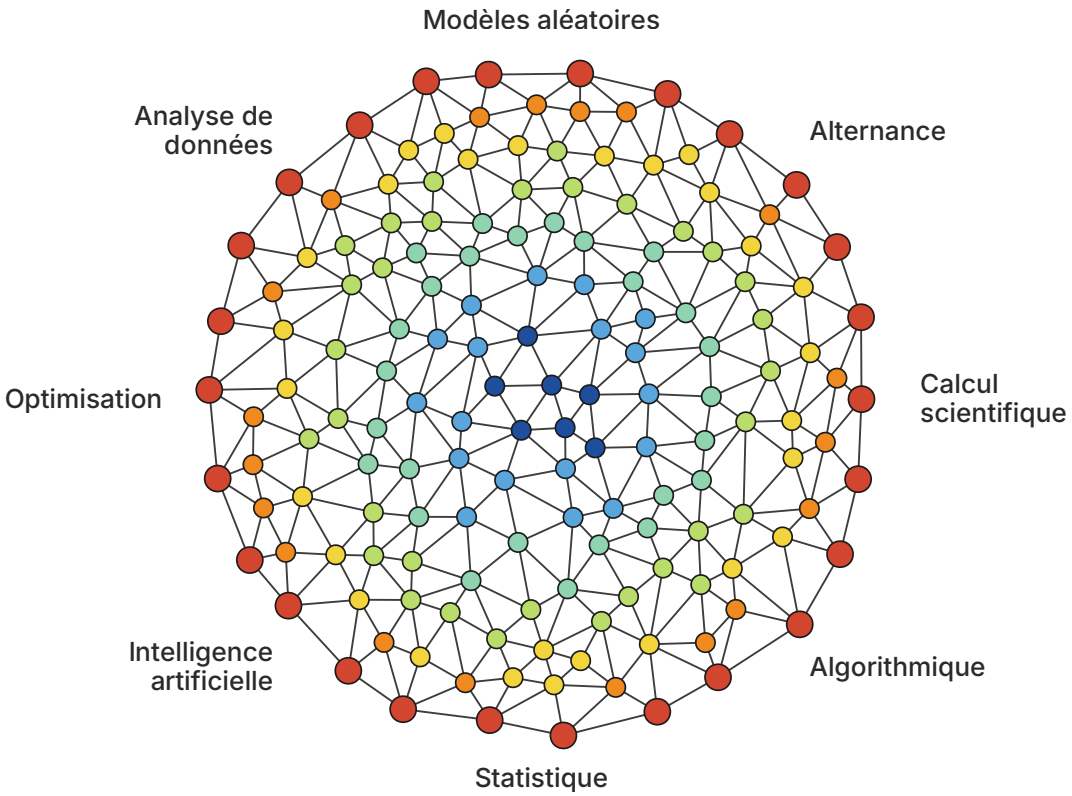
master **migs**

Mathématiques pour l'**I**ngénierie,
al**G**orithmique, **S**tatistique

MASTER MATHÉMATIQUES ET APPLICATIONS

Présentation de la formation et programme des enseignements

Master 1 | Master 2



Université Bourgogne Europe
UFR Sciences et Techniques · Campus de Dijon

Institut de Mathématiques de Bourgogne
UMR 5584 CNRS

Le master MIGS.

Le parcours **Mathématiques pour l'Ingénierie, alGorithmique, Statistique** du master Mathématiques et applications forme en deux ans des cadres au profil « ingénieur mathématicien », associant une solide culture en mathématiques appliquées à une vraie maîtrise de l'informatique scientifique.

2 ans 120 ECTS M1 + M2	**20** places par promotion	**M2** ouvert à l'alternance (apprentissage, contrat pro)	**4–6 mois** de stage en fin de M2

Objectifs

Le master MIGS forme des cadres dotés d'une double compétence, immédiatement valorisable en entreprise : **mathématiques appliquées** (statistique, optimisation, probabilités, machine learning, intelligence artificielle) et **informatique scientifique** (C/C++, Python, R, SAS, SQL). La formation s'articule autour de trois domaines d'application en fort développement dans l'industrie et les services : la **modélisation statistique et l'analyse des données**, le **calcul scientifique** (EDP numériques) et l'**optimisation**. Statistique, calcul scientifique, optimisation et algorithmique sont au cœur des enseignements, dispensés en français.

Compétences visées

- Modélisation déterministe et stochastique
- Statistique et science des données
- Calcul scientifique et optimisation
- Algorithmique et programmation
- Intelligence artificielle et machine learning
- Mathématiques pour la santé

Organisation des études

Master 1. Deux semestres (septembre–janvier, janvier–mai) d'enseignements obligatoires qui posent les bases : optimisation, probabilités, algorithmique, analyse des données, statistique inférentielle, calcul scientifique et analyse numérique. Au second semestre, un projet personnel Math-Info est réalisé en binôme sur un sujet proposé par un membre de l'IMB. Un stage facultatif d'au moins un mois peut être effectué entre mai et août.

Master 2. Approfondissement en optimisation, machine learning et IA, mathématiques pour la santé, calcul scientifique, modélisation statistique, Big Data et modèles aléatoires. Le M2 peut se faire en **alternance** (une semaine sur deux en entreprise). L'année se conclut par un **stage de 4 à 6 mois** en entreprise ou en laboratoire de recherche (université, CNRS, INRAE, Inria, CHU, CEA…).

Ils ont accueilli des alternants MIGS

FFCD, CGFL, CHU Dijon, EDF, Caisse d'Épargne BFC, Crédit Agricole, Danone, Suez, DREETS, MGEN, JTEKT…

Débouchés

Les compétences des diplômés sont très recherchées et permettent d'accéder rapidement à un emploi de niveau ingénieur : **data scientist**, **biostatisticien·ne**, **ingénieur·e mathématicien·ne**, **ingénieur·e en calcul**

scientifique. Les anciens étudiants travaillent dans des secteurs très variés : recherche médicale et industrie pharmaceutique, banque, assurance, aéronautique, énergie, agroalimentaire, ainsi que dans le secteur public (hôpitaux, instituts de recherche).

Le master ouvre aussi la voie au **doctorat** en mathématiques appliquées, intelligence artificielle ou informatique scientifique, puis aux carrières de la recherche et de l'enseignement supérieur : ces dernières années, 10 à 20 % des diplômés ont poursuivi en thèse.

La vie du master

- **École de printemps en sciences des données** — journée d'échanges et de formation réunissant les étudiants de M1 et les enseignants des masters de Dijon et de Besançon.
- **Forum Emploi Maths** — visite du forum entreprises organisé par l'AMIES à Paris, et rencontres avec d'anciens étudiants venus présenter leur métier.

Candidater

Entrée en M1 sur dossier, pour les titulaires d'une licence de mathématiques ou d'un diplôme équivalent, via la plateforme **Mon Master** (ou **Campus France** pour les candidats internationaux concernés). **Entrée en M2** sur dossier, via **e-candidat**.

Contacts

RESPONSABLE DU M1
Cristian Mendico
Maître de conférences, Institut de Mathématiques de Bourgogne
master-migs@ube.fr

RESPONSABLE DU M2
Hervé Cardot
Professeur, Institut de Mathématiques de Bourgogne
master-migs@ube.fr

SECRÉTARIAT PÉDAGOGIQUE
Mylène Mongin
Département de mathématiques
03 80 39 58 10 · secretariat.maths@ube.fr

EN LIGNE
blog.ube.fr/migs
Actualités, projets et stages, inscriptions
formations.ube.fr

Structure de la formation.

Tous les enseignements sont obligatoires. Chaque année représente 60 crédits ECTS.

Master 1 · Semestre 1 (septembre – janvier)

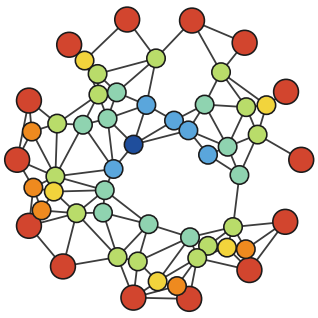
MIGS1-1	Optimisation 1	6
MIGS1-2	Probabilités	6
MIGS1-3	Algorithmique et programmation	6
MIGS1-4	Analyse des données	6
MIGS1-5a	Anglais	3
MIGS1-5b	Projet personnel	3
	Total	**30**

Master 1 · Semestre 2 (janvier – mai)

MIGS2-1	Algorithmes stochastiques	6
MIGS2-2	Statistique inférentielle	6
MIGS2-3	Calcul scientifique 1	6
MIGS2-4	Analyse numérique	6
MIGS2-5	Projet personnel	6
	Total	**30**

Master 2 (année complète)

UE1	Optimisation 2	6
UE2	Machine learning et intelligence artificielle	6
UE3	Mathématiques pour la santé	6
UE4	Calcul scientifique 2	3
UE5	Modélisation statistique	3
UE6	Statistique pour les Big Data	3
UE7	Modèles aléatoires — Modélisation probabiliste et algorithmique	3
UE8	Algorithmes stochastiques 2	3
UE9	Programmation avancée	3
UE10	Anglais	2
UE11	Connaissance de l'entreprise	1
UE12	Projet personnel	6
UE14	Stage	15
	Total	**60**



M1 Programme du Master 1.

Master in Applied Mathematics (MIGS) — 1st year program

Semestre 1 septembre – janvier

MIGS1-1

6 ECTS

Optimisation 1

Optimization 1

Introduction à l'optimisation continue, différentiable et non linéaire, ainsi qu'aux méthodes numériques permettant de résoudre de tels problèmes. Un premier chapitre est consacré à la définition d'un problème d'optimisation, aux conditions suffisantes d'existence d'une solution et à celles garantissant son unicité (ces dernières étant liées à la notion de convexité, fondamentale en optimisation). Des prérequis en topologie et en calcul différentiel sont nécessaires.

Les chapitres suivants traitent, pour l'optimisation sans contrainte puis avec contraintes, des conditions d'optimalité satisfaites par une solution (conditions de Fermat, de Lagrange ou de KKT) et des algorithmes de résolution numérique (directions de descente, gradient, Newton et quasi-Newton, gradient projeté, dualité, ...).

TP en Python

MIGS1-2

6 ECTS

Probabilités

Probability

La première moitié du cours porte sur la caractérisation des lois de probabilité et de la convergence en loi : fonction de répartition, fonction caractéristique et, plus généralement, diverses caractérisations fonctionnelles. Ces résultats sont illustrés par la démonstration du théorème de Lévy, appliqué ensuite au théorème central limite ; c'est aussi l'occasion d'aborder les vecteurs gaussiens.

La seconde moitié est consacrée aux notions fondamentales d'espérance et de lois conditionnelles, élémentaires dans le cadre discret mais bien plus théoriques dans le cadre général. Elles constituent des prérequis essentiels pour les martingales et les chaînes de Markov étudiées au second semestre (Algorithmes stochastiques).

MIGS1-3

6 ECTS

Algorithmique et programmation

Algorithmic and Programming

Introduction aux structures de données et aux algorithmes pour les étudiants en mathématiques. L'UE comprend une partie théorique dédiée à leur conception et à leur analyse, et une partie appliquée consacrée à leur mise en œuvre à travers l'apprentissage d'un langage de programmation.

MIGS1-4

6 ECTS

Analyse des données

Data Analysis

Outils classiques de statistique pour l'analyse des données multidimensionnelles : point de vue géométrique sur la régression linéaire simple et multiple, réduction de la dimension et analyse en composantes principales, analyse discriminante géométrique et décisionnelle, classification non supervisée (algorithme des k-means et algorithme de Ward).

TP sous R et R Markdown

MIGS1-5a

3 ECTS

Anglais

English

Approfondissement des compétences d'expression et de compréhension, écrites et orales, en anglais de spécialité, dans la continuité de la L3 et avant le M2 (accent mis sur l'écrit en M1, sur l'oral en M2). Les étudiants apprennent à maîtriser la langue propre aux mathématiques (lexique, phonologie, lecture de formules et de graphiques simples…) à travers des supports variés, récents et authentiques (articles de presse, vidéos…).

MIGS1-5b

3 ECTS

Projet personnel

Personal Project

Semestre 2 janvier – mai

MIGS2-1

6 ECTS

Algorithmes stochastiques

Stochastic Algorithms

Les variables aléatoires ne suffisent pas toujours à décrire une situation dépendant du hasard : il faut parfois en décrire l'évolution au cours du temps à l'aide de suites de variables aléatoires, les processus stochastiques à temps discret (martingales, chaînes de Markov). Le cours combine une exploration théorique de ces processus et une approche algorithmique mise en œuvre sur des applications concrètes.

Au programme : génération de nombres aléatoires, méthodes de Monte-Carlo pour l'intégration, martingales (théorème d'arrêt, théorèmes limites) et chaînes de Markov (classification des états, théorèmes ergodiques).

Python

MIGS2-2

6 ECTS

Statistique inférentielle

Statistical Inference

Outils de base de l'inférence statistique : modèles statistiques et estimateurs (définition, biais, risque quadratique), méthode des moments et maximum de vraisemblance, information de Fisher et borne de Cramér-Rao, estimation par intervalles, tests d'hypothèses (rapport de vraisemblance, tests du χ^2), estimation et inférence dans le modèle linéaire gaussien.

TP sous R

MIGS2-3

6 ECTS

Calcul scientifique 1

Scientific Computing 1

Introduction aux méthodes numériques pour les équations différentielles ordinaires (EDO). En partant de l'interpolation polynomiale, les différences finies sont introduites pour approcher les dérivées ; l'ordre d'une méthode numérique et la notion de stabilité sont discutés. Ces outils sont appliqués aux EDO linéaires, non linéaires et singulières. Les aspects de la théorie des EDO nécessaires à une utilisation efficace des méthodes numériques sont également présentés.

MIGS2-4

6 ECTS

Analyse numérique

Numerical Analysis

Approfondissement des méthodes numériques d'algèbre linéaire, utiles à une large classe de problèmes de modélisation, de calcul scientifique, d'optimisation et de statistique. La première partie porte sur la résolution efficace de systèmes linéaires creux de grande dimension, rencontrés notamment en simulation numérique : méthodes itératives de Krylov, au cœur de la plupart des codes de calcul modernes, avec une attention particulière au gradient conjugué (matrices symétriques) et à GMRES (matrices non symétriques).

La seconde partie traite des systèmes linéaires mal posés par la méthode des moindres carrés, situation fréquente dans les applications industrielles et en analyse de données : formalisme général via la décomposition en valeurs singulières, puis techniques pratiques de résolution, en particulier la décomposition QR par la méthode de Householder, à la base de nombreux logiciels de calcul scientifique.

MIGS2-5

6 ECTS

Projet personnel

Personal Project

Projets Math-Info : les étudiants travaillent de façon autonome, en binôme, sur un sujet proposé par un membre de l'Institut de Mathématiques de Bourgogne. Ils rédigent un rapport, produisent du code (Python, R, C++, Scilab, ...) et présentent leur travail lors d'une soutenance.

M2 Programme du Master 2.

Master in Applied Mathematics (MIGS) — 2nd year program

UE1

6 ECTS

Optimisation 2

Optimization 2

Méthodes proximales en optimisation convexe

Étude de problèmes d'optimisation convexe non différentiables, qui apparaissent en statistique, en traitement du signal, en imagerie, etc. Méthodes itératives fondées sur la notion d'opérateur proximal : algorithme Forward-Backward pour le problème LASSO, algorithme de Douglas-Rachford pour le problème Basis Pursuit, etc. Ces algorithmes sont implémentés en vue de leur utilisation dans le cours « Statistique pour les Big Data ».

Algorithme du simplexe et méthodes de points intérieurs en programmation linéaire

Les deux grandes familles d'algorithmes de résolution des problèmes de programmation linéaire : l'algorithme du simplexe et les algorithmes de points intérieurs. Le volet théorique traite des résultats d'existence, des conditions d'optimalité et de la convergence des deux algorithmes. Le volet pratique consiste à les programmer (Matlab, Scilab ou Python) et à les tester sur des problèmes de petite et moyenne taille, puis sur des problèmes de grande taille issus de la bibliothèque Netlib.

UE2

6 ECTS

Machine learning et intelligence artificielle

Machine Learning & AI

Machine learning

Introduction pratique à la programmation Python pour le machine learning : à l'aide des bibliothèques classiques, les étudiants apprennent à prétraiter les données et à créer, entraîner, évaluer et optimiser efficacement des modèles d'apprentissage.

- Prétraitement des données et *feature engineering* avec numpy, pandas et scikit-learn.
- Apprentissage supervisé : modèles de classification et de régression (modèles linéaires, forêts aléatoires...), évaluation des performances (métriques, validation croisée), optimisation des hyperparamètres.
- Apprentissage non supervisé : clustering, détection d'anomalies, réduction de la dimension.

Deep learning

Réseaux de neurones artificiels en apprentissage supervisé. Dans un premier temps, réseaux à couches denses pour lesquels l'algorithme de rétropropagation du gradient et l'entraînement par descente de gradient sont implémentés à la main (Python, NumPy). Dans un second temps, utilisation de bibliothèques spécialisées (TensorFlow/Keras, PyTorch, ...) pour construire et entraîner des réseaux plus complexes (convolutifs, récurrents, ...).

Analyse topologique des données

De nombreux jeux de données vivent en grande dimension et ne se répartissent pas de manière homogène dans l'espace : ils peuvent se structurer selon des formes géométriques particulières. L'analyse topologique des données fournit des méthodes pour étudier ces formes, mieux les visualiser ou les exploiter en inférence statistique et en apprentissage. TP sous Python.

UE3

6 ECTS

Mathématiques pour la santé

Mathematics for Health

Biostatistique

Les données de santé sont complexes, du fait du nombre croissant de variables décrivant les patients et de la variabilité inter-individuelle. Le cours présente des outils pour les explorer et les comprendre : méthodes non supervisées (ACP, classification hiérarchique) et supervisées (analyse discriminante), analyse de survie (délai de survenue d'un événement tel que le décès ou la progression de la maladie), et analyse de données de grande dimension où le nombre de variables dépasse largement celui des observations, avec une application en génomique. TP sous R.

Essais cliniques — méthodologie des essais thérapeutiques

Introduction à la méthodologie des essais thérapeutiques en recherche clinique, en insistant sur le rôle du statisticien, présent au début comme à la fin d'un essai. Exemples et études de cas issus principalement de la cancérologie ; cours magistraux et mise en pratique sous R. Prérequis : tests statistiques, modèles paramétriques de survie (rappelés si nécessaire).

- **Principes généraux** : place des essais en recherche clinique, phases du développement d'un médicament, protocole, randomisation (principe et algorithmes), plan d'analyse statistique.
- **Designs** : hypothèses de supériorité, d'équivalence et de non-infériorité ; calcul du nombre de sujets nécessaires ; designs à une étape et plans séquentiels (essais monobras et comparatifs).
- **Designs adaptatifs** : principaux types d'adaptation, études de cas d'adaptation d'effectifs.

Tests multiples

Test statistique et p-valeur. Notion de p-valeur et propriété fondamentale : sous l'hypothèse nulle, une p-valeur est stochastiquement plus grande qu'une loi uniforme.

Tests multiples. Principales erreurs contrôlées : probabilité d'au moins un faux positif (*Family-Wise Error Rate*, FWER) et taux de fausses découvertes (*False Discovery Rate*, FDR). Procédures de Bonferroni et de Holm (contrôle du FWER) et de Benjamini-Hochberg (contrôle du FDR). TP sous R.

UE4

3 ECTS

Calcul scientifique 2

Scientific Computing 2

Introduction aux approches numériques de diverses EDP importantes dans les applications : équations de diffusion, comme l'équation de la chaleur ou celles décrivant la propagation d'un virus dans une population ; équations de Laplace et de Poisson, qui décrivent les potentiels en gravitation et en électrostatique ; modèles simples d'écoulement comme l'équation de Burgers.

Les méthodes numériques sont principalement spectrales, remarquables par leurs propriétés d'approximation des fonctions régulières, ce qui en fait un outil de choix en dimension élevée : méthodes spectrales de Fourier et collocation de Chebyshev introduites par interpolation, problèmes aux limites résolus par une méthode tau, intégration en temps par la méthode des lignes.

UE5

3 ECTS

Modélisation statistique

Statistical Modeling

Modèles statistiques classiques, dans leurs aspects théoriques et pratiques. Rappels et compléments sur le modèle de régression linéaire : théorème de Gauss-Markov, tests d'hypothèses, analyse de la variance à deux facteurs, sélection de modèles par les critères AIC et BIC, détection des points influents (distance de Cook). Modèles linéaires généralisés, avec un accent sur l'estimation et la prédiction en régression logistique. Estimation non paramétrique : densité par méthodes à noyau, régression par splines pénalisées. Illustrations sur données réelles en TP sous R.

UE6

3 ECTS

Statistique pour les Big Data

Statistics for Big Data

Problème Basis Pursuit. Solutions d'un système linéaire de norme ℓ^1 minimale ; conditions théoriques sous lesquelles ce problème retrouve les solutions les plus parcimonieuses (nombre minimal de composantes non nulles).

Estimateur LASSO (*Least Absolute Shrinkage and Selection Operator*). Solution des moindres carrés pénalisés par la norme ℓ^1 ; existence de composantes nulles et lien avec Basis Pursuit.

Dans les deux parties, les TP sont réalisés en Python en réutilisant, sur données réelles, les algorithmes de résolution développés dans le cours d'optimisation.

UE7 · UE8

6 ECTS

Modèles aléatoires

Random Models

Modélisation probabiliste et algorithmique 3 ECTS

Algorithme EM (Espérance-Maximisation) pour les modèles de mélange, gaussiens ou plus généraux. Fondé sur le maximum de vraisemblance et l'espérance conditionnelle, il permet d'estimer les paramètres d'un modèle à partir d'un échantillon incomplet (variables cachées).

En complément, introduction à l'algorithme du gradient stochastique, avec des applications à la régression logistique et à l'algorithme EM : largement utilisé en apprentissage statistique, il optimise efficacement des fonctions de coût en grande dimension par des mises à jour itératives fondées sur des estimations partielles du gradient.

Algorithmes stochastiques 2 (mutualisé avec le master PMG) 3 ECTS

Prolongement du cours d'Algorithmes stochastiques du M1, avec de nouveaux modèles de processus à temps discret et à temps continu, combinant une partie théorique et une approche algorithmique (Python) sur des exemples concrets. Au programme : méthodes de Monte-Carlo par chaînes de Markov, algorithme de Metropolis-Hastings, recuit simulé, processus de renouvellement, processus de Poisson, files d'attente.

UE9 – UE14

Autres enseignements du M2

Advanced programming, English, business knowledge, project, internship

27 ECTS

UE9	**Programmation avancée**	3
UE10	**Anglais** Suite du travail de M1, avec un accent mis sur l'oral.	2
UE11	**Connaissance de l'entreprise**	1
UE12	**Projet personnel** Projet suivi tout au long de l'année, avec une soutenance à mi-parcours.	6
UE14	**Stage** Stage de 4 à 6 mois, à partir d'avril, en entreprise ou en laboratoire de recherche.	15