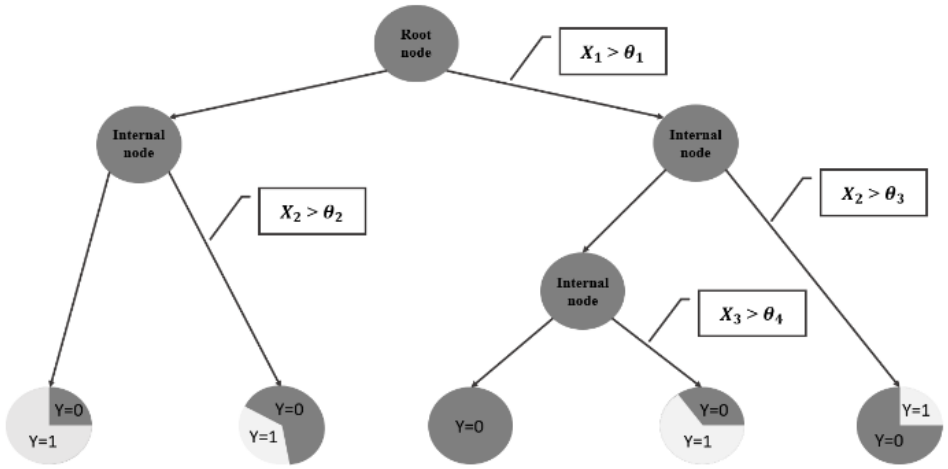
`https://rmarkdown.rstudio.com`

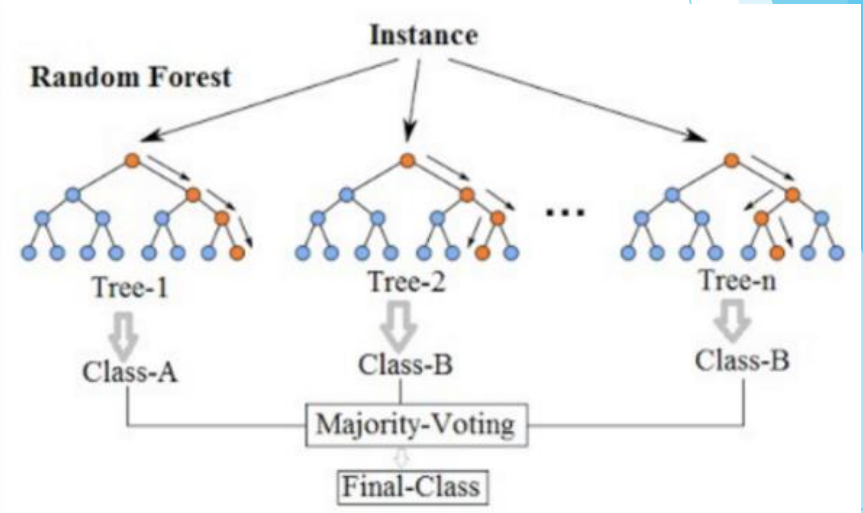
: package **RHadoop** pour le *BigData*

`https://github.com/RevolutionAnalytics/RHadoop`

Big Data avec SAS

- Ce cours a pour objet l'étude d'un modèle d'apprentissage supervisé connu sous le nom d'Arbres de décision. Les méthodes d'agrégation des arbres de décisions, telles que les Forêts Aléatoires (Breiman, 2001) et les méthodes de Boosting (Freund et Schapire, 1996), seront également





- Ces méthodes sont très utiles pour la prédiction dans le contexte des données massives : octroi de crédits, renouvellement de campagne publicitaire, etc ...
- Le logiciel d'application considéré dans ce cours est SAS. Un rappel d'utilisation de celui-ci sera effectué durant la semaine de cours.

Big Data avec SAS

Intervenant	Anthony Paris
Pré requis	- Connaissance des méthodes de régression (MCO) et de classification (logistique) - Pratique d'un langage de programmation (R, Matlab, Stata, ...)
Période d'enseignement	Semaine banalisée, 2ème semaine de janvier Semestre 2
Forme	Cours
Évaluation	Projet à rendre

Big Data avec Hadoop

- **Comment manipuler et traiter de grande masses de données ?**

- Ce module présente des outils et méthodes de traitement de gros volumes de données (Big Data) en utilisant Hadoop et d'autres frameworks Big Data adaptés. Chaque framework étant bien adapté pour un usage particulier. Hadoop est un ensemble de services et et d'applications permettant de stocker et d'administrer de très grandes masses de données. Hadoop est utilisé par des entreprises comme Google, Facebook, Amazon, Ebay, ...

- L'objectif de ce module, est de permettre aux étudiants d'acquérir des connaissances à la fois théoriques et pratiques dans la gestion, le stockage et la manipulation de grandes masses de données en utilisant le modèle MapReduce, le système de fichiers distribués (HDFS) en passant par l'utilisation en pratique (pendant les séances de TPs) de différents frameworks Big Data tel que Hadoop, Hbase, Hive, PigLatin et Giraph.

Big Data avec Hadoop

Intervenant	Mostafa BAMHA
Pré requis	Connaissance de Java et Unix
Période d'enseignement	Semaine banalisée, 2ème semaine de janvier Semestre 2
Forme	Cours - TP (entièrement en salle machine)
Évaluation	Exercices pendant la semaine plus exercices à rendre sous Celene 15 jours plus tard.

Méthodes et expérimentations numériques

La simulation numérique s'avère être un véritable outil d'expérimentation dans bien des domaines. Ce module aborde deux types de méthodes, les méthodes déterministes et celles de Monte Carlo. Dans le premier cas, on programmera des méthodes efficaces qui trouvent des applications, par exemple, en dynamique des populations et en physique pour /

- *interpoler des mesures, calculer une intégrale,*
- *visualiser la solution d'une équation différentielle,...*

Les méthodes stochastiques seront illustrées et mises en œuvre pour le dépôt de couches minces, les choix sociaux (les votes), la diffusion des neutrons, ...

Le module laisse une large place à la programmation à l'aide du logiciel libre Scilab, référence pour le calcul scientifique (syntaxe similaire à celle de Matlab et proche de la bibliothèque Numpy de Python). La première séance permettra de prendre en main Scilab.

Méthodes et expérimentations numériques

Intervenants	C. Lucas M. Ribot J.-L. Rouet
Pré requis	**Aucun**, sinon le goût pour la programmation
Période d'enseignement	Semaine banalisée, 2ème semaine de janvier Semestre 2
Forme	Cours/TP
Évaluation	Rapport écrit sur un cas à traiter

A regarder avant	Des pointeurs utiles ...

Programmation Haute Performance

Comment paralléliser un problème pour une mise en œuvre sur des architectures haute performance ?

- **Le principe du parallélisme est simple.**
  - Il s'agit d'exécuter en même temps le maximum d'instructions indépendantes d'un code de calculs.
- **La mise en œuvre nécessite de connaître**
  - Les architectures des machines parallèles
  - Les techniques de parallélisation
  - Les techniques de programmation
- **Ce module GSON a pour objectifs**
  - A partir de nombreux exemples d'introduire les différentes techniques de parallélisation indépendamment de tout langage de programmation.
  - De mettre en œuvre la parallélisation de codes calculs en utilisant Python et mpi4py. Un accent fort sera mis sur les techniques de parallélisation qui peuvent être appliquées dans différents types de calculs ou de traitement de données (parallélisme de données, calculs stencils, ...) quelque soit le domaine dont est issu le problème (physique, économie, biologie, traitement du langage, ...).

Programmation Haute Performance

Intervenants	Sébastien LIMET Sophie ROBERT
Pré requis	Python
Période d'enseignement	Semaine banalisée, 2ème semaine de janvier Semestre 2
Forme	Cours - TP (entièrement en salle machine)
Évaluation	Exercices pendant la semaine plus exercices à rendre sous Celene 15 jours plus tard.

Biologie : qu'analyse-t-on ?

Nouveauté GSON

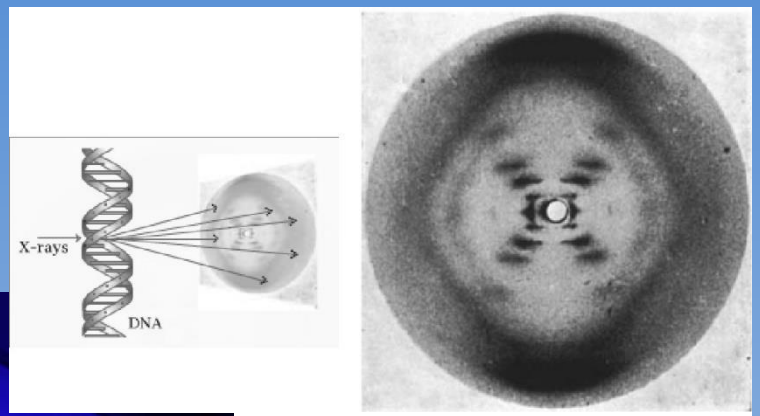
- Introduction - Fonction du génome au sein de la cellule, biologie cellulaire
- Nature du génome ADN, un alphabet à 4 lettres - Séquençage de l'ADN
- L'ARN, un intermédiaire pour ne jamais travailler avec l'original
- La protéine, un alphabet à 20 lettres, formant des cassettes modulables
- Evolution moléculaire et Phylogénie
- Autres exemples de domaines d'applications, en dehors du génome *
- Une journée de Travaux Pratiques**

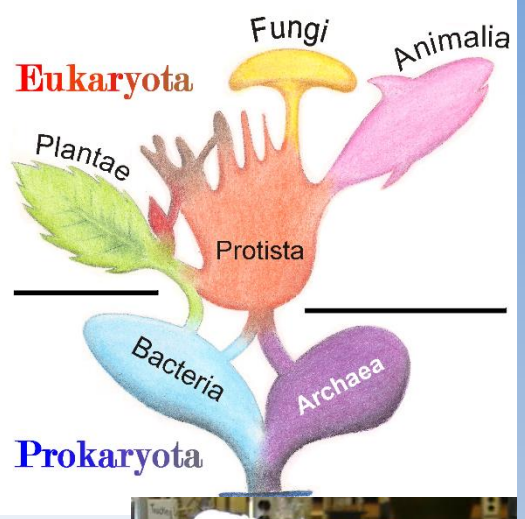
* Thème suggéré par les étudiant·e·s de GSON 2018/2019

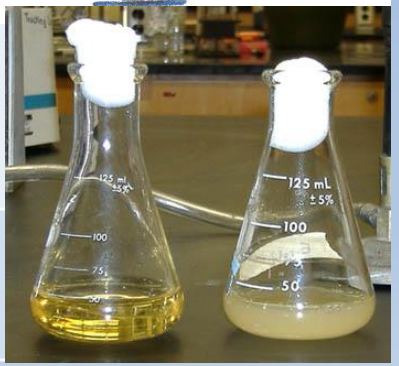
** Volume augmenté suite aux retours des étudiant·e·s

Biologie : qu'analyse-t-on ?

Intervenants	Lucile Mollet Alain Legrand Thierry Normand Fabienne Brulé Christophe Hano
Pré requis	**Aucun**
Période d'enseignement	Semaine banalisée (2ème semaine de janvier 2021)
Forme	**14 h de cours/TD dont 4 h sur machine** **4 h de TP** **2 h questions ouvertes**, **évaluation** (Vendredi après-midi)
Évaluation	30 min, 8 à 10 petites questions sur l'ensemble du cours

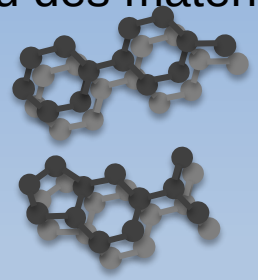




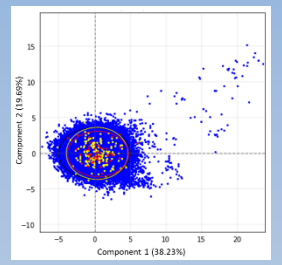


Chimie informatique sous Python

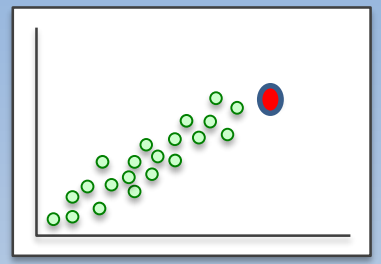
La Chémoinformatique est un domaine qui utilise les outils informatiques pour comprendre la chimie ou prédire des structures chimiques. La chémoinformatique nécessite un encodage des structures chimiques sous forme de données numériques. Ce cours utilisant les notebooks Jupyter en langage Python se décompose en plusieurs chapitres dont : une introduction à Python et aux notebooks Jupyter, une introduction aux outils de chémoinformatique appliqués à des bases de données publiques et à l'utilisation d'outils d'analyse et de visualisation de données chimiques (clustering, ACP). Ce cours apporte aux étudiants une ouverture d'esprit sur l'utilisation de l'informatique appliquée à des problématiques de chimie rencontrées en cosmétique, en chimie des médicaments ou des matériaux.



1001110001010
0110011100110
…



Analyse



Prédiction

RDKit

Python

Jupyter notebook

Scikit learn

Pandas

Chimie informatique sous Python

Intervenants	Doctorant, Chercheur post-doctorant, chercheur CNRS et/ou professeur des universités
Pré requis	Une connaissance dans un langage de programmation (Python serait un plus)
Période d'enseignement	Semaine banalisée ou le mardi fin d'après midi
Forme	Cours/TP
Évaluation	Application des outils sur un exemple similaire à celui vu en cours. Evaluation par QCM sur les notions abordées lors de la formation

A regarder avant	

Data sciences et langage

Dans ce module nous étudierons les problématiques liées au traitement automatique des données langagières. Tout le long du semestre nous travaillerons sur le corpus du « Grand Débat National », corpus qui contient environ 1,9 million de contributions. Nous étudierons des phénomènes linguistiques complexes qui sont à prendre en compte lors de l'analyse automatique de textes. Nous discuterons également des méthodes utilisées en Traitement Automatique des Langues pour « essayer » de traiter cette complexité. Un projet en petit groupe (interdisciplinaire) sera réalisé tout le long du module sur les données du grand débat.

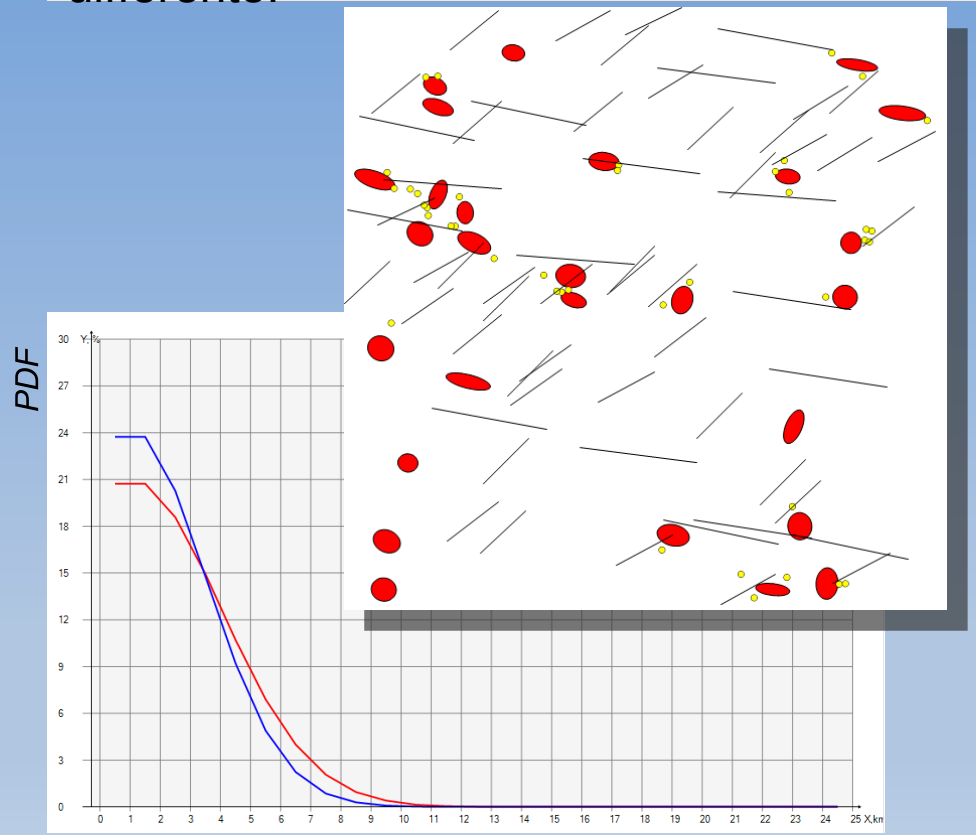
Data sciences et langage

Intervenants	Anne-Lyse Minard, Flora Badin, Caroline Cance, Katja Ploog, Emmanuel Schang
Pré requis	Aucun
Période d'enseignement	le mardi 16h-18h30
Forme	Cours - TD - TP
Évaluation	Projet à rendre en janvier

A regarder avant	

Analyse Spatiale Statistique / Prédictive

L'**objectif** de ce module est d'apprendre à **caractériser** et **quantifier** (i) la distribution spatiale d'objets dans un espace géométrique et (ii) les relations de recouvrement, de proximité entre des objets de nature différente.



Shortest distance to objects

Ce type d'approche s'applique en particulier à l'analyse des objets cartographiques mais peut être appliqué en 3D ou à d'autres espaces de projection.

La prédictivité consiste à produire une représentation graphique (carte le plus classiquement) montrant un degré de **favorabilité** (ou d'**aléa**) à ce qu'une occurrence d'un phénomène puisse être trouvée.

Au programme :

Les <u>outils d'analyse spatiale</u>

- Analyse de dispersion
- Analyse de dispersion multi-échelles
- Analyse de proximité ou recouvrement entre objets

Les <u>outils de prédictivité</u>

- Weight Of evidence
- Fuzzy logic
- *Etc.*

Analyse Spatiale Statistique / Prédictive

Intervenant	Charles GUMIAUX (ISTO / OSUC)
Pré requis	Statistiques, notions de cartographie
Période d'enseignement	Semaine banalisée, 2ème semaine de janvier Semestre 2
Forme	Cours et TP sur logiciel SIG
Évaluation	Compte rendu sur les manips de TP

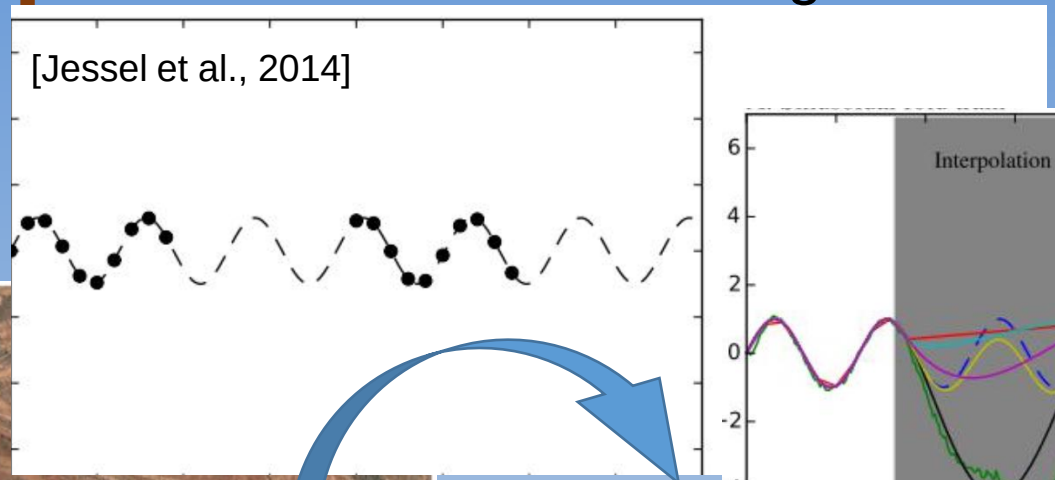
A regarder avant	Des pointeurs utiles ...

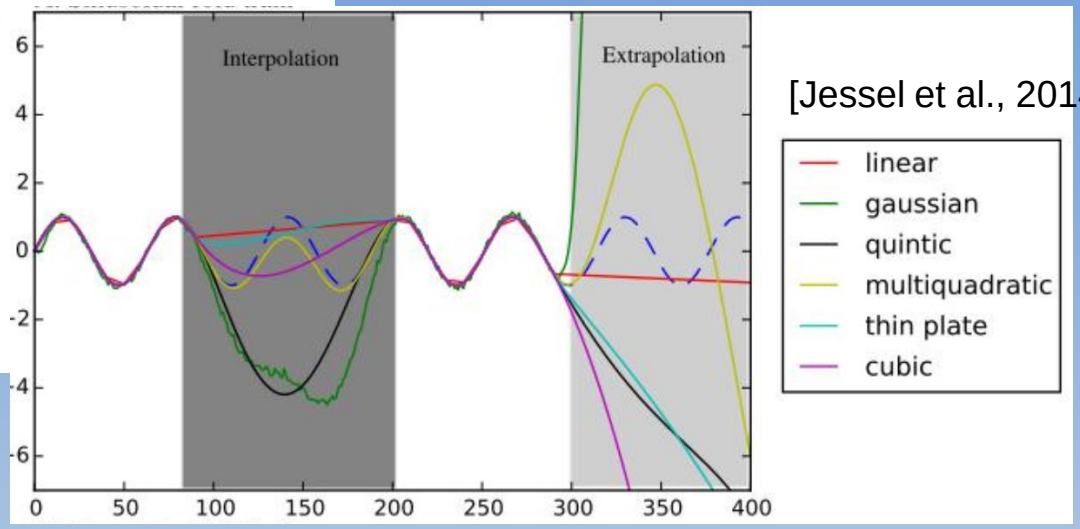
Imagerie et interpolation des structures géométriques 3D

Échantillonnage

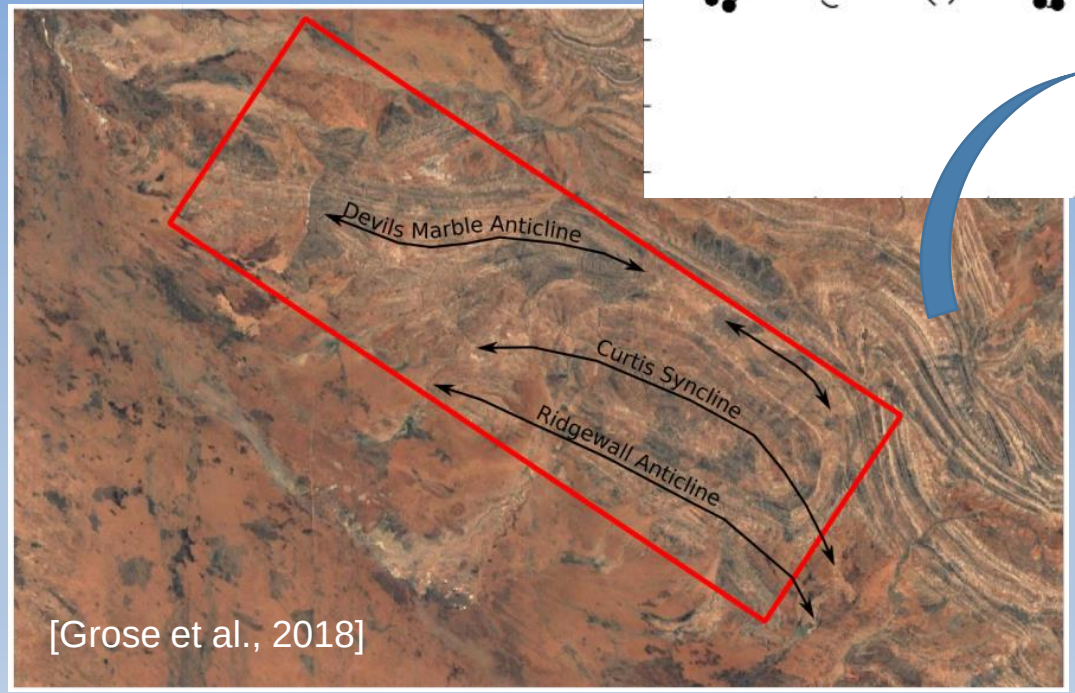
Interpolation
Extrapolation

Observations
d'objets naturels



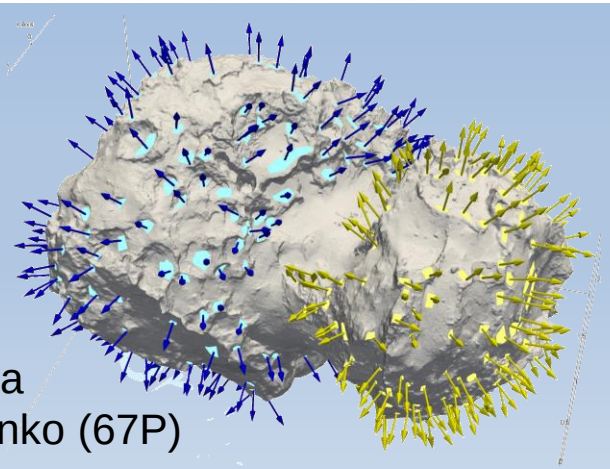


[Jessel et al., 2014]



Vue satellite de structures géologiques plissées
(Davenport, Australie)

Et aussi, d'autres domaines d'application que la géologie :
e.g., Mesures structurales de la comète Churyumov-Gerasimenko (67P)

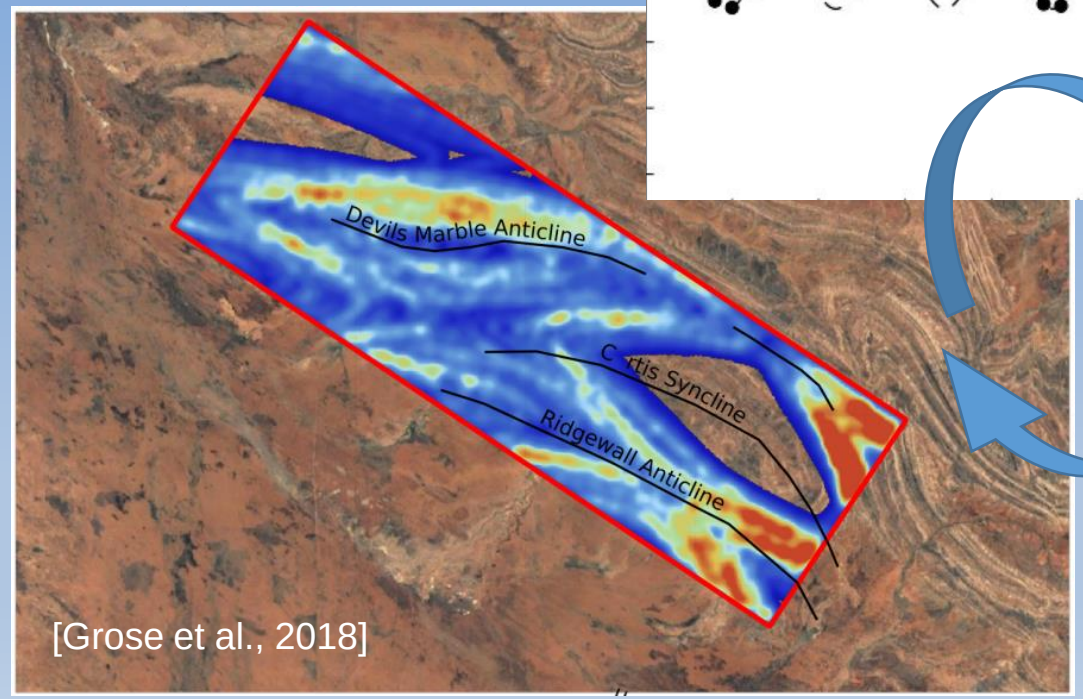


Imagerie et interpolation des structures géométriques 3D

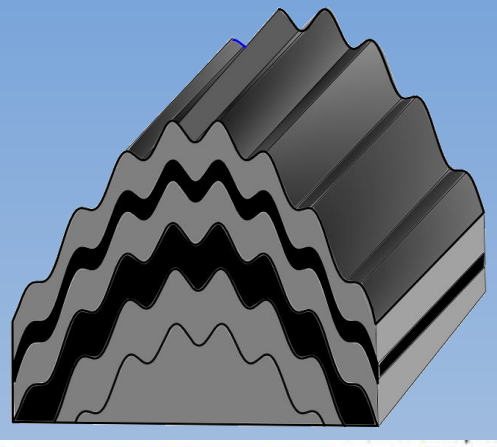
Échantillonnage

[Jessel et al., 2014]

Observations d'objets naturels

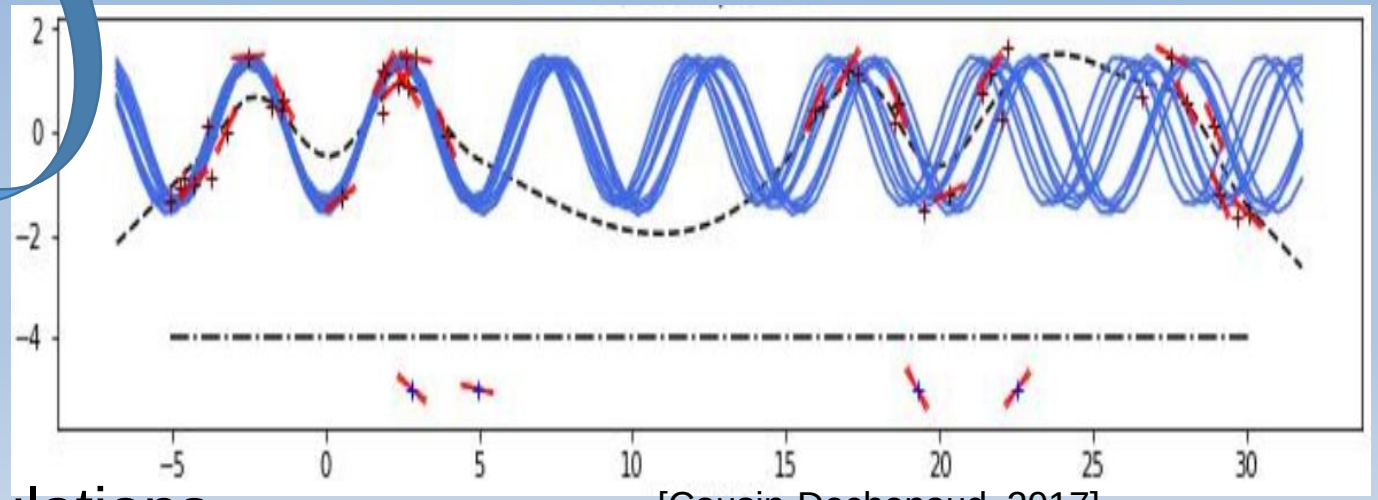


Incertitudes



Modèle conceptuel

[Grose et al., 2018]



Simulations

[Cousin-Dechenaud, 2017]

Imagerie et interpolation des structures géométriques 3D

Intervenant	Gautier Laurent (ISTO/OSUC)
Pré requis	Notions de géométrie et de programmation python recommandées (mais non obligatoires)
Période d'enseignement	Semaine banalisée, 2ème semaine de janvier Semestre 2
Forme	Introduction en CM + TP classique puis classe inversée
Évaluation	Mini projet et présentation avec co-évaluation par les pairs

A regarder avant	Des bases en python (eg., sur OpenClassroom)

SIG Raster et 3D : initiation et modélisation environnementale

Le module s'adresse particulièrement aux étudiants ayant une solide base en environnement qui souhaitent s'initier à la représentation de la donnée en mode image. La formation revient dans sa partie théorique sur les fondamentaux de la géomatique avec un glissement progressif vers le SIG image et ses principales différences avec les SIG vecteur. Au total 4 parties seront abordées durant la formation

- le formatage et l'intégration de la donnée dans un SIG Raster
- retour sur la notion de données en mode Raster et interrogation des images
- passage en revue des principales fonctionnalités de manipulation des données
- application de quelques traitements simples
- introduction à l'analyse spatiale et à la modélisation (interpolation et prédiction « markov »)
- représentation 3 D et valorisation

SIG Raster et 3D : initiation et modélisation environnementale

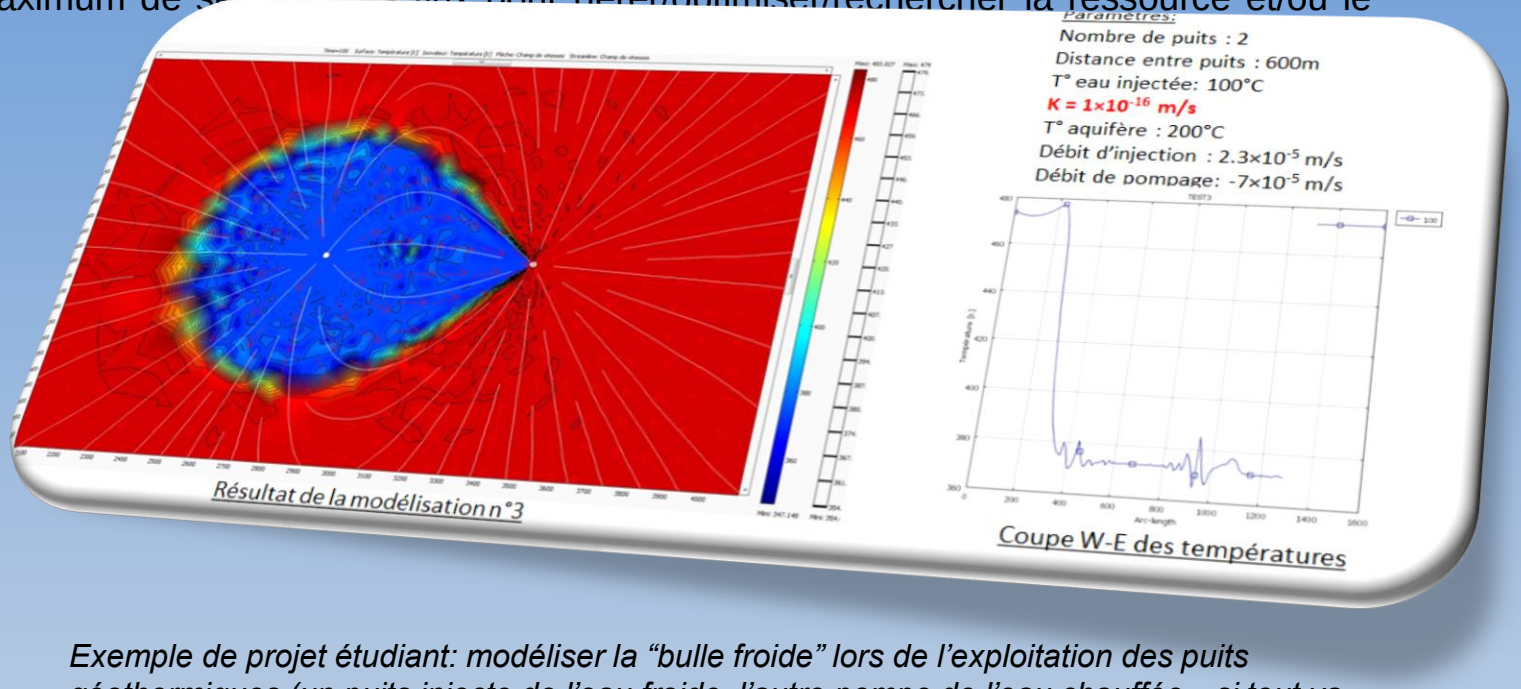
Intervenants	
Pré requis	
Période d'enseignement	semaine banalisée ou le mardi fin d'après midi
Forme	Cours ? TD ? TP ?
Évaluation	

A regarder avant	Des pointeurs utiles ...

Modéliser des flux avec Comsol Multiphysics

- La quantification des flux de **matière** (e.g. polluant d'une nappe d'eau potable, formation de gisements métalliques, stockage des déchets), de **chaleur** (e.g. chauffage d'une maison, géothermie, panaches chauds dans le manteau terrestre etc…), de **fluides** (e.g. inondations, stockage de CO2 etc…) est une base fondamentale de l'ingénierie et de la prédictivité dédiée à ces problèmes: il faut pouvoir quantifier et prévoir avec un maximum de sécurité ces flux pour gérer/optimiser/rechercher la ressource et/ou le risque!

- Cette formation de 20 heures est un « **workshop** » « base+pratique » visant à acquérir **un début d'autonomie dans l'approche et la résolution** de problèmes appliqués ou fondamentaux liés à la gestion des flux **stationnaires** (e.g. recherche d'un état stable qui ne varie pas dans le temps) ou **variant en fonction du temps** (e.g. accidents ponctuels à un temps donné). Nous commencerons par une partie de cours sur les bases, puis **les étudiants proposerons des projets qui les motivent et nous essaierons de les résoudre ensembles via un solver numérique commercial très utilisé par les ingénieurs: COMSOL Multiphysics.**



Exemple de projet étudiant: modéliser la "bulle froide" lors de l'exploitation des puits géothermiques (un puits injecte de l'eau froide, l'autre pompe de l'eau chauffée…si tout va bien = si les flux d'injection et de pompage sont bien calculés!

- Les mini-projets portés par les étudiants **seront encadrés à 100%** et peuvent portés sur les **milieux continus, les milieux poreux..**et ce à **différentes échelles (du grain micronique…au globe terrestre)**

Modéliser des flux avec Comsol Multiphysics

Intervenants	Yannick Branquet (MC OSUC, ISTO)
Pré requis	Aucun (les gradients, les dérivées partielles, les équations de transport seront (re-) présentées en CM
Période d'enseignement	Semaine banalisée, 2ème semaine de janvier Semestre 2
Forme	6 h de CM, 14 h mini-projet encadré
Évaluation	Rapport du mini-projet sous forme de Présentation pwt + fichier modèle numérique Comsol

A regarder avant	Des pointeurs utiles ...