REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

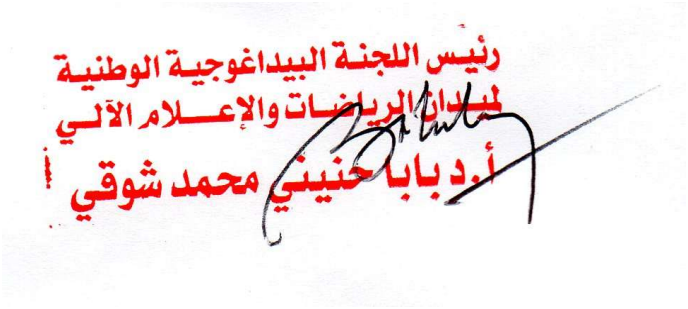
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

OFFRE DE FORMATION MASTER

ACADÉMIQUE

Etablissement	Faculté / Institut	Département

Le 02/09/2026



Domaine : Mathématiques Informatique

Filière : Mathématiques

Spécialité : Equations aux dérivées partielles et Applications

Année universitaire : 2026- 2027

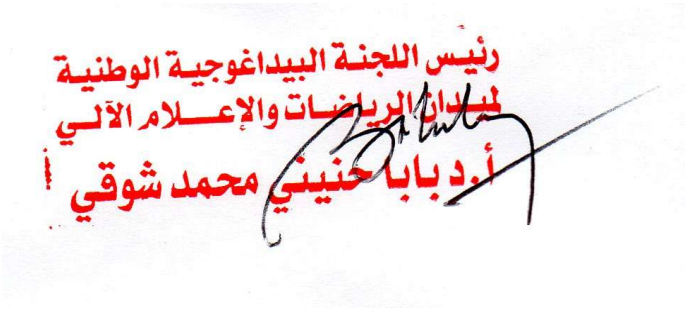
عرض تكوين ماستر

أكاديمي

2027/2026

المؤسسة	الكلية/ المعهد	القسم

Le 02/09/2026



الميدان :رياضيات و إعلام آلي

الشعبة :رياضيات

التخصص : معادلات تفاضلية جزئية وتطبيقات

السنة الجامعية : 2027/2026

II – Fiche d'organisation semestrielle des enseignements

(Prière de présenter les fiches des 4 semestres)

1- Semestre 1 :

Unité d'Enseignement	VHS	V. H. hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	14 Sem.	C	TD	TP	Travail personnel			Continu	Examen
UE Fondamentale									
UEF1(O/P)	**189h**	**9h**	**4.30h**		**261h**	**9**	**18**		
UEF1.1 : Analyse Fonctionnelle 1	63h	3h	1h30		87h	3	6	40%	60%
UEF1.2 : Distributions et Analyse de Fourier 1	63h	3h	1h30		87h	3	6	40%	60%
UEF1.3 : Équations différentielles ordinaires	63h	3h	1h30		87h	3	6	40%	60%
UE Méthodologique	**105h**	**3h**	**3h**	**1h30**	**120h**	**5**	**9**		
UEM1.1 : Analyse Numérique Matricielle	63h	1h30	1h30	1h30	62h	3	5	40%	60%
UEM1.2 : Optionnel X	42h	1h30	1h30		58h	2	4	40%	60%
UE Découverte	**42h**	**1h30**	**1h30**		**8h**	**2**	**2**		
UED1.1 : Choisir parmi : Entrepreneuriat et Ateliers de créativité, Éthique de l'intelligence artificielle	42h	1h30	1h30		8h	2	2	40%	60%
UE Transversale	**21h**	**1h30**			**4h**	**1**	**1**		
UET1.1 : Modélisation mathématique	21h	1h30			4h	1	1		100%
Total Semestre 1	**336h**	**15h**	**7h30**	**1h30**	**393h**	**17**	**30**		

Le module optionnel X à choisir parmi : Méthodes Numériques, Approximation Variationnelle, Introduction au système dynamique, Théorie spectrale des opérateurs.

2- Semestre 2 :

Unité d'Enseignement	VHS	V. H. hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	14 Sem.	C	TD	TP	Travail personnel			Continu	Examen
UE Fondamentale									
UEF2(O/P)	**189h**	**9h**	**4h30**		**261h**	**9**	**18**		
UEF2.1 : Analyse Fonctionnelle 2	63h	3h	1h30		87h	3	6	40%	60%
UEF2.2 : Distributions et Analyse de Fourier 2	63h	3h	1h30		87h	3	6	40%	60%
UEF2.3 : Equations aux Dérivées Partielles	63h	3h	1h30		87h	3	6	40%	60%
UE Méthodologique	**105h**	**4h30**	**3h**		**120h**	**5**	**9**		
UEM2.1 : Méthode des Éléments Finis	63h	3h	1h30		62h	3	5	40%	60%
UEM2.2 : Optionnel Y	42h	1h30	1h30		58h	2	4	40%	60%
UE Découverte	21h	1h30				1			
UED 2.1 : Outils de Simulation Numérique	21h	1h30			4h	1	1	40%	60%
UE Transversale	42h00	1h30	1h30			2	2		
UET 2.1 : Lean Startup	42h00	1h30	1h30		8h00	2	2	80%	20%
Total Semestre 2	**357h**	**16h30**	**7h30**		**393h**	**17**	**30**		

Le module optionnel Y à choisir parmi : Formulation variationnelles pour les problèmes aux limites, Inéquations Variationnelles, Degré topologique et applications, EDP et traitement de l'image.

3- **Semestre 3 :**

Unité d'Enseignement	VHS	V. H. hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	14 Sem.	C	TD	TP	Travail personnel			Continu	Examen
UE Fondamentale									
UEF3(O/P)	**189h**	**9h**	**4h30**		**261h**	**9**	18		
UEF3.1 : Théorie des Semi-groupes et Applications pour les EDP	63h	3h	1h30		87h	3	6	40%	60%
UEF3.2 : EDP Elliptiques Non Linéaires	63h	3h	1h30		87h	3	6	40%	60%
UEF3.3 : Théorie de Régularité	63h	3h	1h30		87h	3	6	40%	60%
UE Méthodologique	**105h**	**4h30**	**3h**		**120h**	**5**	**9**		
UEM3.1 : Calcul Fractionnaire et Applications	63h	3h	1h30		62h	3	5	40%	60%
UEM3.2 : Optionnel Z	42h	1h30	1h30		58	2	4		
UE Découverte	**42h**	**1h30**	**1h30**		**8h**	**2**	**2**		
UED3.1: Séminaire de recherche scientifique	42h	1h30	1h30		8h	2	2	40%	60%
UE Transversale	**21h**	**1h30**			**4h**	**1**	**1**		
UET3.1 : Méthodologie et Rédaction scientifique	21h	1h30			4h	1	1		100%
Total Semestre 3	**357h**	**16h30**	**9h**		**393**	**17**	**30**		

Le module optionnel Z à choisir parmi : Méthodes spectrales, Contrôle optimal, Analyse Asymptotique, Équations intégrales, Estimation d'erreur à postériori.

4- Semestre 4 :

Domaine : Mathématiques informatique
Filière : Mathématiques
Spécialité : EDP et Applications

	VHS	Coeff	Crédits
UEF4.1 : PFE avec Mémoire	750h00	17	30
Stage dans l'entreprise			
Ateliers			
Travail Personnel			
Total Semestre 4	**750h00**	**17**	**30**

5- Récapitulatif global de la formation : (indiquer le VH global séparé en cours, TD, pour les 04 semestres d'enseignement, pour les différents types d'UE)

UE / VH	UEF	UEM	UED	UET	Total
Cours	378h	168h	63h	63h	672h
TD	189h	126h	42h	-	357h
TP	-	21h	21h	-	42h
PFE avec Mémoire	750h	-	-	-	750h
Stage dans l'entreprise	-	-	-	-	-
Ateliers	-	-	-	-	-
Travail Personnel	783h	360h	24h	12h	1179h
Total	2100h	675h	150h	75h	**3000h**
Crédits	84	27	6	3	**120**
% en crédits pour chaque UE	70%	22.5%	5%	2.5%	100,00

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 1
Unité d'enseignement : Fondamentale
Intitulé de la matière : Analyse Fonctionnelle 1
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 3h, TD : 1h30
Crédits : 6
Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement :
Introduire les structures fondamentales des espaces de dimension infinie (Banach et Hilbert) et maîtriser les grands théorèmes de l'analyse fonctionnelle qui constituent le socle de l'analyse moderne et de la théorie des EDP.

Connaissances préalables recommandées :
Topologie générale, théorie de l'intégration (Lebesgue), algèbre linéaire.

Contenu de la matière :

- **Chapitre 1 : Espaces de Banach**
    1. Espaces vectoriels normés, complétude, exemples (ℓ^p, C(K)).
    2. Opérateurs linéaires continus, norme d'opérateur.
    3. Lemme de Baire et ses conséquences.
- **Chapitre 2 : Espaces de Hilbert**
    1. Produit scalaire, orthogonalité, théorème de projection sur un convexe fermé.
    2. Bases hilbertiennes (systèmes orthonormaux complets), inégalité de Bessel, identité de Parseval.
    3. Le théorème de Représentation de Riesz.
- **Chapitre 3 : Les théorèmes fondamentaux de l'analyse fonctionnelle**
    1. Le théorème de Hahn-Banach (formes analytique et géométrique).
    2. Le théorème de Banach-Steinhaus (principe de la borne uniforme).
    3. Le théorème de l'application ouverte et le théorème du graphe fermé.
    4. Le théorème du graphe fermé.

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- H. Brezis, *Functional Analysis, Sobolev Spaces and Partial Differential Equations*. Springer, 2011.
- W. Rudin, *Functional Analysis*. McGraw-Hill, 1991.
- P. D. Lax, *Functional Analysis*. Wiley-Interscience, 2002.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 1
Unité d'enseignement : Fondamentale
Intitulé de la matière : Distributions et Analyse de Fourier 1
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 3h, TD : 1h30
Crédits : 6
Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement :
Généraliser les notions de fonction et de dérivation. Maîtriser la transformée de Fourier comme outil de "diagonalisation" des opérateurs différentiels à coefficients constants et l'appliquer à la résolution d'EDP.

Connaissances préalables recommandées :
Analyse réelle, théorie de l'intégration, topologie.

Contenu de la matière :

- **Chapitre 1 : Théorie des Distributions**
    1. Motivation (solutions faibles), espaces de fonctions-test $D(\Omega)$.
    2. Définition des distributions et opérations (dérivation, multiplication, convolution).
- **Chapitre 2 : Espace de Schwartz et Distributions Tempérées**
    1. L'espace de Schwartz $S(\mathbb{R}^n)$ et ses propriétés.
    2. Les distributions tempérées $S'(\mathbb{R}^n)$ comme cadre naturel pour la transformée de Fourier.
- **Chapitre 3 : Transformation de Fourier**
    1. Définition et propriétés sur $S(\mathbb{R}^n)$ et $S'(\mathbb{R}^n)$.
    2. Application à la résolution d'EDP : solution élémentaire du Laplacien, équation de Poisson sur $\mathbb{R}^n$.

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- C. Gasquet, P. Witomski, *Analyse de Fourier et applications*. Dunod, 2015.
- G. B. Folland, *Fourier Analysis and Its Applications*. Wadsworth & Brooks/Cole, 1992.
- L. Schwartz, *Théorie des distributions*. Hermann, 1966.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 1
Unité d'enseignement : Fondamentale
Intitulé de la matière : Équations différentielles ordinaires
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 3h, TD : 1h30
Crédits : 6
Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement :
Étudier la théorie qualitative des EDO : existence, unicité, dépendance par rapport aux données, et comportement asymptotique des solutions (stabilité).

Connaissances préalables recommandées :
Calcul différentiel et intégral, algèbre linéaire.

Contenu de la matière :

- **Chapitre 1 : Théorèmes d'existence et d'unicité**
    1. Le théorème de Cauchy-Lipschitz (point fixe de Banach). Le théorème de Peano (compacité).
    2. Continuation des solutions et solutions maximales.
- **Chapitre 2 : Dépendance par rapport aux données**
    1. Le lemme de Gronwall.
    2. Continuité par rapport aux conditions initiales et aux paramètres.
- **Chapitre 3 : Systèmes différentiels linéaires et Stabilité de Lyapunov**
    1. L'exponentielle de matrice. Stabilité des systèmes linéaires.
    2. Points d'équilibre, stabilité. Linéarisation. Introduction aux fonctions de Lyapunov.

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- V. I. Arnold, *Équations différentielles ordinaires*. Mir/Springer.
- M. W. Hirsch, S. Smale, R. L. Devaney, *Differential Equations, Dynamical Systems, and an Introduction to Chaos*. Academic Press, 3rd Ed., 2013.
- E. A. Coddington, N. Levinson, *Theory of Ordinary Differential Equations*. McGraw-Hill, 1955.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 1
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Analyse Numérique Matricielle
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30, TP : 1h30
Crédits : 5
Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement :
Maîtriser les algorithmes fondamentaux de l'algèbre linéaire numérique pour la résolution de grands systèmes et le calcul de valeurs propres, avec une attention particulière à la stabilité et au coût.

Connaissances préalables recommandées :
Algèbre linéaire.

Contenu de la matière :

- **Chapitre 1 : Conditionnement et Stabilité**
    1. Normes vectorielles et matricielles. Conditionnement d'une matrice. Stabilité des algorithmes.
- **Chapitre 2 : Méthodes Directes**
    1. Factorisations LU, Cholesky, QR et application aux problèmes de moindres carrés.
- **Chapitre 3 : Méthodes Itératives**
    1. Méthodes de Jacobi, Gauss-Seidel, relaxation (SOR). Analyse de la convergence.
- **Chapitre 4 : Problèmes de Valeurs Propres**
    1. Méthode de la puissance et de la puissance inverse. Introduction à l'itération QR.

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- L. N. Trefethen, D. Bau, III, *Numerical Linear Algebra*. SIAM, 1997.
- G. H. Golub, C. F. Van Loan, *Matrix Computations*. Johns Hopkins University Press, 4th Ed., 2013.
- P. G. Ciarlet, *Introduction à l'analyse numérique matricielle et à l'optimisation*. Dunod, 2006.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 1
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Optionnel X : Méthodes Numériques
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30
Crédits : 4
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Introduire les concepts et algorithmes de base de l'analyse numérique pour l'approximation de fonctions, le calcul d'intégrales et la résolution d'équations non linéaires.

Contenu de la matière :

1. **Résolution d'équations non linéaires :** Méthodes de la dichotomie, de Newton-Raphson.
2. **Interpolation polynomiale :** Polynômes de Lagrange, phénomène de Runge, points de Tchebychev.
3. **Intégration numérique :** Quadrature de Newton-Cotes (trapèzes, Simpson), quadrature de Gauss.

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- A. Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri, *Numerical Mathematics*. Springer, 2007.
- R. L. Burden, J. D. Faires, A. M. Burden, *Numerical Analysis*. Cengage Learning.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 1
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Optionnel X : Approximation Variationnelle
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30
Crédits : 4
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Introduire les fondements de la formulation faible des EDP et de leur approximation par la méthode de Galerkin, en préparation à la méthode des éléments finis.

Contenu de la matière :

1. **Motivation :** Limites des solutions classiques, notion de solution faible.
2. **Formulation variationnelle :** Espaces de Sobolev H^1, H^1_0. Formulation faible d'un problème elliptique.
3. **Théorème de Lax-Milgram :** Existence et unicité de la solution faible.
4. **Principe de l'approximation de Galerkin :** Approximation dans un sous-espace de dimension finie.

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- P. G. Ciarlet, *The Finite Element Method for Elliptic Problems*. SIAM, 2002.
- H. Brezis, *Functional Analysis, Sobolev Spaces and Partial Differential Equations*. Springer, 2011.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 1
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Optionnel X : Introduction au système dynamique
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30
Crédits : 4
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Étudier le comportement qualitatif à long terme des solutions d'équations différentielles, en se concentrant sur les notions d'orbites, de stabilité et de bifurcations.

Contenu de la matière :

1. **Flots et orbites :** Flot d'un champ de vecteurs, orbites, points fixes, orbites périodiques.
2. **Stabilité :** Stabilité des points fixes en 1D et 2D. Portraits de phase.
3. **Bifurcations :** Étude des changements qualitatifs de la dynamique en fonction d'un paramètre. Bifurcations selle-nœud, transcritique, fourche.

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- S. H. Strogatz, *Nonlinear Dynamics and Chaos*. Westview Press, 2015.
- M. W. Hirsch, S. Smale, R. L. Devaney, *Differential Equations, Dynamical Systems, and an Introduction to Chaos*. Academic Press, 2013.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 1
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Optionnel X : Théorie spectrale des opérateurs
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30
Crédits : 4
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Introduire la théorie spectrale pour les opérateurs bornés, en particulier les opérateurs compacts, comme une généralisation de l'algèbre linéaire en dimension infinie.

Contenu de la matière :

1. **Spectre d'un opérateur borné :** Ensemble résolvant et spectre. Décomposition du spectre.
2. **Opérateurs compacts :** Définition, propriétés et exemples (opérateurs intégraux).
3. **Théorie de Riesz-Schauder et Alternative de Fredholm.**
4. **Théorème spectral pour les opérateurs compacts auto-adjoints.**

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- J. Weidmann, *Linear Operators in Hilbert Spaces*. Springer, 1980.
- M. Reed, B. Simon, *Methods of Modern Mathematical Physics, Vol. 1: Functional Analysis*. Academic Press, 1980.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 1
Unité d'enseignement : Découverte
Intitulé de la matière : Choisir parmi : Entrepreneuriat ou Éthique de l'IA
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30
Crédits : 2
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Développer des compétences transversales essentielles : soit un état d'esprit entrepreneurial, soit un regard critique sur les enjeux éthiques des technologies algorithmiques.

Contenu de la matière (Option Entrepreneuriat) :

1. De l'idée au projet : Techniques de créativité.
2. Structuration d'un modèle économique : Business Model Canvas.
3. Analyse de l'environnement : Étude de marché.
4. Le Pitch : Présenter une idée de manière convaincante.

Contenu de la matière (Option Éthique de l'IA) :

1. Introduction aux enjeux éthiques en IA.
2. Biais et Équité (Fairness) des algorithmes.
3. Transparence et Explicabilité (XAI).
4. Responsabilité et Redevabilité (Accountability).

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- A. Osterwalder & Y. Pigneur, *Business Model Generation*. Pearson, 2011.
- C. O'Neil, *Weapons of Math Destruction*. Crown, 2016.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 1
Unité d'enseignement : Transversale
Intitulé de la matière : Modélisation mathématique
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30
Crédits : 1
Coefficients : 1

Objectifs de l'enseignement :
Apprendre le processus de traduction d'un problème concret en un modèle mathématique, analyser qualitativement le modèle et interpréter les résultats.

Contenu de la matière :

1. **Principes de la modélisation :** Étapes, simplification, hypothèses.
2. **Outils de modélisation :** Modèles discrets (suites), modèles continus (EDO).
3. **Étude de cas :** Dynamique des populations (Lotka-Volterra), physique (pendule), épidémiologie (SIR).
4. **Analyse du modèle :** Points d'équilibre, stabilité.

Mode d'évaluation : Examen (100%)

Références :

- M. Braun, *Differential Equations and Their Applications*. Springer, 1993.
- N. Bacaër, *Histoires de mathématiques et de populations*. Cassini, 2009.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 2
Unité d'enseignement : Fondamentale
Intitulé de la matière : Analyse Fonctionnelle 2
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 3h, TD : 1h30
Crédits : 6
Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement :
Introduire les concepts de dualité et de topologies faibles, essentiels pour l'analyse non linéaire et le calcul des variations. Comprendre la notion de réflexivité et son application à la compacité faible.

Connaissances préalables recommandées : Analyse Fonctionnelle 1.

Contenu de la matière :

- **Chapitre 1 : Dualité Topologique et Opérateur Adjoint.**
- ***Chapitre 2 : Convergence forte, convergence faible et convergence faible étoile.***
- **Chapitre 3 : Compacité Faible et Théorème de Banach-Alaoglu.**
- **Chapitre 4 : Espaces Réflexifs et leurs propriétés.**

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- H. Brezis, *Functional Analysis, Sobolev Spaces and Partial Differential Equations*. Springer, 2011.
- W. Rudin, *Functional Analysis*. McGraw-Hill, 1991.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 2
Unité d'enseignement : Fondamentale
Intitulé de la matière : Distributions et Analyse de Fourier 2
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 3h, TD : 1h30
Crédits : 6
Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement :
Construire et maîtriser les espaces de Sobolev, cadre fonctionnel naturel pour l'étude des solutions faibles des EDP, ainsi que leurs propriétés fines.

Connaissances préalables recommandées : Analyse Fonctionnelle 1, Distributions 1.

Contenu de la matière :

- **Chapitre 1 : Construction des Espaces de Sobolev $W^{k,p}(\Omega)$.**
- **Chapitre 2 : Propriétés de Densité et d'Extension.**
- **Chapitre 3 : Théorèmes d'Injection de Sobolev et de Compacité de Rellich-Kondrachov.**
- **Chapitre 4 : Théorème de Trace.**

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- R. A. Adams, J. J. F. Fournier, *Sobolev Spaces*. Academic Press, 2003.
- L. C. Evans, *Partial Differential Equations*. AMS, 2010 (Chapitre 5).

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 2
Unité d'enseignement : Fondamentale
Intitulé de la matière : Equations aux Dérivées Partielles
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 3h, TD : 1h30
Crédits : 6
Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement :
Étudier la théorie de base des trois grandes classes d'EDP linéaires, en utilisant l'analyse fonctionnelle pour leur résolution.

Connaissances préalables recommandées : Modules fondamentaux du S1 et S2 (en parallèle).

Contenu de la matière :

- **Chapitre 1 : Équations Elliptiques :** Problème de Dirichlet, formulation variationnelle (Lax-Milgram), principe du maximum.
- **Chapitre 2 : Équations Paraboliques :** Équation de la chaleur, résolution par séries de Fourier.
- **Chapitre 3 : Équations Hyperboliques :** Équation des ondes, formule de d'Alembert.
- **Chapitre 4 : Introduction aux EDP du premier ordre.**

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- L. C. Evans, *Partial Differential Equations*. AMS, 2nd Ed., 2010.
- W. A. Strauss, *Partial Differential Equations: An Introduction*. Wiley, 2nd Ed., 2007.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 2
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Méthode des Éléments Finis
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 3h, TD : 1h30
Crédits : 5
Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement :
Établir les fondements mathématiques rigoureux et les aspects d'implémentation de la MEF pour les problèmes elliptiques.

Connaissances préalables recommandées : Analyse Numérique Matricielle, EDP.

Contenu de la matière :

- **Chapitre 1 : Formulation Variationnelle et Approximation de Galerkin.**
- **Chapitre 2 : Éléments Finis de Lagrange en 1D et 2D (P_1, P_2).**
- **Chapitre 3 : Aspects de l'implémentation (assemblage, conditions aux limites).**
- **Chapitre 4 : Analyse de l'Erreur a Priori (Lemme de Céa, estimations H^1 et L^2).**

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- S. C. Brenner, L. R. Scott, *The Mathematical Theory of Finite Element Methods*. Springer, 3rd Ed., 2008.
- P. G. Ciarlet, *The Finite Element Method for Elliptic Problems*. SIAM, 2002.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 2
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Optionnel Y : Formulation variationnelles pour les problèmes aux limites
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30
Crédits : 4
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Généraliser l'approche variationnelle à des problèmes plus complexes (Stokes) nécessitant des espaces fonctionnels adaptés (H(div), H(curl)) et des conditions de stabilité spécifiques.

Contenu de la matière :

1. Espaces H(div) et H(curl) : Définitions et propriétés.
2. Problèmes de Stokes : Formulation variationnelle mixte (vitesse-pression).
3. Condition Inf-Sup (Ladyjenskaïa-Babuška-Brezzi) : Stabilité des formulations mixtes.

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- D. Boffi, F. Brezzi, M. Fortin, *Mixed Finite Element Methods and Applications*. Springer, 2013.
- A. Ern, J.-L. Guermond, *Theory and Practice of Finite Elements*. Springer, 2004.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 2
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Optionnel Y : Inéquations Variationnelles
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30
Crédits : 4
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Généraliser la formulation variationnelle au cas de problèmes avec contraintes unilatérales et maîtriser le théorème de Lions-Stampacchia.

Contenu de la matière :

1. Motivation : Problème de l'obstacle.
2. Formulation abstraite dans les espaces de Hilbert.
3. Théorème d'existence et d'unicité de Lions-Stampacchia.
4. Applications aux problèmes de contact.

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- D. Kinderlehrer, G. Stampacchia, *An Introduction to Variational Inequalities and Their Applications*. SIAM, 2000.
- H. Brezis, *Functional Analysis...* (Chapitre 10).

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 2
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Optionnel Y : Degré topologique et applications
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30
Crédits : 4
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Introduire l'outil du degré topologique pour prouver l'existence de solutions à des équations non linéaires, là où les méthodes de point fixe classiques échouent.

Contenu de la matière :

1. Degré de Brouwer en dimension finie : définition et propriétés (invariance par homotopie).
2. Application du degré de Brouwer : Théorème du point fixe de Brouwer.
3. Degré de Leray-Schauder en dimension infinie.
4. Application à l'existence de solutions pour les EDP semi-linéaires.

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- L. Nirenberg, *Topics in Nonlinear Functional Analysis*. AMS, 2001.
- K. Deimling, *Nonlinear Functional Analysis*. Springer, 1985.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 2
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Optionnel Y : EDP et traitement de l'image
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30
Crédits : 4
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Montrer comment les EDP et le calcul des variations fournissent un cadre puissant pour modéliser et résoudre des problèmes en traitement d'images (débruitage, segmentation).

Contenu de la matière :

1. Modèles de diffusion pour le débruitage : Équation de la chaleur, filtrage anisotrope (Perona-Malik).
2. Modèles variationnels et Variation Totale : Le modèle de Rudin-Osher-Fatemi (ROF) pour le débruitage avec préservation des contours.
3. Segmentation par contours actifs : Modèles "snakes" (Kass-Witkin-Terzopoulos).
4. Approche par ensembles de niveaux.

Références :

- G. Aubert, P. Kornprobst, *Mathematical Problems in Image Processing*. Springer, 2006.
- T. Chan, J. Shen, *Image Processing and Analysis: Variational, PDE, Wavelet, and Stochastic Methods*. SIAM, 2005

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 2
Unité d'enseignement : Découverte
Intitulé de la matière : Choisir parmi : Calcul scientifique ou Deep learning for approximation theory
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TP : 1h30
Crédits : 2
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Soit acquérir des compétences pratiques en implémentation d'algorithmes numériques, soit explorer les liens entre les réseaux de neurones et la théorie de l'approximation.

Contenu (Calcul scientifique) :

1. Environnements de calcul (Python/NumPy).
2. Algèbre linéaire numérique : Résolution de grands systèmes, calcul de valeurs propres.
3. Discrétisation d'EDP : Implémentation de la méthode des différences finies.

Contenu (Deep learning for approximation) :

1. Introduction aux réseaux de neurones (architecture, fonctions d'activation).
2. Théorèmes d'approximation universelle.
3. Réseaux profonds ReLU et leur interprétation comme des fonctions affines par morceaux.

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- A. Quarteroni, F. Saleri, P. Gervasio, *Scientific Computing with MATLAB and Octave*. Springer, 2014.
- I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville, *Deep Learning*. MIT Press, 2016.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 2
Unité d'enseignement : Transversale
Intitulé de la matière : Outils de Simulation numériques
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30
Crédits : 1
Coefficients : 1

Objectifs de l'enseignement :
Acquérir une maîtrise pratique d'un logiciel de calcul scientifique (ex: FreeFEM++, COMSOL) pour résoudre des EDP par la méthode des éléments finis.

Contenu de la matière :

1. Prise en main d'un environnement de simulation.
2. Workflow d'une simulation : Pré-traitement (géométrie, maillage), définition du problème (EDP, C.L.), résolution, post-traitement (visualisation).
3. Projet de simulation sur un problème concret.

Mode d'évaluation : Examen (100%)

Références :

- La documentation officielle du logiciel choisi (ex: *FreeFEM++ documentation*).
- A. Quarteroni, *Modélisation Mathématique et Calcul Scientifique*. PPUR, 2012.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 3
Unité d'enseignement : Fondamentale
Intitulé de la matière : Théorie des Semi-groupes et Applications pour les EDP
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 3h, TD : 1h30
Crédits : 6
Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement :
Maîtriser le cadre abstrait et rigoureux de la théorie des semi-groupes pour la résolution des problèmes d'évolution linéaires.

Connaissances préalables recommandées : Analyse Fonctionnelle 1 & 2, EDP.

Contenu de la matière :

- **Chapitre 1 : Le Problème de Cauchy Abstrait et les C_0-Semigroups.**
- **Chapitre 2 : Les Théorèmes de Hille-Yosida et Lumer-Phillips.**
- **Chapitre 3 : Semi-groupes analytiques et application aux équations paraboliques.**
- **Chapitre 4 : Groupes unitaires et application aux équations hyperboliques (Théorème de Stone).**

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- A. Pazy, *Semigroups of Linear Operators and Applications to Partial Differential Equations*. Springer, 1983.
- K.-J. Engel, R. Nagel, *A Short Course on Operator Semigroups*. Springer, 2006.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 3
Unité d'enseignement : Fondamentale
Intitulé de la matière : EDP Elliptiques Non Linéaires
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 3h, TD : 1h30
Crédits : 6
Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement :
Introduire les méthodes fondamentales de l'analyse non linéaire pour prouver l'existence de solutions aux EDP elliptiques non linéaires.

Connaissances préalables recommandées : Analyse Fonctionnelle 1 & 2, Espaces de Sobolev, EDP.

Contenu de la matière :

- **Chapitre 1 : Méthodes Topologiques (Point Fixe de Schauder, Degré Topologique).**
- **Chapitre 2 : Méthodes Variationnelles (Minimisation directe via compacité faible).**
- **Chapitre 3 : Théorie des Points Critiques (Théorème du col de Min-Max).**
- **Chapitre 4 : Méthodes de Monotonie (Théorème de Minty-Browder).**

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- L. C. Evans, *Partial Differential Equations*. AMS, 2010 (Chapitre 9).
- M. Struwe, *Variational Methods*. Springer, 4th Ed., 2008.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 3
Unité d'enseignement : Fondamentale
Intitulé de la matière : Théorie de Régularité
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 3h, TD : 1h30
Crédits : 6
Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement :
Étudier la question fondamentale : "une solution faible d'une EDP est-elle régulière ?".
Maîtriser les techniques pour obtenir des estimations a priori sur les solutions.

Connaissances préalables recommandées : Tous les modules d'analyse et d'EDP des S1/S2.

Contenu de la matière :

- **Chapitre 1 : Régularité Intérieure (Lemme de Weyl, différences finies).**
- **Chapitre 2 : Régularité L^2 et H^k.**
- **Chapitre 3 : Estimations de Schauder ($C^{k,\alpha}$).**
- **Chapitre 4 : Régularité au Bord.**

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- D. Gilbarg, N. S. Trudinger, *Elliptic Partial Differential Equations of Second Order*. Springer, 2001.
- Q. Han, F. Lin, *Elliptic Partial Differential Equations*. AMS, 2011.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 3
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Calcul Fractionnaire et Applications
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 3h, TD : 1h30
Crédits : 5
Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement :
Introduire la généralisation des opérateurs de dérivation à des ordres non entiers et explorer leurs applications à la modélisation.

Connaissances préalables recommandées : EDO, Analyse de Fourier.

Contenu de la matière :

- **Chapitre 1 : Définitions et Propriétés (Riemann-Liouville, Caputo).**
- **Chapitre 2 : Fonctions Spéciales Associées (Fonction de Mittag-Leffler).**
- **Chapitre 3 : Équations Différentielles Fractionnaires.**
- **Chapitre 4 : Applications (diffusion anormale, viscoélasticité).**

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- I. Podlubny, *Fractional Differential Equations*. Academic Press, 1998.
- K. Diethelm, *The Analysis of Fractional Differential Equations*. Springer, 2010.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 3
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Optionnel Z : Méthodes spectrales
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30
Crédits : 4
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Maîtriser les méthodes d'approximation par polynômes globaux, qui offrent une convergence exponentielle pour les solutions régulières.

Contenu de la matière :

1. Bases de l'approximation : Séries de Fourier, polynômes de Tchebychev.
2. Différentiation spectrale.
3. Méthodes de Galerkin, Tau et Collocation.
4. Application à la résolution d'EDP.

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- L. N. Trefethen, *Spectral Methods in MATLAB*. SIAM, 2000.
- C. Canuto, M. Y. Hussaini, A. Quarteroni, T. A. Zang, *Spectral Methods*. Springer, 2006.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 3
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Optionnel Z : Contrôle optimal
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30
Crédits : 4
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Introduire les outils mathématiques pour déterminer les stratégies de commande qui optimisent un critère de performance.

Contenu de la matière :

1. Calcul des variations : Rappels sur l'équation d'Euler-Lagrange.
2. Le Principe du Maximum de Pontryagin (PMP) : Hamiltonien, équations d'état et d'état adjoint.
3. Programmation dynamique et Équation de Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB).
4. Lien entre PMP et HJB.

Références :

- D. Liberzon, *Calculus of Variations and Optimal Control Theory*. Princeton University Press, 2012.
- L. C. Evans, *An Introduction to Mathematical Optimal Control Theory*. (Notes de cours, disponibles en ligne).

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 3
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Optionnel Z : Analyse Asymptotique
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30
Crédits : 4
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Apprendre les techniques d'approximation de solutions de problèmes contenant des petits ou grands paramètres.

Contenu de la matière :

1. Échelles et développements asymptotiques.
2. Méthodes des perturbations régulières et singulières.
3. Méthode des développements raccordés (couches limites).
4. Méthode WKB.

Références :

- M. H. Holmes, *Introduction to Perturbation Methods*. Springer, 2013.
- C. M. Bender, S. A. Orszag, *Advanced Mathematical Methods for Scientists and Engineers*. Springer, 1999.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 3
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Optionnel Z : Équations intégrales
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30
Crédits : 4
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Étudier la théorie et les méthodes de résolution des équations intégrales, et comprendre leur lien avec les opérateurs compacts.

Contenu de la matière :

1. Classification : Équations de Volterra et de Fredholm.
2. Équations de Volterra : Méthode des approximations successives.
3. Théorie de Fredholm : Noyaux séparables, Alternative de Fredholm.
4. Lien avec les opérateurs compacts.

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- R. Kress, *Linear Integral Equations*. Springer, 3rd Ed., 2014.
- F. G. Tricomi, *Integral Equations*. Dover, 1985.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 3
Unité d'enseignement : Méthodologique
Intitulé de la matière : Optionnel Z : Estimation d'erreur à postériori
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30
Crédits : 4
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Maîtriser les techniques d'estimation de l'erreur de la méthode des éléments finis après le calcul, afin de guider le raffinement adaptatif du maillage.

Contenu de la matière :

1. Motivation : Contrôle de l'erreur et maillage adaptatif.
2. Estimateurs d'erreur a posteriori basés sur le résidu.
3. Analyse de l'efficacité et de la fiabilité de l'estimateur.
4. Algorithme de raffinement adaptatif.

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- M. Ainsworth, J. T. Oden, *A Posteriori Error Estimation in Finite Element Analysis*. Wiley, 2011.
- R. Verfürth, *A Posteriori Error Estimation Techniques for Finite Element Methods*. Oxford University Press, 2013.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 3
Unité d'enseignement : Découverte
Intitulé de la matière : Séminaire de recherche scientifique
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30, TD : 1h30
Crédits : 2
Coefficients : 2

Objectifs de l'enseignement :
Immerger les étudiants dans la culture de la recherche. Développer la capacité à synthétiser et présenter des sujets avancés, et à engager une discussion scientifique.

Contenu de la matière :

1. **Lecture d'articles de recherche :** Les étudiants reçoivent des articles ou chapitres sur des sujets avancés.
2. **Préparation de présentations :** Chaque étudiant prépare un ou plusieurs exposés.
3. **Présentation orale :** Présentation du travail devant les pairs et les enseignants.
4. **Discussion scientifique :** Session de questions/réponses après chaque exposé.

Mode d'évaluation : Examen final (60%), Contrôle Continu (40%)

Références :

- Articles de recherche récents dans les journaux spécialisés (*SIAM Journal on Numerical Analysis*, *Journal of Functional Analysis*, etc.).
- Monographies de recherche avancée.

Intitulé du Master : EDP et Applications
Semestre : 3
Unité d'enseignement : Transversale
Intitulé de la matière : Méthodologie et Rédaction scientifique
Volume Horaire Hebdomadaire : Cours : 1h30
Crédits : 1
Coefficients : 1

Objectifs de l'enseignement :
Acquérir les compétences pratiques pour la rédaction d'un mémoire de Master et de tout document scientifique. Maîtriser les outils de la communication scientifique en mathématiques.

Contenu de la matière :

1. **Recherche bibliographique :** Utilisation des bases de données scientifiques (MathSciNet, arXiv).
2. **Structure d'un mémoire/article scientifique.**
3. **Apprentissage de LaTeX :** Structuration de documents, écriture d'équations, gestion de la bibliographie avec BibTeX.
4. **Éthique et présentation :** Éviter le plagiat, préparer une soutenance orale.

Mode d'évaluation : Examen (100%)

Références :

- N. J. Higham, *Handbook of Writing for the Mathematical Sciences*. SIAM, 3rd Ed., 2019.
- M. Goossens, F. Mittelbach, A. Samarin, *The LaTeX Companion*. Addison-Wesley, 2nd Ed., 2004.

Avis et Visas des organes Administratifs et Consultatifs

Intitulé du Master : Mathématiques de l'intelligence artificielle

Chef de département + Responsable de l'équipe de domaine
Date et visa Date et visa
Doyen de la faculté (ou Directeur d'institut)
Date et visa :
Chef d'établissement universitaire
Date et visa

VII – Avis et Visa de la Conférence Régionale
(Uniquement dans la version définitive transmise au MESRS)

Avis et Visa du Comité pédagogique National de Domaine
(Uniquement dans la version définitive transmise au MESRS)