

# Master 1 Sciences, Technologies, Santé

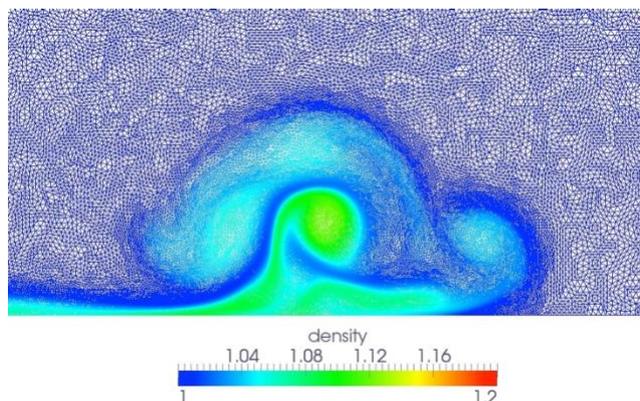
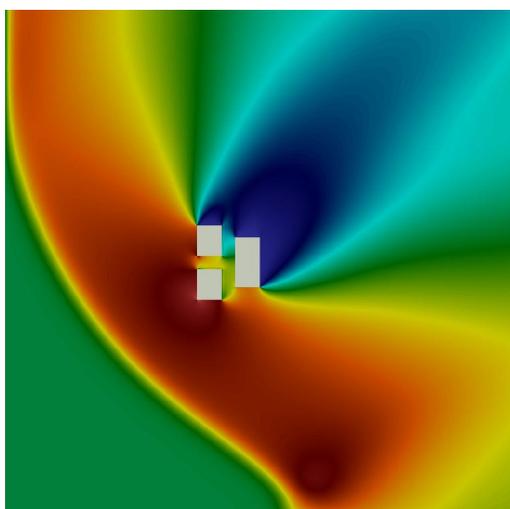
## Mention Mathématiques et Applications

### Parcours

### Calcul Scientifique

Année 2020-2021

**Version provisoire**



#### Responsable Master 1

**Caterina Calgaro**

Université de Lille, FST, Département de Mathématiques,  
Bâtiment M3, Bureau 112.

adresse électronique : [caterina.calgaro@univ-lille.fr](mailto:caterina.calgaro@univ-lille.fr)

#### Secrétariat Pédagogique

Françoise Leroy

Université de Lille, FST, Département de Mathématiques,  
Bâtiment M2, Bureau 10.

Email : [math-masters1@univ-lille.fr](mailto:math-masters1@univ-lille.fr)

Tél. : 03 20 43 45 74

Site web : <https://sciences-technologies.univ-lille.fr/les-departements-de-formation/departement-de-mathematiques/>

## SOMMAIRE

---

<i>Présentation</i> .....	3
<i>Poursuite d'études et débouchés</i> .....	4
<i>Informations / Contacts</i> .....	5
<i>Conditions d'accès / Candidature</i> .....	5
<i>Organisation</i> .....	6
<i>Structure de la formation</i> .....	7
<i>Contrôle des connaissances</i> .....	8
<i>Calendrier universitaire 2020-2021</i> .....	9
<i>Probabilités: modèles et applications</i> .....	11
<i>Modélisation et approximation par différences finies</i> .....	13
<i>Optimisation convexe</i> .....	14
<i>Analyse numérique avec C++, initiation</i> .....	15
<i>Analyse factorielle</i> .....	16
<i>Projet étudiant</i> .....	17
<i>Etude de problèmes elliptiques et paraboliques</i> .....	19
<i>Outils numériques pour le calcul scientifique</i> .....	20
<i>Anglais</i> .....	22
<i>Ouverture à la physique</i> .....	23
<i>Mémoire de recherche</i> .....	25
<i>Projet étudiant</i> .....	26

## PRESENTATION

---

Le parcours CALCUL SCIENTIFIQUE du master MATHEMATIQUES ET APPLICATIONS propose une formation de haut niveau en mathématiques appliquées, en particulier en simulation numérique des équations aux dérivées partielles et calcul haute performance. L'objectif de ce parcours est de former des scientifiques capables de **comprendre les modèles issus de la physique et de l'industrie, de créer et mettre en œuvre des méthodes de simulation** pour ces modèles de manière optimale.

La première année de ce master fournit

- Un savoir-faire en modélisation mathématique des phénomènes physiques,
- Une maîtrise d'outils mathématiques et informatiques universels (optimisation, traitement du signal, programmation en Python et C++),
- Une expertise en simulation des phénomènes physiques (équations aux dérivées partielles) par l'étude de schémas et méthodes numériques efficaces,
- Une culture générale en anglais et une orientation personnelle via le projet étudiant.

En particulier, des **nombreux projets** sont menés en application et approfondissement des théories acquises, dont plusieurs sur des modèles classiques ou issus de la recherche actuelle. Le **mémoire de recherche** permet de développer les connaissances théoriques et de les mettre en œuvre sur un problème concret. Il peut être remplacé en partie par un **stage (facultatif)** dont la durée doit être d'au moins 4 semaines en entreprise.

L'équipe pédagogique est essentiellement constituée d'enseignants-chercheurs du laboratoire Paul Painlevé, unité mixte de recherche du CNRS, et du Département de Mathématiques de la Faculté des Sciences et Technologies. Une salle informatique est réservée aux étudiants de ce master.

Ce parcours de master est également **partenaire du Labex CEMPI** qui finance des **bourses de M1 et M2**, destinées en particulier aux étudiantes et étudiants qui envisagent de poursuivre en doctorat au sein de l'Ecole Doctorale Régionale « Sciences pour l'ingénieur Lille Nord-de-France ».

Le parcours CALCUL SCIENTIFIQUE du master MATHEMATIQUES ET APPLICATIONS fait aussi partie du **Programme Gradué INFORMATION AND KNOWLEDGE SOCIETY** de l'Université de Lille : <http://www.isite-ulne.fr/index.php/fr/programme-gradue-friendly-deep-tech/>

## POURSUITE D'ETUDES ET DEBOUCHES

---

Le master 1 du parcours CALCUL SCIENTIFIQUE se poursuit en deuxième année.

Il s'agit d'une année de formation dédiée à l'acquisition et à l'approfondissement de compétences indispensables pour être soit directement opérationnels en entreprise, soit pour une poursuite en thèse de doctorat. L'accent est mis sur

- Une culture scientifique pluridisciplinaire et cohérente en modélisation (physique, mécanique) afin de maîtriser l'ensemble du processus de simulation numérique,
- Des connaissances pratiques plus fines en mathématiques appliquées sur la manipulation des équations aux dérivées partielles, et les méthodes de résolution de ces EDP à l'aide d'ordinateurs,
- La maîtrise de langages de programmation adaptés au calcul scientifique et la pratique du calcul intensif haute performance sur les architectures les plus récentes : calcul parallèle, programmation sur cartes graphiques et sur architectures distribuées.

L'implication en master 2 de **nombreux intervenants issus de 6 laboratoires de recherche de l'Université de Lille et du centre Inria Lille - Nord Europe** assure aux étudiants une ouverture d'esprit et des contacts utiles pour les stages et éventuellement les poursuites en thèse. La maîtrise de l'ensemble du processus, en partant du modèle abstrait jusqu'à la simulation *in silico* utilisant efficacement les ressources de calcul de dernière génération, fait de ces étudiants des **recrues précieuses et rares à la fois sur le marché du travail privé et au sein des laboratoires de recherches.**

**Les milieux professionnels visés** au terme de cette formation sont ceux de la modélisation et du calcul numérique, en particulier les grandes entreprises nationales, les PME, les centres techniques spécialisés et les organismes scientifiques exerçant des activités de recherche et développement. Les fonctions les plus fréquemment occupées sont celles d'ingénieur recherche et développement, d'ingénieur d'études, de chargé d'affaires, d'ingénieur logiciel, de consultant, d'expert HPC, ou de chef de projet recherche et développement.

Environ **1/3 des étudiants poursuivent en doctorat**. Cela est possible sous certaines conditions (accès sur dossier).

Ce master 1 permet aussi de candidater à des master 2 d'autres universités françaises.

## INFORMATIONS / CONTACTS

---

Pour plus d'informations, les étudiants sont invités à prendre contact avec les responsables de ce parcours du master Mathématiques et Applications. Plus précisément :

- C. CALGARO, responsable du master 1 (tronc commun) et de la mention Mathématiques et Applications (Bureau 112 au bâtiment M3).
  
- B. MERLET et N. MELAB, responsables du master 2 parcours Calcul Scientifique.

Pour toute question plus générale d'orientation et de débouchés, les étudiants peuvent aussi s'adresser au S.U.A.I.O. ou au B.A.I.P., bâtiment SUAIO avenue Carl GAUSS, Cité Scientifique.

## CONDITIONS D'ACCES / CANDIDATURE

---

L'admission en première année de master est subordonnée à l'examen du dossier de candidature selon les modalités suivantes :

- Prérequis pour l'accès en master : connaissances en mathématiques de niveau licence.
- Mentions de licences conseillées : Mathématiques, Informatique-Mathématique.
- Capacités d'accueil : 20 places.
- Critères de sélection :
  - Un solide bagage mathématique, en particulier : calcul différentiel, analyse, algèbre linéaire, probabilités, analyse numérique ;
  - Niveau B2 en anglais ;
  - Cohérence du projet professionnel (bien l'expliquer dans la lettre de motivation).
- Calendrier de recrutement :
  - Ouverture du 04/05/2020 au 12/06/2020
  - Jury : directeurs des études, membres de l'équipe pédagogique
  - Publication admission : début juillet 2020.

Le Master peut accueillir en formation continue des étudiants issus d'une entreprise ou demandeurs d'emploi. Pour tout renseignement contacter la FCA : <http://formation-continue.univ-lille.fr/>

## ORGANISATION

---

Le master mention « Mathématiques et Applications » est constitué de trois parcours :

- **Calcul Scientifique (CS),**
- Ingénierie Statistique et Numérique – Data Sciences,
- Mathématiques, Finance Computationnelle, Actuariat.

Le premier semestre de ce master propose des unités d'enseignement communes à plusieurs parcours et une unité spécifique au parcours CS. Le second semestre de chaque parcours est complètement indépendant des autres. Chaque semestre du master 1 est organisé en blocs de compétences et de connaissances (BCC) : un BCC concerne les fondements théoriques (niveaux 1 et 2), l'autre BCC concerne les outils pratiques et d'ouverture (niveaux 1 et 2) et inclut également l'anglais et le projet étudiant.

Les étudiants peuvent personnaliser leur parcours à travers le projet étudiant. Au semestre 1, ils doivent choisir un module parmi deux propositions (Analyse Numérique avec C++, approfondissements ou Bases de données). Au semestre 2, ils choisissent soit de faire un mémoire de recherche long (Mémoire de recherche 1 et 2), soit un mémoire de recherche court (Mémoire de recherche 1) et un stage d'au moins 4 semaines dans une entreprise ou dans un laboratoire.

Pendant cette première année, l'étudiant commence à se familiariser avec les outils modernes de la modélisation mathématique et physique, de la résolution des équations aux dérivées partielles et des problèmes d'optimisation. Pour préparer les étudiants à être opérationnels en entreprise, une part importante est donnée aux techniques informatiques et au mémoire de recherche. L'association de cours classiques et de mini-projets est essentielle dans la formation. Elle permet de doter les étudiants d'un large spectre de compétences, allant des aspects théoriques de l'ingénierie mathématique jusqu'à leur mise en œuvre concrète sur ordinateur. L'apprentissage des bases de la programmation structurée, ainsi que l'utilisation de logiciels spécialisés, permet de travailler sur des cas modèles.

En master 1 le stage en entreprise ou en laboratoire est facultatif. Le BAIP pourra accompagner les étudiants dans la démarche de recherche de stage.

Enfin, dans le cadre de la formation, les étudiants suivent un enseignement d'anglais, et ont une salle à leur disposition pour l'accès aux ressources informatiques.

## STRUCTURE DE LA FORMATION

---

### SEMESTRE 1

---

ECTS	BCC Fondements théoriques 1
6	Probabilités : modèles et applications
6	Modélisation et approximation par différences finies
6	Optimisation convexe

ECTS	BCC Outils pratiques et ouverture 1
3	Analyse numérique avec C++, initiation
6	Analyse factorielle
3	Projet étudiant : au choix <ul style="list-style-type: none"><li>○ Analyse numérique avec C++, approfondissements</li><li>○ Bases de données</li></ul>

### SEMESTRE 2

---

ECTS	BCC Fondements théoriques 2
6	Etude de problèmes elliptiques et paraboliques
9	Outils numériques pour le calcul scientifique <ul style="list-style-type: none"><li>○ Méthodes spectrales et Fourier</li><li>○ Résolution numérique de problèmes non linéaires</li></ul>

ECTS	BCC Outils pratiques et ouverture 2
3	Anglais
6	Ouverture à la physique
3	Mémoire de recherche 1
3	Projet étudiant : au choix <ul style="list-style-type: none"><li>○ Mémoire de recherche 2</li><li>○ Stage dans une entreprise ou dans un laboratoire*</li></ul>

\* Le stage en entreprise ou en laboratoire n'est pas obligatoire. Si l'étudiant choisit de faire valider un stage, dont la durée minimale doit être de 4 semaines, il devra l'effectuer à partir de début juin 2021. Cela est donc incompatible avec les sessions de rattrapage des S1 et S2. Par ailleurs la convention de stage devra être établie suffisamment en amont de la période de stage. Le stage sera validé par un rapport de stage et une soutenance orale qui aura lieu début juillet, avant le jury des sessions de rattrapage.

## CONTROLE DES CONNAISSANCES

---

Les modalités d'évaluation sont propres à chaque unité d'enseignement (UE) et sont définies dans leurs descriptifs respectifs. Le contrôle continu (**CC**) est une note de Travaux Dirigés (interrogations écrites, devoirs maison, ...). Le devoir surveillé (**DS1**) est une épreuve de 2 heures organisée en cours de semestre. L'examen (**EX1**) est une épreuve de 2 ou 3 heures organisée en fin de semestre. Pour les modules avec une composante informatique, le projet (**PR**) est une note faisant intervenir la notation de compte-rendu(s) de projets et/ou de soutenance(s) en cours ou en fin de semestre. A noter que les modules d'Anglais, le Mémoire de recherche (1 et 2) et le Stage ont des modalités d'évaluation particulières.

On rappelle ici les règles relatives à la seconde session (à l'exception des unités d'enseignement « Anglais », « Mémoire de recherche » (1 et 2) et « Stage »).

La seconde session donne lieu à une note d'examen **EX2** qui remplace la note d'examen **EX1** de la première session de la même année universitaire. Les autres notes (contrôle continu **CC**, devoir surveillé **DS1**, éventuellement projet **PR**) sont conservées, sauf mention spécifique dans le descriptif de chaque UE.

Les étudiants ne sont pas tenus de passer à la seconde session tous les examens des unités d'enseignement qu'ils n'ont pas validés à la première session. Dans ce cas, c'est la note obtenue à la première session qui est conservée pour le jury de seconde session.

**Une unité d'enseignement (UE) suivie dans un semestre S est validée dans l'un des deux cas suivants :**

- **La note définitive de cette UE est supérieure ou égale à 10 ;**
- **Le BCC contenant cette UE est validé par compensation si la moyenne des notes des UE qui le composent est supérieure ou égale à 10.**

**Un semestre S est validé si les deux BCC qui le composent sont validés.**

Pour toute question, consulter le « Règlement des études 2020-2021 » de l'Université de Lille.

## CALENDRIER UNIVERSITAIRE 2020-2021

---

Vous trouverez ci-dessous un calendrier indicatif du déroulement de l'année.

Pré-rentrée	
Début enseignements S1	
Devoirs surveillés S1 (arrêt des cours et TD)	
Fin enseignements S1	
Épreuves de S1 (session 1)	
Début enseignements S2	
Devoirs surveillés S2 (arrêt des cours et TD)	
Fin enseignements S2	
Épreuves de S2 (session 1)	
Épreuves de rattrapage S1	
Épreuves de rattrapage S2	

### Interruptions pédagogiques

Toussaint	
Noël	
Hiver	
Printemps	

LE FORUM EMPLOI MATHS – 22 OCTOBRE 2020  
CITE DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE – PARIS

---

Toutes les informations sur

<https://www.2020.forum-emploi-maths.com>



Le FEM, c'est un focus sur les métiers des  
mathématiques dans tous les secteurs :



Banque



Énergie



Environnement



Santé



Sport

Le Forum Emploi Maths propose depuis plusieurs années de connecter les étudiants et les formations en mathématiques aux besoins des entreprises.

Pourquoi participer ?

- Découvrir des offres d'emplois et de stages étudiants et jeunes diplômés
- Découvrir les métiers des maths
- Rencontrer des entreprises et des entrepreneurs.

Inscription GRATUITE pour les étudiants et EN LIGNE sur le site du FEM2020.

Transport en bus offert par le Département de Mathématiques de la FST.

Pour toute question, contacter Caterina Calgaro, [caterina.calgaro@univ-lille.fr](mailto:caterina.calgaro@univ-lille.fr)

---

# PROGRAMME DES UNITES D'ENSEIGNEMENT

## SEMESTRE 1

---

### PROBABILITES: MODELES ET APPLICATIONS

---

**Code UE:** PMA - S1 UE1.1

**ECTS:** 6

**Cours :** 27 heures - **TD :** 27 heures

**Evaluation :** Note =  $(2*EX1+CC)/3$ . Session de rattrapage : Note = EX2 (la note CC n'est pas conservée).

#### **Descriptif de l'enseignement**

#### **Objectifs (en termes de savoir-faire) :**

Approfondissement des connaissances en probabilités pour étudier les modèles aléatoires apparaissant naturellement en mathématiques appliquées. Faciliter la compréhension des structures utilisées en statistique mathématique et en prévision.

#### **Programme succinct :**

1. Rappels et fondement de la théorie des probabilités
  - a. Espace probabilisé, mesure et intégration : convergence monotone et dominée, Fubini, changement de variables, probabilités équivalentes, théorème de Radon-Nikodym
  - b. Vecteurs aléatoires : loi, espérance, variance, covariance, indépendance
  - c. Vecteurs gaussiens, théorème de Cochran
2. Suites de variables aléatoires et mode de convergence
  - a. Convergence presque sûre, en probabilité,  $L_p$
  - b. Loi des grands nombres

- c. Convergence en loi
- d. Théorème central limite classique, théorème central limite de Lindeberg
- 3. Espérance conditionnelle d'une variable aléatoire
  - a. Par rapport à un événement, une tribu, un vecteur aléatoire
  - b. Cas particulier d'une variable aléatoire dans L2 : interprétation en termes de projection
  - c. Propriétés de l'espérance conditionnelle
  - d. Lois et densités conditionnelles, exemples de calculs
- 4. Chaînes de Markov à espace d'états fini ou dénombrable
  - a. Définition d'un processus aléatoire à temps discret, d'une chaîne de Markov, probabilités de transition, propriété de Markov
  - b. Temps d'arrêt et propriété de Markov forte
  - c. Classification des états : récurrence, transience, irréductibilité
  - d. Mesure invariante, mesure réversible
  - e. Apériodicité et convergence : convergence en loi, loi forte des grands nombres
- 5. Martingales à temps discret, applications en finance
  - a. Filtrations
  - b. Transformation de martingales
  - c. Processus prévisibles, exemple : stratégie de portefeuille
  - d. Processus de prix, condition d'autofinancement, probabilité-martingale (ou risque-neutre)
  - e. Modèle de Cox-Ross-Rubinstein (ou binomial)

**Compétences acquises (directes/indirectes) :**

- Maîtriser les bases du calcul des probabilités
- Modéliser et résoudre un problème aléatoire simple

**Responsable de l'UE :** Philippe Heinrich

# MODELISATION ET APPROXIMATION PAR DIFFERENCES FINIES

---

**Code UE : MADF S1 – UE1.2**

**ECTS**: 6

**Cours : 24 heures - TD : 30 heures**

**Evaluation : Note = max( EX1 , (EX1 + DS1)/2 )**

## **Descriptif de l'enseignement**

**Objectifs (en termes de savoir-faire) :**

- Savoir mettre en équation un modèle physique simple.
- Reconnaître les équations aux dérivées partielles elliptiques, paraboliques, hyperboliques.
- Savoir écrire un schéma numérique stable et consistant pour chaque équation type.
- Savoir implémenter les méthodes numériques avec Python. Savoir illustrer les résultats de convergence.

**Programme succinct :**

- Opérateurs différentiels et approximation (rappels sur la différentiabilité, opérateurs différentiels, intégration sur une surface ou un volume, théorème de Gauss et formule de Green, approximation différences finies).
- Equation de Laplace : de la modélisation à la simulation (exemple de modélisation conduisant à l'équation de Laplace, quelques propriétés des solutions classiques, schéma différences finies, consistance et stabilité, convergence)
- Equation de la chaleur : de la modélisation à la simulation (exemple de modélisation conduisant à l'équation de la chaleur, quelques propriétés des solutions, schémas différences finies, consistance, stabilité Linf et L2, convergence)
- Equations de transport : de la modélisation à la simulation (exemples de modélisation conduisant à une équation de transport 1D linéaire/non linéaire, étude théorique du problème linéaire, schémas différences finies, consistance, stabilité Linf, convergence, introduction au non linéaire)

**Compétences acquises (directes/indirectes) :**

A l'issue de cet enseignement, l'étudiant sera capable de concevoir un algorithme d'approximation de la solution d'une équation aux dérivées partielles linéaire/non linéaire. De plus, il aura un œil critique sur les résultats obtenus par son implémentation numérique.

**Responsable de l'UE** : Claire Chainais

# OPTIMISATION CONVEXE

---

**Code UE:** OC S1 – UE1.3

**ECTS:** 6

**Cours :** 24 heures - **TD :** 30 heures

**Evaluation :** Note = Max ( EX1 , (EX1+DS1)/2 ).

## **Descriptif de l'enseignement :**

Le cours traite d'optimisation convexe en un nombre fini de variables continues. Après une présentation solide de la théorie, une bonne partie du cours est consacrée à la présentation de méthodes d'optimisation numériques et à l'étude de leur convergence.

## **Objectifs (en termes de savoir-faire) :**

Savoir identifier un problème d'optimisation convexe. Reconnaître son type (sans contraintes / contraintes affines, contraintes convexes). Connaître les critères d'optimalité associés, savoir les écrire et les manipuler. Savoir définir le problème dual. Savoir proposer des algorithmes de résolution approchée.

## **Programme succinct :**

- Notions de base sur les ensembles et fonctions convexes en dimension finie ainsi que leurs propriétés élémentaires (stabilité par intersection des convexes fermés, somme et composition de fonctions convexes, ...).
- Définition d'un problème d'optimisation convexe, exemples, existence de minimiseurs (coercivité), unicité (stricte convexité)
- Notions de continuité et différentiabilité.
- Conditions d'optimalité et application à la résolution explicite sur quelques exemples.
- Lagrangien, problème dual et équations d'Euler-Lagrange, Théorème KKT
- Algorithmes d'optimisation avec preuve des convergences des algorithmes :
  1. Sans contraintes (méthodes de gradients, Newton et quasi Newton),
  2. Avec contraintes affines égalités (méthode d'élimination),
  3. Cas des contraintes inégalités : (gradient projeté, méthode des points intérieurs, méthode d'Uzawa, ...)

## **Compétences acquises (directes/indirectes) :**

Les étudiants sauront reconnaître et manipuler un problème d'optimisation convexe, tenter de le résoudre à la main à l'aide des critères d'optimalité. Si cela ne fonctionne pas, ils sauront proposer des méthodes de résolution numérique efficaces et comprendre d'autres méthodes qu'ils pourront rencontrer dans d'autres contextes. Une compétence acquise indirectement : comprendre la notion d'erreur dans une méthode numérique itérative et savoir comment l'étudier.

**Responsable de l'UE :** Benoit Merlet

# ANALYSE NUMERIQUE AVEC C++, INITIATION

---

**Code UE : ANAC1 S1 – UE2.1**

**ECTS : 3**

**Cours : 9 heures - TD : 18 heures**

**Evaluation : Note = (EX1+PR)/2.**

## **Descriptifs de l'enseignement**

### **Objectifs (en termes de savoir-faire) :**

Initier les étudiants à la maîtrise du langage de programmation C++ et de la programmation structurée. Remettre à niveau les étudiants qui n'ont pas reçu d'enseignement en programmation afin de combler leurs lacunes.

### **Programme succinct :**

- Syntaxe de base en C/C++ et bonnes pratiques de programmation.
- Les variables et types élémentaires ainsi que leurs opérateurs.
- Instructions conditionnelles, boucles.
- Utilisation simple des entrées/sorties clavier/écran et fichier.
- Fonctions définies par l'utilisateur, transmission des arguments, structuration d'un programme (.cpp, .h)
- Tableaux à une dimension et leur manipulation avec la notion de complexité d'un programme.
- Notion de Classes et Objets (attributs, méthodes, constructeurs, invocation de méthodes, this, encapsulation)
- Utilisation de la librairie standard STL : la classe « vector », ses constructeurs et ses méthodes.
- Stockage creux d'une matrice (diagonal, CSR, CSC). Opérations avec les matrices et les vecteurs.
- Quelques applications possibles : PageRank de Google (calcul de valeurs propres, rappel méthode de la puissance), approximation d'une matrice par des matrices de rang faible (rappel SVD), décomposition QR pour une matrice de rang faible (rappel factorisation QR).

### **Compétences acquises (directes/indirectes) :**

À la fin de cet enseignement, les étudiants seront capables de concevoir un programme simple dans le langage C/C++, avec les entrées/sorties clavier/écran. Des notions de conception objet seront également abordées.

**Responsable de l'UE** : Caterina Calgaro

# ANALYSE FACTORIELLE

---

**Code UE** : AF S1 – UE2.2

**ECTS** : 6

**Cours** : 18 heures - **TD** : 36 heures

**Evaluation** : Note =  $(2*EX1+PR)/3$ .

## **Descriptifs de l'enseignement**

### **Objectifs (en termes de savoir-faire) :**

- Mettre en œuvre des techniques standards par des logiciels spécialisés
- Représenter les données en vue d'études statistiques ultérieures

### **Programme succinct :**

- Analyse en composantes principales
- Analyse factorielle des correspondances
- Méthodes de positionnement (MDS)
- Représentation de graphe

### **Compétences acquises (directes/indirectes) :**

- Analyse des données du point de vue de l'algèbre linéaire
- Interpréter/présenter les résultats en vue d'un échange avec des non-statisticiens

**Responsable de l'UE** : Nicolas Wicker

## PROJET ETUDIANT

---

**Code UE : PE S1 – UE2.3**

**ECTS : 3**

L'étudiant devra choisir entre les deux éléments constitutifs suivants :

- Analyse numérique avec C++, approfondissements (ANAC2)
- Bases de données (BDD)

Pour plus de cohérence avec la poursuite en master, les étudiants du parcours ISN sont incités à choisir ANAC2.

### ELEMENT CONSTITUTIF 1 :

#### ANALYSE NUMERIQUE AVEC C++, APPROFONDISSEMENTS

---

**Code EC1 : ANAC2 S1**

**Cours : 9 heures - TD : 18 heures**

**Evaluation : Note = (EX1+PR)/2**

#### **Descriptifs de l'enseignement**

##### **Objectifs (en termes de savoir-faire) :**

Approfondir la maîtrise du langage de programmation C++ et de la programmation structurée. Etudier des méthodes itératives pour la résolution des grands systèmes linéaires (gradient conjugué, méthodes de Krylov). Introduire le concept de pré-conditionnement et sa nécessité pratique. Illustrer les notions vues dans les cours théoriques à travers un projet conséquent.

##### **Programme succinct :**

1) Résolution des systèmes linéaires par méthodes itératives : méthodes de descente, méthode de gradient conjugué (algorithme, propriété d'optimalité, taux de convergence), méthodes de Krylov (méthodes FOM et GMRES, implémentation et résultats de convergence).

2) Pré-conditionnement : présentation de différentes techniques de pré-conditionnement (SSOR, factorisation incomplète), variantes pré-conditionnées des algorithmes vus précédemment.

3) A travers les TD et la réalisation d'un projet, les étudiants programmeront en C++ les algorithmes vus en cours (ou des variantes) pour la résolution numérique de systèmes linéaires creux de grande taille. Le langage Python sera aussi utilisé pour la représentation graphique des résultats numériques.

**Compétences acquises (directes/indirectes) :**

Les étudiants sauront résoudre certains problèmes de calcul scientifique : de la modélisation jusqu'à l'analyse des résultats numériques. Ils sauront appliquer les méthodes efficaces de résolution de systèmes linéaires creux de grande taille et implémenter ces méthodes dans un langage orienté objet (C++).

**Responsable de l'EC1 :** Caterina Calgaro

---

**ELEMENT CONSTITUTIF 2 : BASES DE DONNEES**

---

**Code EC2 :** BDD S1

**CM/TD :** 24 heures

**Evaluation :** Note = (EX1+PR)/2

**Descriptifs de l'enseignement****Objectifs (en termes de savoir-faire) :**

- Concevoir un modèle conceptuel de données (MCD)
- Concevoir un schéma relationnel de données (SRD)
- Administrer une base de données (BD).

**Programme succinct :**

- MCD, SRD, passage de MCD à SRD
- Dépendances fonctionnelles, normalisation
- Manipulation, définition et sécurité des données
- Langage SQL
- Application des BD en java avec JDBC

**Compétences acquises (directes/indirectes) :**

- Maîtriser les bases du langage SQL
- Être capable de construire, manipuler et administrer une BD

**Responsable de l'EC2 :** Nicolas Wicker

---

# SEMESTRE 2

---

## ETUDE DE PROBLEMES ELLIPTIQUES ET PARABOLIQUES

---

**Code UE:** EPEP S2 – UE3.1

**ECT :** 6

**Cours :** 24 heures - **TD :** 30 heures

**Evaluation :** Note = Max ( EX1 , (EX1+DS1)/2 ).

### Descriptifs de l'enseignement

#### **Objectifs (en termes de savoir-faire) :**

Acquérir des connaissances sur les espaces de Sobolev, sur l'existence et l'unicité de la solution de certaines EDP elliptiques ou paraboliques, et sur la notion d'approximation interne d'une solution.

#### **Programme succinct :**

##### **1. Notions élémentaires sur les espaces de Sobolev**

Rappels d'analyse (la convergence faible et les espaces  $L^p$ ). Définition des espaces  $H^m$  et  $H_0^m$ , inégalité de Poincaré, Théorème de trace, formule de Green, recollement d'espaces de Sobolev.

##### **2. Problèmes elliptiques**

Formulation variationnelle, Théorème de Lax-Milgram.

##### **3. Approximation variationnelle**

Méthode d'approximation interne, Lemme de Céa, résultat de convergence général par densité.

##### **4. Problèmes paraboliques**

Diagonalisation du laplacien, existence et unicité pour la chaleur, approximation Euler-Galerkin et convergence (par densité pour la partie spatiale).

##### **5. Illustrations avec FreeFem++**

Utilisation de FreeFem++ en mode boîte noire pour manipuler la formulation variationnelle de quelques EDP et comprendre l'idée d'approximation.

#### **Compétences acquises (directes/indirectes) :**

Comprendre les notions d'existence et unicité de quelques problèmes aux limites stationnaires ou évolutifs et en faire la preuve mathématique.

**Responsable de l'UE :** André De Laire

# OUTILS NUMERIQUES POUR LE CALCUL SCIENTIFIQUE

---

**Code UE:** ONCS S2 – UE3.2

**ECTS:** 9

## ELEMENT CONSTITUTIF 1 : METHODES SPECTRALES ET FOURIER

---

**Code EC1 :** S2

**Cours :** 18 heures - **TD :** 22 heures

**Evaluation :** Note =  $\text{Max}( \text{EX1}, (\text{DS1}+\text{EX1})/2 )/2 + \text{Projet}/2$

### Descriptifs de l'enseignement

#### **Objectifs (en termes de savoir-faire) :**

Acquérir des connaissances larges sur les méthodes spectrales, pour résoudre de cette manière des EDP linéaires puis non linéaires avec des méthodes numériques d'ordre très élevé.

#### **Programme succinct :**

##### 1/ Analyse de Fourier & Applications aux EDP :

Rappels sur les séries de Fourier, application à la résolution de l'équation de la chaleur et des ondes ;  
Transformée de Fourier et application à la chaleur (propriétés qualitatives du noyau de la chaleur) ;  
Transformée de Fourier Discrète : construction, lien avec les séries de Fourier, comparaison des trois approches (séries, transformée, et DFT) ;  
Résolution d'EDP non linéaires de manières approchées : Kdv, Allen-Cahn ;  
Transformée de Fourier rapide : dérivation, implémentation et utilisation ;  
Traitement du signal : compression, débruitage, détection de contours ;

##### 2/ Polynômes orthogonaux et collocation :

Construction d'espaces L2 à poids et des familles de polynômes orthogonaux associées ;  
Propriétés de ces polynômes, calcul effectif de leurs racines ;  
Constructions des quadratures de Gauss, Gauss-Radau, Gauss-Lobatto ;  
Applications aux méthodes de collocation fortes : matrices de différenciations, Transformée de Chebychev rapide, etc.  
Résolution de l'équation Cahn-Hilliard sur domaine rectangulaire.

#### **Compétences acquises (directes/indirectes) :**

Bibliothèques de calcul scientifique en C++ (Boost, eigen, etc) ; traitement du signal ; FFT, collocation, résolution d'EDP par méthodes pseudo-spectrales.

**Responsable de l'EC1 :** Thomas Rey

**ELEMENT CONSTITUTIF 2 :**  
**RESOLUTION NUMERIQUE DE PROBLEMES NON LINAIRES**

---

**Code EC2 :** S2

**Cours :** 18 heures - **TD :** 22 heures

**Evaluation :** Note =  $\text{Max}(EX1, (DS1+EX1)/2) / 2 + \text{Projet}/2$

**Descriptifs de l'enseignement**

Cet enseignement traite de méthodes numériques pratiques et efficaces pour résoudre des problèmes non-linéaires : d'abord ceux donnés par un système d'équations général, ensuite ceux qui s'écrivent comme des problèmes d'optimisation continue.

**Objectifs (en termes de savoir-faire) :**

Savoir identifier un système non linéaire ou un problème d'optimisation continue. Savoir proposer des méthodes de résolution numérique et savoir les mettre en œuvre en utilisant un langage de programmation (C++ et Python). Savoir évaluer numériquement la convergence et l'efficacité de la méthode.

**Programme succinct :**

- Méthode de point fixe, méthode de Newton et quasi Newton. Ordre de convergence. Mise en œuvre et vérification de l'ordre de convergence.
- Méthodes de descente pour les problèmes d'optimisation sans contraintes (gradient, gradient conjugué non-linéaire, ...). Exemple d'application : apprentissage d'un réseau de neurones.
- Mise en œuvre de la méthode de gradient projeté pour les problèmes d'optimisation convexe avec contrainte. Exemple d'application : gestion de portefeuille.
- Mise œuvre de méthodes de pénalisation pour les problèmes d'optimisation sous contraintes de type inégalités (méthode des point intérieurs).
- Mise en œuvre de l'algorithme d'Uzawa pour les problèmes d'optimisation convexe avec contrainte (exemple d'application : forme d'une goutte donnée par l'équilibre entre la gravité et la tension de surface).

**Compétences acquises (directes/indirectes) :**

Les étudiants connaîtront les différentes familles de méthodes de résolution numérique de systèmes non-linéaires et de problèmes d'optimisation continue (méthodes de gradients ou de type Newton et méthodes de projection, de pénalisation ou utilisant la dualité pour les problèmes d'optimisation sous contrainte). Ils sauront choisir et mettre en œuvre les algorithmes pertinents à l'aide de C++ et Python. Ils sauront évaluer numériquement l'efficacité de ces algorithmes.

**Responsable de l'EC2 :** Benoit Merlet

## ANGLAIS

---

**Code UE: A S2 – UE4.1**

**ECTS : 3**

**Cours-TD : 30 heures**

**Evaluation : elle se compose d'une note d'examen écrit (CE + PE), d'un oral (IO), et d'un « test blanc » de certification type TOEIC (CO+CE) qui donnera lieu à une note/20.**

**La note globale sur 20 étant calculée par :**

**1<sup>ère</sup> session :** Ecrit/40 + Int. Orale/20 + Note éq. TOEIC Blanc/20 (CO+CE)

**2<sup>ème</sup> session :** Note éq. TOEIC blanc/20.

### **Descriptifs de l'enseignement**

#### **Objectifs (en termes de savoir-faire) :**

Dans les 4 compétences de compréhension et de production, on vise le **niveau B2** du Cadre Européen Commun de Référence en langues [CECR]. Sensibilisation aux différentes certifications et examens de langues afin de mieux préparer leur projet professionnel.

#### **Connaissances :**

On travaillera l'anglais général à partir de supports de vulgarisation scientifique. Leur étude permettra de déboucher sur des synthèses orales ou écrites ou des discussions (interactions orales). L'anglais de communication scientifique sera abordé par le biais de l'anglais de spécialité (présentation sur Power-Point etc...).

On abordera la pratique de l'anglais de communication professionnelle en entreprise au travers de mises en situation dans le cadre de recherches de stages, de jeux de rôle etc...(rédaction de CV, lettre de motivation, entretien etc...).

#### **Pré Requis :**

En conformité avec le projet « Langues » de l'Université de LILLE. Les étudiants devront effectuer **un test de positionnement en anglais.**

**Responsable de l'UE :** Nicole Chapel

## OUVERTURE A LA PHYSIQUE

---

**Code UE : OP S2 – UE4.2**

**ECTS : 6**

**Cours : 24 heures - TD : 30 heures**

**Evaluation : Note =  $\text{Max}(EX1, (DS1+EX1)/2) * 2/3 + PR/3$**

### **Descriptifs de l'enseignement**

#### **Objectifs (en termes de savoir-faire) :**

L'objectif est de compléter les connaissances des étudiants en physique et plus particulièrement dans le domaine de l'électromagnétisme appliqué aux milieux matériels. Dans un premier temps, les différents phénomènes physiques sont présentés afin d'introduire les lois et équations de l'électromagnétisme. On terminera par l'établissement des équations de Maxwell et leur large domaine d'applications

#### **Programme succinct :**

- Electrostatique :  
Distribution de charges. Champ et induction électrique. Théorème de Gauss, Équation de Laplace. Calcul de condensateur. Énergie électrostatique.
- Electrocinétique :  
Charges en mouvements. Densité de courant. Forme locale de la loi d'Ohm. Calcul de résistance.
- Magnétostatique :  
Champ et induction magnétique. Théorème d'Ampère. Calcul d'inductance. Notion de réluctance. Energie Magnétique.
- Régimes variables, ARQS :  
Magnéto-quasistatique. Electro-quasistatique.
- Ondes planes électromagnétiques dans le vide :  
Etablissement des équations de Maxwell dans le vide. Ondes planes harmoniques. Propagation de l'énergie et vecteur de Poynting.

Lors des séances de TD, des simulations numériques, à l'aide d'un logiciel basé sur la méthode des éléments finis (EF), seront réalisées afin d'illustrer les différents chapitres du cours et les exercices de TD.

Les étudiants seront amenés à réaliser un projet de courte durée en binôme. Les outils utilisés seront le langage Python et un logiciel EF de résolution de problèmes d'électromagnétisme. L'idée est de piloter le logiciel EF via un code Python. Une telle démarche permettra de poser des sujets de projet autour de la mise en œuvre de méthodes d'optimisation appliquée à une géométrie d'un dispositif électrique ou bien encore en vue de réaliser des simulations multi-physiques.

**Compétences acquises (directes/indirectes) :**

Au terme de l'enseignement, l'étudiant sera capable de poser les équations associées à un problème d'électromagnétisme. Pour des dispositifs à géométrie simple, il sera capable de résoudre le problème de manière analytique. Pour des systèmes complexes, l'étudiant doit être disposé à formaliser le problème afin qu'il puisse être résolu par une approche numérique telle que la méthode des éléments finis, par exemple.

**Responsable de l'UE :** Thomas Henneron

## MEMOIRE DE RECHERCHE

---

**Code UE:** MDR1 S2 – UE4.3

**ECTS:** 3

**Evaluation :** La note est constituée par l'évaluation du travail effectué (encadrant), d'un rapport écrit et d'une soutenance orale (jury).

**Objectifs (en termes de savoir-faire) :**

Mettre en œuvre les connaissances théoriques et pratiques acquises en mathématiques appliquées sur un problème concret, éventuellement réalisé en collaboration avec des partenaires socio-économiques. Apprendre à travailler en petite équipe afin de mener un projet de grande ampleur.

**Programme succinct :**

Le mémoire de recherche est un projet complet, mettant en œuvre des connaissances théoriques et des aspects applicatifs liés à l'informatique. Les étudiants choisissent un sujet dans une liste proposée par les enseignants du master 1 et des laboratoires de recherches concernés. Ces sujets sont généralement pris dans des projets industriels ou de recherche déjà réalisés. Ils peuvent correspondre à des pré-études (faisabilité, ...) débouchant éventuellement sur un stage d'été en laboratoire. L'étudiant réalise le projet sous la direction d'un enseignant responsable du sujet et il produit un rapport écrit. Une soutenance orale (environ 20 minutes) est organisée devant un jury d'enseignants et toute la promotion du master 1.

**Compétences acquises (directes/indirectes) :**

Savoir rechercher des bases bibliographiques, approfondir des éléments théoriques du sujet, mettre en œuvre sur ordinateur des algorithmes de résolution, analyser de façon critique les résultats obtenus, rédiger un rapport écrit, présenter à l'oral les résultats obtenus.

## PROJET ETUDIANT

---

**Code UE** : PE S2 – UE4.4

**ECTS** : 3

**Evaluation** : La note est constituée par l'évaluation du travail effectué (encadrant), d'un rapport écrit et d'une soutenance orale (jury).

L'étudiant devra choisir entre les deux éléments constitutifs suivants :

---

### ELEMENT CONSTITUTIF 1 : MEMOIRE DE RECHERCHE, PARTIE 2

---

**Code EC1** : MDR2

L'étudiant devra poursuivre le travail proposé dans la première partie du mémoire de recherche.

---

### ELEMENT CONSTITUTIF 2 : STAGE

---

**Code EC2** : Stage

L'étudiant devra effectuer un stage en entreprise ou en laboratoire, dont la durée minimale doit être de 4 semaines. Le stage doit être effectué à partir de début juin et sa durée peut éventuellement dépasser les 4 semaines.

A la fin du stage, ou après 4 semaines, l'étudiant produit un rapport écrit. Une soutenance orale (environ 20 minutes) est organisée devant un jury d'enseignants et aura lieu début juillet, avant le jury des sessions de rattrapage. Ce calendrier est donc incompatible avec les sessions de rattrapage des S1 et S2. Par ailleurs la convention de stage devra être établie suffisamment en amont de la période de stage.