

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

نموذج مطابقة و مواءمة

عرض تكوين ماستر أكاديمي
2025 – 2026

التخصص	الشعبة	ميدان
الفيزياء الطبية	الفيزياء	علوم المادة

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

Canevas de mise en conformité et harmonisation

OFFRE DE FORMATION

L.M.D. MASTER ACADEMIQUE

2025 – 2026

Domaine	Filière	Spécialité
SCIENCES DE LA MATIERE	PHYSIQUE	PHYSIQUE MEDICALE

Fiches d'organisation semestrielles **des enseignements de la spécialité**

Les matières du programme du IAEA-TCS-56 (Rev.1 2021) et IAEA-TCS-83 (2023)
adaptées au squelette du canevas du master harmonisé

Master physique Médicale

Semestre 1 :

Unité d'enseignement	Matières	VHS 15 semaines	V.H hebdomadaire			Autre	Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	Intitulé		Cours	TD	TP				Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 1 Crédits : 18 Coefficients : 9	Physique des Radiations I	67h30	3h	1h30		82h30	3	6	33%	67%
	Physique de la radiologie diagnostique et interventionnelle I	67h30	3h	1h30		82h30	3	6	33%	67%
	Radioprotection	67h30	3h	1h30		82h30	3	6	33%	67%
UE Méthodologique Code : UEM 1 Crédits : 9 Coefficients : 5	Principes fondamentaux de l'imagerie médicale I	7h30	1h30	1h30	1h30	57h30	3	5	50%	50%
	Langage de programmation I	22h30			1h30	52h30	1	3	50%	50%
	Intelligence artificielle et Machine Learning 1	15h00			1h00	10h00	1	1	50%	50%
UE Découverte Code : UED 1 Crédits : 2 Coefficients : 2	Méthodologie de recherche	22h30	1h30			02h30	1	1		100%
	Exploration de Logiciels libres et open source de la spécialité	22h30	1h30			02h30	1	1		100%
UE Transversale Code : UET 1 Crédits : 1 Coefficients : 1	Anglais I	22h30	1h30			02h30	1	1		100%
Total semestre 1		375h	15h00	6h00	4h00	375h	17	30		

Autres* : Travail complémentaire en consultation semestrielle.

Master physique Médicale

Unité d'enseignement	Matières	VHS 15 semaines	V.H hebdomadaire			Autre*	Coeffi	Crédits	Mode d'évaluation	
	Intitulé		Cours	TD	TP				Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 2 Crédits : 18 Coefficients : 9	Physique des Radiations II	67h30	1h30		03h00	82h30	3	6	33%	67%
	Physique de la radiologie diagnostique et interventionnelle II	67h30	1h30		03h00	82h30	3	6	33%	67%
	Dosimétrie des radiations	67h30	1h30	1h30	1h30	82h30	3	6	33%	67%
UE Méthodologique Code : UEM 2 Crédits : 9 Coefficients : 5	Principes fondamentaux de l'imagerie médicale II	67h30	1h30	1h30	1h30	82h30	3	6	50%	50%
	Intelligence artificielle et Machine Learning 2	37h30	1h30		1h00	37h30	2	3	50%	50%
UE Découverte Code : UED 2 Crédits : 2 Coefficients : 2	Langage de programmation II	45h00			3h00	5h00	2	2	50%	50%
UE Transversale Code : UET 2 Crédits : 1 Coefficients : 1	Anglais II	22h30	1h30			02h30	1	1		100%
Total semestre 2		375h00	09h00	3h00	13h00	375h00	17	30		

Semestre 2 :

Autres* : Travail complémentaire en consultation semestrielle.

Master physique Médicale

Semestre 3 :

Unité d'enseignement	Matières	VHS 15 semaines	V.H hebdomadaire			Autre*	Coeffi	Crédits	Mode d'évaluation	
	Intitulé		Cours	TD	TP				Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 3 Crédits : 18 Coefficients : 9	Physique de la radio- oncologie	67h30	3h00	1h30		82h30	3	6	33%	67%
	Physique de la médecine nucléaire	67h30	1h30	1h30	1h30	82h30	3	6	33%	67%
	Radiobiologie	67h30	1h30	1h30	1h30	82h30	3	6	33%	67%
UE Méthodologique Code : UEM 3 Crédits : 9 Coefficients : 5	TP Physique de la radio-oncologie.	22h30			1h30	27h30	1	2	50%	50%
	L'intelligence artificielle en physique médicale	60h00	1h30		2h30	65h00	3	5	50%	50%
	Anatomie et physiologie appliquées à la physique médicale	22h30	1h30			27h30	1	2		100%
UE Découverte Code : UED 3 Crédits : 2 Coefficients : 2	Développement professionnel et scientifique	45h00	3h00			5h00	2	2		100%
UE Transversale Code : UET 3 Crédits : 1 Coefficients : 1	Entrepreneuriat, Startup et Innovation	22h30	1h30			02h30	1	1		100%
Total semestre 3		375h	13h30	4h30	7h00	375h	17	30		

Autres* : Travail complémentaire en consultation semestrielle.

II - Programme détaillé par matière

Programme détaillé du IAEA-TCS-56 (Rev.1 2021) et IAEA-TCS-83 (2023)
(Programme de L'Agence Internationale de l'Energie Atomique)

Les programmes

Adapter le programme des cours et travaux dirigés (TD) en fonction du volume horaire hebdomadaire présentiel (VHH présentiel) et du volume horaire hebdomadaire personnel (VHH personnel).

Semestre : 1

UE : Fondamentale

Matière : Physique des Radiations I

Objectifs pédagogiques

Connaissance parfaite des interactions des particules chargées et des photons dans la matière dans différentes gammes d'énergie ; Notions d'énergie transférée, absorbée. Calcul des interactions indirectes des photons et des interactions directes des électrons. Les grandeurs représentant les différents types d'interactions des particules chargées et neutres.

Prérequis recommandés

Connaissances en physique générale ; en physique quantique et semi-classique ; de préférence connaissance de la physique atomique.

Contenu de l'unité :

- 1- Aperçu de la physique moderne
 - Aperçu historique
 - Structure atomique et nucléaire
 - Désintégration radioactive
 - Notion de section efficace
 - Mécanique quantique élémentaire
- 2- Notions sur la physique atomique
 - Modèles atomiques (multi-électrons),
 - Règles de sélection des transitions,
 - Relaxation atomique et production de rayonnement
 - Production de rayonnement par charges accélérées
- 3- Interaction rayonnement matière
 - Interactions photoniques
 - Interactions neutroniques
 - Interactions particules chargées
 - Diffusion élastique multiple
 - Pouvoir de diffusion massique
 - Pouvoir d'arrêt massique
 - Pouvoir d'arrêt électronique massique (restricted and unrestricted stopping power)
 - Transfert d'énergie linéaire (LET)

Références

- 4- PODGORSK, E. B., Radiation Physics for Medical Physicists (Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering), Springer, New York, USA (2010).
- 5- ANDREO, P., BURNS, D.T., NAHUM, A.E., SEUNTJENS, J., ATTIX, F.H., Fundamentals of Ionizing Radiation Dosimetry. Wiley-VCH, Weinheim, GERMANY (2017).

Semestre : 1

UE : Fondamentale

Matière : Physique de la radiologie diagnostique et interventionnelle I

Objectifs pédagogiques

□ Maîtrise des principes physiques de production d'images médicales (imagerie à rayons X, IRM et échographie).

□ Acquisition des outils nécessaires au contrôle qualité en imagerie médicale.

□ Ce cours permettra à l'étudiant de maîtriser les principes physiques de la tomodensitométrie et de la tomographie par résonance magnétique nucléaire ainsi que les principes de fonctionnement des machines utilisées et les rôles de leurs différentes parties. Il sera également doté des outils nécessaires qui lui permettront de réaliser le contrôle qualité sur toutes ces machines d'imagerie tomographique.

Maîtrise des principes physiques et des méthodes de production d'images en échographie et ceux relatifs aux différentes parties nécessaires à la génération et à la détection des ultrasons ainsi qu'à la lecture et au stockage des images.

□ Contrôle qualité en imagerie médicale.

Contenu de l'unité

1- Production de RX

Physique de la production de rayons X (y compris les spectres)

Technologie de la production de RX

Paramètres d'exposition et influence sur la qualité de l'image

2- Imagerie à rayons X et reconstruction d'image

Radiographie

Mammographie

CT

Fluoroscopie et radiologie interventionnelle

Radiographie numérique

Absorption des rayons X à double énergie,

Imagerie panoramique et tomographique dentaire

Amélioration du contraste

Dose patient et optimisation du système

3- Imagerie par ultrasons

Génération d'ultrasons

Interaction ultrasonore

Propriétés acoustiques des tissus biologiques

Onde, mouvement et propagation, puissance acoustique

Artefacts d'image et qualité d'image III.6. Modes de balayage

Applications thérapeutiques

Transducteurs

Techniques Doppler

Sécurité

4- Dépendance du rendement du tube à rayons X par rapport au HVL, à la tension du tube, au courant du tube, au temps d'exposition, à la filtration du faisceau et à la distance – Évaluation de la qualité de l'image (contraste, résolution, fonction de transfert de modulation)

Les TP suivants peuvent être adoptés ; L'ajout de d'autres TP est souhaitable.

• Physique de la radiologie interventionnelle et diagnostique

Références

[1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students, IAEA, Vienna (2014).

- [2] BUSHBERG, J.T., SEIBERT, J. A., LEIDHOLDT Jr, E.M. and BOONE, J. M., The Essential Physics of Medical Imaging, Wolters Kluwer, Philadelphia (2021).
- [3] DENDY, P.P., HEATON, B., Physics for Diagnostic Radiology, CRC Press, USA (2011).
- [4] SAMEI, E., PECK, D., Hendee's Physics of Medical Imaging, Wiley-Liss, New York (2019).
- [5] SPRAWLS, P., Physical Principles of Medical Imaging, Medical Physics Pub Corp, Madison (1993).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation: Specific Safety Guide No. SSG46, IAEA, Vienna (2018)

Semestre : 1
UE : Fondamentale
Matière : Radioprotection

Objectifs pédagogiques

Avoir une expérience de niveau standard en tant que personne responsable de la radioprotection en milieu hospitalier.

Contenu de l'unité :

- 1- Introduction
 - Perspective historique
 - Sources de rayonnement
- 2- Détection et mesure de la radioprotection
 - Geiger-Mueller (GM),
 - Compteurs proportionnels,
 - Scintillateurs
- 3- Caractérisation de rayonnement et dosimétrie opérationnelle
 - Atténuation exponentielle, couche de demi-atténuation (HVL), loi du carré inverse, couche de dixième d'atténuation (TVL)
 - Dose équivalente, dose efficace, etc.
- 4- Calculs de blindage
 - Calculs de blindage en radiologie
 - Calculs de blindage en médecine nucléaire
 - Calculs de blindage en radiothérapie
- 5- Évaluation de la sûreté des installations et des activités
 - Cadre juridique de la radioprotection
 - Situations d'exposition planifiées
 - Exigences générales
 - Exposition professionnelle
 - Exposition du public
 - Exposition médicale
 - Situations d'exposition d'urgence
 - Transport et gestion des déchets radioactifs
 - Évaluation des risques

Séances pratiques : des travaux pratiques sont possibles ; une séance de laboratoire peut couvrir plusieurs sujets. Des exemples pratiques sont donnés ci-dessous :

- Radioprotection : Inspection radiologique d'une installation clinique
: Calcul du blindage

Références

- [1] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Operational Quantities for External Radiation Exposure, ICRU Report No. 95, Bethesda, MD (2021).
- [2] EUROPEAN COMMISSION, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, IAEA, Vienna (2014).
- [3] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, The 2007 Recommendations of the

International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, ICRP, Ottawa (2007).

[4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA, Safety Assessment for Facilities and Activities: General Safety Requirements, Part 4 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2016).

Semestre : 1

UE : Méthodologie

Matière : Principes fondamentaux de l'imagerie médicale I

Objectifs pédagogiques

L'objectif est de familiariser l'étudiant avec les différentes méthodes mathématiques utilisées en imagerie, ainsi qu'avec les techniques de reconstruction d'images tomographiques et de maîtriser les métriques utiles à la caractérisation de la qualité de l'image.

Contenu de l'unité :

- 1- Techniques de reconstruction tomographique
 - Méthodes analytiques
 - Méthodes itératives
- 2- Caractérisation de l'image.
 - Introduction à l'acquisition d'images
 - Mesures de la qualité d'image
 - Contraste, évaluation des détails du contraste, rapport contraste/bruit (CNR)
 - Signal, sensibilité, courbes de réponse du récepteur, plage dynamique
 - Résolution spatiale (par exemple, fonction d'étalement de point (PSF), fonction d'étalement de ligne (LSF), fonction de transfert de modulation (MTF))
 - Bruit, spectres de puissance de bruit (NPS)
 - Efficacité quantique de détection (DQE)

Les TP suivants peuvent être adoptés ; L'ajout de d'autres TP est souhaitable.

- Principes fondamentaux de l'imagerie médicale

3-Travaux pratiques sur la qualité de l'image.

4-Reconstruction tomographique

Références

[1] GONZALEZ, R., and WOODS, R., Digital Image Processing. Prentice Hall, New Jersey, USA (2007).

[2] BUSHBERG, J.T., SEIBERT, J. A., LEIDHOLDT Jr, E.M. and BOONE, J. M., The Essential Physics of Medical Imaging, Wolters Kluwer, Philadelphia (2021).

Semestre : 1

UE : Méthodologie

Matière : Langage de programmation I

Objectifs pédagogiques

Maîtriser les notions fondamentales de programmation avec le langage de programmation avancé Python. Fournir aux étudiants un outil de programmation performant leur permettant de résoudre les différents problèmes mathématiques rencontrés en physique en général.

Contenu de l'unité

- 1- Introduction au langage de programmation python.
 - Déclaration de variables, listes et opérations arithmétiques.
 - Boucles et comparaisons.
 - Manipulation de fichiers.
 - Déclaration et utilisation de fonction.
- 2- Initiation aux classes.
 - Introduction
 - Héritage et polymorphisme.

Références

- [1] Gérard Swinnen. Apprendre à programmer avec Python 3. Publisher : Eyrolles, 2012.
- [2] Casamayou Alexandre ; Chauvin Pascal ; Connan Guillaume ; Demailly Jean-Pierre. Programmation en Python pour les mathématiques : cours et exercices. Dunod, 2016.

Semestre : 1

UE : Méthodologie

Matière : Intelligence Artificielle et Machine Learning 1

Objectifs pédagogiques :

Introduire les bases de l'IA et de l'apprentissage automatique (Machine Learning), en se concentrant sur leurs applications dans les sciences de la matière. Les étudiants comprendront les concepts fondamentaux de la modélisation basée sur les données et comment appliquer les techniques de l'apprentissage automatique pour résoudre des problèmes du monde réel.

Connaissances préalables recommandées :

- Programmation (Python, MATHLAB...)

Contenu de la matière :

- 1- Introduction à l'IA et à l'apprentissage automatique
 - Aperçu de l'IA et de ses applications.
 - Importance des données dans l'IA et l'apprentissage automatique.
- 2- Concepts de base de l'apprentissage automatique
 - Apprentissage supervisé ou non supervisé.
 - Algorithmes clés de l'apprentissage automatique : régression, classification, regroupement.
 - Mesures d'évaluation (MAE, R^2 , précision).
- 3- Collecte et traitement des données
 - Ingénierie des caractéristiques et techniques de prétraitement des données.
 - Traitement de l'ajustement excessif et de l'ajustement insuffisant.
 - Bases de données sur les matériaux : Materials Project, OQMD, AFLOW.
- 4- Apprentissage automatique (Machine Learning) pratique en sciences de la matière
 - Étude de cas : Prédiction des propriétés des matériaux (bande interdite, etc.).
 - Utilisation de modèles d'apprentissage automatique pour des tâches simples de classification et de régression.
- 5- Révision approfondie des concepts clés

Références :

- *"Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow"* by Aurélien Géron (focuses on practical applications of machine learning)
- *"Pattern Recognition and Machine Learning"* by Christopher M. Bishop (provides theoretical foundations of ML)

Outils et bibliothèques :

- Python, Jupyter Notebooks
- Scikit-learn, Pandas, Matplotlib
- Materials science tools: Matminer, Pymatgen

Semestre : 1

UE : Découverte

Matière : Méthodologie de recherche

Objectifs pédagogiques

Initier les étudiants à la recherche scientifique en commençant par la recherche bibliographique, élément essentiel à la réussite des travaux académiques, puis la présentation et la discussion des résultats ainsi que la rédaction scientifique.

Contenu de l'unité

- 1- Planification de la recherche
 - Revue de la littérature
 - Collecte et traitement des données
 - Méthodes statistiques en recherche
 - Outils informatiques et d'analyse
 - Analyse critique
- 2- Rédaction scientifique
 - Méthodologie d'écriture
 - Authorship
 - Intégrité
 - Plagiat

Références

1. Jutras, Sylvie. *Mon compagnon de rédaction scientifique*. Editions JFD, 2019.
2. Lebrun, Jean-Luc. *Guide pratique de rédaction scientifique*. EDP sciences, 2012.
3. Tutin, Agnès. *L'écrit scientifique : du lexique au discours*. Eds. Francis Grossmann, and Presses Universitaires de Rennes. Presses universitaires de Rennes, 2014.

Semestre 1

Intitulé de l'unité : Découverte

Intitulé de la matière : Exploration de logiciels libres et open source en Physique Médicale

Objectifs de l'enseignement :

Initier les étudiants à l'usage de logiciels libres dédiés à la modélisation, à la simulation et à l'analyse des phénomènes liés à la physique médicale.

Développer des compétences pratiques en traitement d'image médicale, dosimétrie, planification thérapeutique et simulation de radiations.

Comprendre le rôle des outils numériques open source dans les applications cliniques et de recherche en physique médicale.

Connaissances préalables recommandées :

Bases en physique nucléaire, rayonnement, interaction rayons-matière

Connaissances fondamentales en anatomie et instrumentation biomédicale

Familiarité souhaitée avec Linux et/ou Python

Contenu pédagogique détaillé :

Chapitre I. Introduction aux logiciels open source en physique médicale

Définition et avantages des logiciels libres et open source

Notions de licences (GPL, MIT) et de communautés de développement

Exemples d'environnements libres en médecine : ITK, 3D Slicer, GATE

Chapitre II. Traitement d'images médicales

Introduction à ImageJ/Fiji : histogramme, seuillage, filtres

Segmentation d'images DICOM (scanner, IRM)

Introduction à 3D Slicer : volumes 3D, enregistrement, annotations

Chapitre III. Dosimétrie et planification

Introduction à GATE (Geant4 Application for Tomographic Emission) : structure, géométrie, simulation de sources radioactives

Simulation de la dose dans un fantôme anthropomorphe

Étude de faisceaux externes (photons, protons)

Chapitre IV. Interaction rayonnement-matière

Visualisation et simulation avec PENELOPE, EGSnrc

Cas d'étude : interaction des électrons, photons X, électrons de haute énergie

Outils pour la radioprotection : simulation de blindages

Chapitre V. Analyse de données et visualisation scientifique

Utilisation de Python (NumPy, Matplotlib, Pandas) pour l'analyse d'images et de données dosimétriques

Scripts pour la lecture de fichiers DICOM, courbes dose-volume

Introduction à l'automatisation et au traitement par lots

Chapitre VI. Applications en imagerie et en thérapie

Simulation de la tomographie d'émission (TEP, TEMP)

Reconstruction d'images (algorithmes open source dans STIR)

Introduction à OpenRTK (Reconstruction Tomographique)

Chapitre VII. Mini-projet de simulation ou traitement

Réalisation d'un mini-projet par binôme : application d'un logiciel libre sur un cas réel ou simulé

Rédaction d'un rapport et soutenance orale

Références et ressources recommandées :

Jan S. et al., "GATE: a simulation toolkit for PET and SPECT", Phys Med Biol, 2004.

Schneider C.A. et al., "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis", Nat Methods, 2012.
PENELOPE, EGSnrc documentation : IAEA, NRC Canada
Documentation de 3D Slicer : <https://slicer.readthedocs.io>
GATE : <https://www.opengatecollaboration.org>
Python libraries : <https://scikit-image.org>, <https://pydicom.github.io>

Semestre : 1

UE : Transversale

Matière : Anglais I

Objectifs pédagogiques

Amélioration des aptitudes de lecture, de compréhension et d'analyse de textes scientifiques en langue anglaise

Contenu de l'unité

Essentiel des règles Grammaticales en langue anglaise

Références

De manière générale, la documentation concernera des documents scientifiques (articles et ouvrages) liés à la formation.

Semestre : 2

UE : Fondamentale

Matière : Physique des Radiations II

Objectifs pédagogiques

Donner aux futurs spécialistes en physique médicale le bagage théorique et expérimental nécessaire à la compréhension des rayonnements, de leurs preuves et de la protection contre ces rayonnements. Comprendre comment réaliser une modélisation numérique du transport des rayonnements utilisé en thérapie et en diagnostic. Maîtrise d'un des codes numériques de simulation de transport de rayonnement (MCNPX, Penelope, Gate, EGS...)

Contenu de l'unité

- 1- Equation de transport de Boltzman
Introduction
Ralentissement des particules chargées (CSDA)
Électrons Secondaires
- 2- Introduction aux techniques de Monte Carlo
Méthodes Monte Carlo
Distribution de probabilité et échantillonnage inverse
Incertitude, temps de simulation et efficacité.
Modélisation du transport des particules.
Simulation Monte Carlo détaillée.
Simulation Monte Carlo histoire-condensée.
Techniques de la réduction de la variance.
Applications
- 3- Aperçu de la physique des rayonnements non ionisants

Les TP suivants peuvent être adoptés ; L'ajout de d'autres TP est souhaitable.

- Détection des radiations :
 - Détection des particules : détecteur Geiger Muller, compteur proportionnelle, scintillateur et chaîne de mesure.
 - Statistique de comptage (gauss et poisson).
 - Détermination du coefficient d'atténuation.
 - Mesure du Temps mort du GM.
 - L'irradiation dans l'air : vérification de la loi inverse carrée de la distance
- Physique des radiations :
 - Utilisation d'un code Monte Carlo simple pour illustrer le principe et l'échantillonnage
 - Calculs de transport Monte Carlo à l'aide d'un code à usage général
 - Applications du tutorial d'un code Monte Carlo.

Références

- [1] PODGORSK, E. B., Radiation Physics for Medical Physicists (Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering), Springer, New York, USA (2010).
- [2] ANDREO, P., BURNS, D.T., NAHUM, A.E., SEUNTJENS, J., ATTIX, F.H., Fundamentals of Ionizing Radiation Dosimetry. Wiley-VCH, Weinheim, GERMANY (2017).
- [3] Koutsojannis C.: Electromagnetic Radiation: History, Theory and Research, Nova Pubs, NY 2018; ISBN: 978-1-53614-331-7.

Semestre : 2

UE : Fondamentale

Matière : Physique de la radiologie diagnostique et interventionnelle II

Objectifs pédagogiques

- Maîtrise des principes physiques de production d'images médicales (imagerie à rayons X, IRM et échographie)
- Acquisition des outils nécessaires au contrôle qualité en imagerie médicale
- Ce cours permettra à l'étudiant de maîtriser les principes physiques de la tomодensitométrie et de la tomographie par résonance magnétique nucléaire ainsi que les principes de fonctionnement des machines utilisées et les rôles de leurs différentes parties. Il sera également doté des outils nécessaires qui lui permettront de réaliser le contrôle qualité sur toutes ces machines d'imagerie tomographique.
- Maîtrise des principes physiques et des méthodes de production d'images en échographie et ceux relatifs aux différentes parties nécessaires à la génération et à la détection des ultrasons ainsi qu'à la lecture et au stockage des images.
- Contrôle qualité en imagerie médicale.

Contenu de l'unité

1- IRM

Physique de l'IRM
Formation d'images IRM
Résonance magnétique nucléaire (RMN) et IRM
Magnétisme, spins et génération de signaux RMN ; relaxation de l'écho de spin T1 et T2
Spectroscopie RMN
Imagerie et reconstruction IRM
Transfert de magnétisation
Matériel IRM ;
Formalisme de l'espace k, transformée de Fourier rapide (FFT) et formation d'images (IRM) ;
échos de gradient ;
Imagerie rapide (imagerie écho-planaire (EPI), remplissage de l'espace k, imagerie parallèle)
Instrumentation IRM
Méthodes IRM
Contraste et qualité d'image IRM
Sécurité

2- La qualité de diagnostique en radiologie

Applications cliniques et artefacts
Imagerie bimodale et multimodale
Principes de gestion de la qualité en radiologie

Les TP suivants peuvent être adoptés ; L'ajout de d'autres TP est souhaitable.

- Physique de la radiologie interventionnelle et diagnostique

Dépendance de la sortie du tube à rayons X par rapport à la HVL, à la tension du tube, au courant du tube, au temps d'exposition, à la filtration du faisceau et à la distance

Évaluation de la qualité de l'image (contraste, résolution, fonction de transfert de modulation)

Références

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students, IAEA, Vienna (2014).
- [2] BUSHBERG, J.T., SEIBERT, J. A., LEIDHOLDT Jr, E.M. and BOONE, J. M., The Essential Physics of Medical Imaging, Wolters Kluwer, Philadelphia (2021).
- [3] DENDY, P.P., HEATON, B., Physics for Diagnostic Radiology, CRC Press, USA (2011).
- [4] SAMEI, E., PECK, D., Hendee's Physics of Medical Imaging, Wiley-Liss, New York (2019).
- [5] SPRAWLS, P., Physical Principles of Medical Imaging, Medical Physics Pub Corp, Madison (1993).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation: Specific Safety Guide No. SSG46, IAEA, Vienna (2018)

Semestre : 2

UE : Fondamentale

Matière : Dosimétrie des radiations

Objectifs pédagogiques

Avoir une bonne maîtrise des fiches de travail utilisées dans les protocoles de dosimétrie de l'AIEA (TRS 398). Bonne compréhension des avantages et inconvénients des dosimètres. Très bonne maîtrise des mesures dosimétriques absolues et relatives.

Contenu de l'unité

1- Concept dosimétrique

Grandeurs et unités dosimétriques

Équilibre de rayonnement, équilibre des particules chargées partielles

Théorème de Fano

Théorie de la cavité

Normes primaires de rayonnement pour le kerma dans l'air et la dose absorbée

2- Dosimètres de rayonnement (3 semaines)

Caractéristique des dosimètres de radiation

Principe de fonctionnement et technologie des dosimètres de radiation

3- Traçabilité de l'étalonnage

Concept de dose absorbée dans l'air ($N_{D,air}$), réponse du détecteur, par exemple coefficient d'étalonnage de dose absorbée dans l'eau ($N_{D,w}$)

Protocoles de dosimétrie de référence et codes de pratique

Dosimétrie à petit champ (aspects fondamentaux, recommandations)

Les TP suivants peuvent être adoptés ; L'ajout de d'autres TP est souhaitable.

• Dosimétrie des rayonnements

Étalonnage de la dosimétrie de référence des faisceaux cliniques à l'aide d'un protocole international, par exemple AIEA

TRS 398

Dosimétrie à petit champ

• Physique des rayonnements et dosimétrie des rayonnements :

Mesures avec des chambres d'ionisation au Co-60, à rayons X et à faisceaux d'accélérateurs

Balayage de réservoirs d'eau

Mesures avec des dosimètres à semi-conducteurs et chimiques (dosimètres thermoluminescents (TLD), transistors à effet de champ à semi-conducteurs à oxyde métallique (MOSFET), dosimètres à luminescence stimulée optiquement (OSLD), film, etc.)

Références

[1] ANDREO, P., BURNS, D.T., NAHUM, A.E., SEUNTJENS, J., ATTIX, F.H., Fundamentals of Ionizing

Radiation Dosimetry. Wiley-VCH, Weinheim, GERMANY (2017).

[2] ROGERS, D.W.O., CYGLER, J., Clinical Dosimetry Measurements in Radiotherapy: AAPM 2009 Summer School, Medical Physics Pub Corp, Madison, USA (2009).

[3] KNOLL, G.F., Radiation Detection and Measurement. Wiley, USA (2010).

[4] ICRU Report 90. Key Data for Ionizing-Radiation Dosimetry: Measurement Standards and Applications. International Commission on Radiation Units and Measurements. Bethesda, MD, USA (2016).

Semestre : 2

UE : Méthodologie

Matière : Principes fondamentaux de l'imagerie médicale II

Objectifs pédagogiques

- Acquire the basic notions of training, display, and image processing. Discover some software allowing basic or more advanced image processing
- Introduce new medical image processing techniques to help with analysis.

Contenu de l'unité

- 1- Méthodes mathématiques.
 - Systemes linéaires
 - Méthodes d'échantillonnages.
- 2- Introduction au traitement d'images
 - Filtrage d'images (lissage, restauration)
 - Segmentation d'Image
 - Enregistrement d'images
 - Techniques Statistiques (optimisation, classification)
 - Techniques Volumétriques (rendu, modélisation)
- 3- Perception et évaluation de l'image
 - Théorie de la vision humaine (modèle Barton)
 - Spécifications de performance des observateurs (decision outcomes, ROC)
 - Méthodologies expérimentales
 - Conception de systèmes d'affichage

Les TP suivants peuvent être adoptés ; L'ajout de d'autres TP est souhaitable.

Principes fondamentaux de l'imagerie médicale

Travaux pratiques sur l'imagerie numérique et les communications en médecine (DICOM)

Perception et évaluation de l'image

Références

- [1] GONZALEZ, R., and WOODS, R., Digital Image Processing. Prentice Hall, New Jersey, USA (2007).
[2] BUSHBERG, J.T., SEIBERT, J. A., LEIDHOLDT Jr, E.M. and BOONE, J. M., The Essential Physics of Medical Imaging, Wolters Kluwer, Philadelphia (2021).

Semestre : 2

UE : Méthodologie

Matière : L'intelligence artificielle en physique médicale II

Objectifs pédagogiques :

L'objectif principal de ce cours est de doter les étudiants d'une compréhension globale des techniques d'apprentissage automatique (ML) et de leurs applications dans le domaine de l'analyse médicale. À la fin de ce cours, les étudiants seront en mesure de :

- Comprendre les concepts fondamentaux du ML, appliquer les techniques du ML aux données médicales
- Évaluer les modèles ML
- Développer des compétences pratiques en ML
- Explorer et comprendre des sujets avancés tels que les réseaux bayésiens, les techniques de clustering et les applications d'apprentissage profond dans l'imagerie médicale et le diagnostic.

Ce cours vise non seulement à fournir des connaissances théoriques, mais également à offrir des compétences pratiques que les étudiants peuvent appliquer dans des contextes médicaux réels, les préparant ainsi à des rôles dans l'analyse des soins de santé, la recherche médicale et au-delà.

Contenu de l'unité

- 1- Introduction à l'apprentissage automatique dans l'analyse médicale
 - Introduction à l'apprentissage automatique (concepts et définitions, importance en médecine).
 - Principes de l'apprentissage automatique Comment les algorithmes apprennent à partir des données.
 - Types d'apprentissage automatique (apprentissage supervisé, non supervisé et par renforcement)
- 2- Apprentissage supervisé
 - Régression vs classification (différence entre régression et classification, exemples)
 - Mesures et indicateurs de performance
 - Développement de modèles
 - Amélioration du modèle
- 3- Techniques de régression
 - Régression linéaire et multiple (modélisation prédictive (erreur quadratique moyenne, algorithme de descente de gradient)
 - Régression polynomiale
 - Autres techniques (régression de Lasso, régression de crête, réseau élastique, méthode des moindres carrés)
- 4- Techniques de classification
 - Régression logistique
 - k-plus proches voisins (KNN) et variantes (classification)
 - Arbres de décision
 - Classification bayésienne naïve
 - Réseaux bayésiens
- 5- Apprentissage non supervisé
 - Clustering
 - Autre algorithme de clustering (modèle de mélange gaussien, décalage moyen)
 - Règles d'association
- 6- Implémentations et outils pratiques (en parallèle avec toutes les sections précédentes)

Références

Une liste de Bibliographie recommandée pouvant être utilisée pour développer le programme est proposée ci-dessous. Certaines sont disponibles électroniquement. Il existe des Framework d'apprentissage automatique téléchargeables gratuitement à utiliser (par exemple TensorFlow, PyTorch, scikit-learn, mlr3, etc.).

- [1] JAMES, G., WITTEN, D., HASTIE, T., TIBSHIRANI, R., An Introduction to Statistical Learning. Springer, New York (2013).
- [2] HASTIE, T., TIBSHIRANI, R., FRIEDMAN, J.H., The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Springer, New York (2009).²⁴
- [3] FLA CH, P., Machine Learning: The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data. Cambridge University Press (2012).
- [4] GOODFELLOW, I., BENGIO, Y., COURVILLE, A., Deep learning, MIT Press (2016).
- [5] BISHOP, C.M., NASRABADI, N.M., Pattern recognition and machine learning, Springer, New York (2006).
- [6] BISHOP, C. M., Neural networks for pattern recognition. Oxford University Press (1995).

Semestre : 2

UE : Découverte

Matière : Langage de programmation II

Objectifs pédagogiques

Maîtriser la programmation avec le langage de programmation avancé Python pour le traitement d'images. Effectuer des opérations de traitement d'images à l'aide du langage Python. Fournir aux étudiants un outil de programmation performant qui leur permet de mettre en œuvre différentes techniques de traitement d'images, notamment le seuillage, le filtrage, la détection des contours et la segmentation.

Connaissances préalables recommandées :

Algorithmique (Preuve d'algorithmes, structures de données) Programmation à l'aide du langage de programmation Python.

Contenu de l'unité

Cette matière contient uniquement des TP

- 1- Introduction à l'imagerie imagerie
 - Affichage d'une image.
 - Manipulation des pixels de l'image.
 - Amélioration du contraste.
- 2- Traitement d'image (9 semaines)
 - Filtrage.
 - Seuillage.
 - Transformation géométrique.
 - Segmentation.

Références

- [1] Gérard Swinnen. Apprendre à programmer avec Python 3, Eyrolles, 2012.
- [2] Chityala Ravishankar, Image Processing and Acquisition Using Python, CRC Press, 2014
- [3] José Manuel Ortega, Dr. M. O. Faruque Sarker, Sam Washington, Learning Python Networking, Packt Publishing, 2019.

Semestre : 2

UE : Transversale

Matière : Anglais II

Objectifs pédagogiques

Amélioration des compétences de lecture, de compréhension et d'analyse de textes scientifiques en anglais

Connaissances préalables recommandées :

Anglais I.

Contenu de l'unité

Le module se concentre principalement sur l'anglais scientifique permettant à nos étudiants de se doter des outils et des techniques leur permettant de comprendre et d'analyser un texte scientifique.

Semestre : 3

UE : Fondamentale

Matière : Physique de la radio-oncologie

Objectifs pédagogiques

Maîtrise du calcul dosimétrique dans le plan de traitement des patients en calculant le nombre d'unités de surveillance dans la gamme des mégavolts. Avoir une connaissance suffisante de l'étalonnage des accélérateurs de photons et d'électrons.

Contenu de l'unité

1- Radiothérapie externe

Présentation de la radiothérapie clinique

Équipement de radiothérapie (téléthérapie ^{60}Co , cyclotrons, générateurs kV, accélérateurs de particules et théorie des guides d'ondes)

Physique de la radiothérapie photonique mégavoltage (fonctions dosimétriques et planification de traitement de base, calculs d'unité de surveillance (MU))

Physique de la radiothérapie photonique kV (fonctions dosimétriques et planification de traitement de base, calculs d'unité de surveillance)

Installation du patient, y compris positionnement et immobilisation

Simulation, simulation virtuelle, radiographies reconstruites numériquement (DRR), enregistrement d'images,

Algorithmes de calcul de dose et corrections d'hétérogénéité,

Prescription, enregistrement et rapport selon les rapports pertinents de l'ICRU.

Physique de la radiothérapie électronique mégavoltage selon les rapports pertinents de l'ICRU ou de l'American Association of Physicists in Medicine (AAPM)

2- Curie-thérapie

Curiethérapie selon les rapports pertinents de l'ICRU et de l'AAPM :

Débit de dose élevé (HDR) et faible débit de dose (LDR)

Équipement et sources

Planification du traitement

3- Diverses techniques de radiothérapie

Planification inverse et optimisation pour la radiothérapie à modulation d'intensité (IMRT)

Équipements et techniques de radiothérapie à petit champ (radiothérapie stéréotaxique (SRT) et radiochirurgie (SRS),

Radiothérapie stéréotaxique corporelle (SBRT), IMRT,

Thérapie par arc volumétrique (VMAT),

Radiothérapie guidée par résonance magnétique (MRgRT)

Guidage et vérification des images en radiothérapie (Cone Beam CT (CBCT), échographie (US), imagerie portale, dosimétrie in vivo (IVD)), recalage d'images affines et déformables

Principes de la radiothérapie adaptative

Systèmes d'information de radiothérapie

Principes de gestion de la qualité en radio-oncologie

Références

- [1] PODGORSK, E., (Ed), Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students, IAEA, Vienna (2005).
- [2] KHAN, FAIZ M., The Physics of Radiation Therapy, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia (2014).
- [3] MAYLES, P., NAHUM, A., AND ROSENWALD, J.C., Handbook of Radiotherapy Physics, Theory and Practice, Taylor & Francis, USA (2007).
- [4] BALTAS, D., SAKELLIU, L., ZEMBOGLOU, N., The Physics of Modern Brachytherapy for Oncology, CRC Press (2007).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation: Specific Safety Guide No. SSG46, IAEA, Vienna (2018).
- [6] ICRU Report 50. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam therapy. International Commission on Radiation Units and Measurements. Bethesda, MD, USA (1993).
- [7] ICRU Report 62. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam therapy (Supplement to ICRU Report 50). International Commission on Radiation Units and Measurements. Bethesda, MD, USA (1999)
- [8] ICRU Report No. 71. Prescribing, Recording, and Reporting Electron Beam Therapy. International Commission on Radiation Units and Measurements. Bethesda, MD, USA (2004).
- [9] ICRU Report 83. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT). International Commission on Radiation Units and Measurements. Bethesda, MD, USA (2010).
- [10] ICRU Report 91. Prescribing, Recording and Reporting of Stereotactic Treatments with Small Photon Beams. International Commission on Radiation Units and Measurements. Bethesda, MD, USA (2019).

Semestre : 3

UE : Fondamentale

Matière : Physique de la médecine nucléaire

Objectifs pédagogiques

Permettre à l'étudiant d'acquérir les notions essentielles en physique de médecine nucléaire nécessaires au physicien médical pour pouvoir exercer ses tâches dans un service de médecine nucléaire.

Contenu de l'unité

- 1- Produits radiopharmaceutiques
 - Production de radionucléides et de produits radiopharmaceutiques
 - Décroissance radioactive et choix des radionucléides
- 2- Instrumentation en médecine nucléaire
 - Détecteurs et électronique
 - Instrumentation non-imagerie
 - Calibreurs de dose (Activimètre), compteurs de puits
 - Sondes
 - Instrumentation d'imagerie
- 3- Différents modes d'acquisition
 - Planaire, corps entier
 - Tomographie par émission monophotonique (SPECT)
 - Tomographie par émission de photons (PET)
 - Imagerie hybride
- 4- Dosimétrie interne
 - Introduction
 - Formalisme de dose de rayonnement interne médicale (MIRD),
 - Modélisation biocinétique et analyse compartimentale)
 - Imagerie quantitative
 - Dosimétrie pour thérapie radiopharmaceutique
- 5- Qualité en médecine nucléaire
 - Principes de gestion de la qualité en médecine nucléaire
 - Qualité d'image et bruit
 - Radioprotection spécifique à la médecine nucléaire
 - Applications diagnostiques et interprétation des images de radionucléides

Les TP suivants peuvent être adoptés ; L'ajout de d'autres TP est souhaitable.

- Physique de la médecine nucléaire

Contrôle de qualité en médecine nucléaire

Étalonnage de la sensibilité d'une gamma-caméra

Spectroscopie des rayons gamma.....

Références

[1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Medicine Physics: A Handbook for Teachers and Students, IAEA, Vienna (2014).

[2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quantitative Nuclear Medicine Imaging: Concepts, Requirements and Methods, IAEA, Vienna (2014).

[3] BUSHBERG, J.T., SEIBERT, J. A., LEIDHOLDT Jr, E.M. and BOONE, J. M., The Essential Physics of Medical Imaging, Wolters Kluwer, Philadelphia (2021).

[4] CHERRY, S.R., SORENSEN, J.A., PHELPS, M.E., Physics in Nuclear Medicine, Elsevier Saunders, Philadelphia (2012).

[5] STABIN, M. G., Fundamentals of Nuclear Medicine Dosimetry, Springer, USA (2008).

[6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and Safety in Medical

Uses of Ionizing Radiation: Specific Safety Guide No. SSG46, IAEA, Vienna (2018).

[7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Dosimetry for Radiopharmaceutical Therapy, IAEA, Vienna (in preparation).

Semestre : 3
UE : Fondamentale
Matière : Radiobiologie

Objectifs pédagogiques

Acquérir des connaissances sur les dommages et cassures au niveau de l'ADN. Effets des sources TLE élevées et faibles sur la matière vivante ; courbes de survie cellulaire, fractionnement et les 5Rs de la radiothérapie. L'EBR et son effet sur la thérapie. Courbes dose-réponse. Les expositions totales...

Contenu de l'unité :

- 1- Notions de base sur le cancer et le rôle de la radiothérapie
 - Caractéristiques du cancer
 - Oncogènes, gènes de suppression tumorale et gardiens du génome
- 2- Interaction des rayonnements ionisants avec les systèmes biologiques.
 - Échelle temporelle des effets
 - Classification des effets
 - Cycle cellulaire et radiosensibilité
 - Transfert d'énergie linéaire (LET)
- 3- Dommages induits par les radiations et réponse aux dommages à l'ADN.
 - Rupture simple brin et ruptures double brin
 - Capteurs de dommages à l'ADN
 - Signalisation des dommages à l'ADN
 - Voies effectrices
 - Mort cellulaire après irradiation : comment, quand et pourquoi les cellules meurent
 - Quantification de la survie cellulaire : essais clonogènes
 - Courbes de survie cellulaire
 - Modèles (par exemple, modèle quadratique linéaire, potentiel léthal, etc.)
- 4- Efficacité biologique relative (RBE).
 - RBE et dose, débit de dose et LET
 - RBE pour les tumeurs et les tissus normaux
 - Effet de l'oxygène
- 5- Modèles de dose radiobiologique.
 - Probabilité de contrôle des tumeurs (TCP)
 - Probabilité de complications des tissus normaux (NTCP)
 - Doses et volumes de tolérance (Analyse quantitative des effets sur les tissus normaux).
- 6- Fractionnement.
 - L'approche quadratique linéaire
 - Dose équivalente en fractions de 2 Gy EQD2
 - Dose biologiquement efficace (BED)
 - Réparation incomplète et irradiation continue
 - Hypo- et hyper-fractionnement en radiothérapie

Les TP suivants peuvent être adopté ; L'ajout de d'autres TP est souhaitable.

Radiobiologie :

Mesure d'une courbe de survie

Courbes TCP et NTCP

Effet de l'oxygène

Références

[1] JOINER, M.C., VAN DER KOGEL, A.J., (Eds), Basic Clinical Radiobiology 5th edition, CRC Press (2019).

[2] HALL, E.J., AND GIACCIA, A. Radiobiology for the Radiologist, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, US, 8th Ed. (2018).

[3] LEHNERT, S., Biomolecular Action of Ionizing Radiation (Series in Medical Physics and Biomedical Engineering), Taylor and Francis, USA (2007).

[4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Biology: A Handbook for Teachers and Students, Training Course Series, No. 42, IAEA, Vienna (2010).

[5] ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).

Semestre : 3

UE : Méthodologie

Matière : Physique de la radio-oncologie (TP)

Objectifs pédagogiques

Acquérir des connaissances pratiques en dosimétrie, radiothérapie externe (mode électron et photon), la planification des plans de traitement sur machine, Protocol de calibration, control et assurance qualité.

Contenu de l'unité

Les TP suivants peuvent être adopté ; L'ajout de d'autres TP est souhaitable.

TP 1° : Control de qualité des installations

TP 2° : Dosimétrie en mode photons

TP 3° : Dosimétrie en mode électrons

TP 4° : Système de planification

Références

[1] PODGORSK, E., (Ed), Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students, IAEA, Vienna (2005).

[2] KHAN, FAIZ M., The Physics of Radiation Therapy, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia (2014).

[3] MAYLES, P., NAHUM, A., AND ROSENWALD, J.C., Handbook of Radiotherapy Physics, Theory and Practice, Taylor & Francis, USA (2007).

[4] BALTAS, D., SAKELLIU, L., ZEMBOGLOU, N., The Physics of Modern Brachytherapy for Oncology, CRC Press (2007).

[5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation: Specific Safety Guide No. SSG46, IAEA, Vienna (2018).

[6] ICRU Report 50. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam therapy. International Commission on Radiation Units and Measurements. Bethesda, MD, USA (1993).

[7] ICRU Report 62. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam therapy (Supplement to ICRU Report 50). International Commission on Radiation Units and Measurements. Bethesda, MD, USA (1999)

[8] ICRU Report No. 71. Prescribing, Recording, and Reporting Electron Beam Therapy. International Commission on Radiation Units and Measurements. Bethesda, MD, USA (2004).

[9] ICRU Report 83. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT). International Commission on Radiation Units and Measurements. Bethesda, MD, USA (2010).

[10] ICRU Report 91. Prescribing, Recording and Reporting of Stereotactic Treatments with Small Photon Beams. International Commission on Radiation Units and Measurements. Bethesda, MD, USA (2019).

Semestre : 3

UE : Méthodologie

Matière : L'intelligence artificielle en physique médicale

Objectifs pédagogiques :

Ce cours vise à fournir une compréhension complète des méthodes statistiques avancées et des techniques d'apprentissage automatique essentielles à l'analyse des données et à la modélisation prédictive. À la fin de ce cours, les étudiants seront en mesure de :

- Maîtriser les techniques statistiques clés et acquérir une connaissance approfondie des statistiques multivariées, en comprenant leur application à la réduction de la dimensionnalité et à la simplification des données.
- Mettre en œuvre des méthodes avancées d'apprentissage automatique telles que l'analyse discriminante linéaire (LDA) et les machines à vecteurs de support (SVM) pour les tâches de classification et de régression.
- Comprendre et utiliser l'apprentissage profond et les réseaux neuronaux :
- l'architecture et le fonctionnement des modèles d'apprentissage profond, y compris les réseaux de neurones convolutionnels et récurrents.
- Mettre en œuvre des réseaux neuronaux de pointe pour des tâches complexes telles que la reconnaissance d'images et de la parole, et l'analyse de données séquentielles.
- Participer à des sessions pratiques qui renforcent les connaissances théoriques grâce à une application pratique à l'aide d'outils tels que Python, R et diverses bibliothèques d'apprentissage automatique.

Ce cours est conçu non seulement pour transmettre des connaissances théoriques, mais également pour fournir des expériences pratiques qui préparent les étudiants à des rôles avancés dans la science des données, l'analyse et l'intelligence artificielle, en particulier dans les secteurs nécessitant des capacités analytiques approfondies.

Contenu de l'unité

- 1- Analyse en composantes principales
 - Introduction aux statistiques multivariées
 - Fondements théoriques de l'ACP
 - L'algorithme de l'ACP
 - Aides à l'interprétation de l'ACP
 - Mise en œuvre de l'ACP
 - Sujets avancés en ACP
 - Comparaison de l'ACP avec d'autres techniques de réduction de dimensionnalité
- 2- Analyse discriminante linéaire (LDA)
 - Fondements mathématiques de l'ACP
 - Compréhension de la variance entre les classes et au sein d'une classe
 - Maximisation du critère de Fisher
 - Évaluation du modèle et réduction de dimensionnalité
 - Sujets avancés en ACP
 - Études de cas et applications
- 3- Machines à vecteurs de support (SVM)
 - Principe général
 - Discrimination linéaire et hyper plan séparateur
 - Marge maximale
 - Recherche de l'hyperplan optimal
 - Cas non séparable : astuce du noyau
 - Extensions

4- Méthodes d'ensemble (Ensemble Learning)

- Boosting

- Bagging

- Algorithme AdaBoost

- Autre variante : Logit Boost, AdaBoost-MG, Gx-Boost

- Forêts aléatoires

5- Systèmes de recommandation

- Introduction aux systèmes de recommandation

- Filtrage basé sur le contenu

- Filtrage collaboratif

- Systèmes de recommandation hybrides

- Mise à l'échelle des systèmes de recommandation

- Application médicale des systèmes de recommandation

6- Techniques d'apprentissage profond

- Réseaux neuronaux profonds à rétroaction directe (architectures, fonctions de transfert, rétropropagation d'erreur, descente de gradient stochastique)

- Réseaux neuronaux profonds convolutionnels (CNN)

- Sujets avancés sur les CNN

- Applications des CNN

- Réseaux neuronaux récurrents

- Réseaux neuronaux génératifs

Apprentissage par renforcement

Autres architectures de réseaux neuronaux

Mises en œuvre et outils pratiques (Parallèlement à toutes les sections précédentes)

Travaux pratiques : Oui

Ce cours contient uniquement des cours et des travaux pratiques.

Références

Une liste de Bibliographie recommandée pouvant être utilisée pour élaborer le programme est proposée ci-dessous. Certains sont disponibles par voie électronique. Il existe des frameworks d'apprentissage automatique téléchargeables gratuitement à utiliser (e.g. TensorFlow, PyTorch, scikit-learn, mlr3, etc.).

[1] JAMES, G., WITTEN, D., HASTIE, T., TIBSHIRANI, R., An Introduction to Statistical Learning. Springer, New York (2013).

[2] HASTIE, T., TIBSHIRANI, R., FRIEDMAN, J.H., The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Springer, New York (2009).²⁴

[3] FLACH, P., Machine Learning: The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data. Cambridge University Press (2012).

[5] GOODFELLOW, I., BENGIO, Y., COURVILLE, A., Deep learning, MIT Press (2016).

[6] BISHOP, C.M., NASRABADI, N.M., Pattern recognition and machine learning, Springer, New York (2006).

[7] BISHOP, C. M., Neural networks for pattern recognition. Oxford University Press (1995).

Semestre : 3

UE : Méthodologie

Matière : Anatomie et physiologie appliquées à la physique médicale

Objectifs pédagogiques

Fournir aux étudiants les bases d'anatomie et de physiologie utiles dans leurs spécialités en imagerie Médicale. Permettre à l'étudiant à la maîtrise de maîtriser les fondements de la planimétrie patient sur le système de planification de radiothérapie ; Le module permet à l'étudiant de connaître plus facilement les différentes localisations possibles des tumeurs ; les volumes cibles à traiter par radiothérapie, les organes à risque ainsi que les tissus critiques.

Contenu de l'unité

- 1- Nomenclature anatomique
 - Origine des noms anatomiques
 - Préfixes et suffixes
 - Position anatomique et nomenclature ; anatomie de surface
- 2- Structure, physiologie, pathologie et/ou apparence d'image diagnostique
 - Squelette et moelle osseuse
 - Cerveau et système nerveux central
 - Thorax
 - Abdomen
 - Bassin
 - Systèmes respiratoire, digestif, urinaire, reproducteur, circulatoire, lymphatique et endocrinien

Des travaux pratiques sont possibles ; exemples :

Anatomie et fonction à l'aide de différentes modalités d'imagerie

Références

[1] TORTORA, G.J., DERRICKSON, B.H., Principles of Anatomy and Physiology. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA (2011).

[2] WEIR, J., ABRAHAMS, P.H., SPRATT J.D., SALKOWSKIET L.R., Imaging Atlas of Human Anatomy, 4th Edition. Mosby, Maryland, USA (2010).

Semestre : 3

UE : Découverte

Matière : Développement professionnel et scientifique

Objectives :

- Aider les étudiants, futurs physiciens médicaux, à apprendre le rôle, les tâches et les responsabilités du physicien médical dans le système de santé.
- Sensibiliser les étudiants à la lutte contre la corruption dans leur environnement professionnel académique, clinique et de recherche.

Contenu de l'unité

1- Éthique

Déclaration d'Helsinki de l'Association médicale mondiale

Bases des essais cliniques

Examen/comités d'éthique

Principes éthiques : bienfaisance, non-malfaisance, autonomie (respect), justice

(Impartialité), prudence (précaution), honnêteté (transparence), responsabilité, inclusion, etc.

2- Professionnalisme

Gouvernance clinique

Gestion de la qualité

Code de conduite

Gestion du matériel médical

Conflit d'intérêts

3- Compétences en matière de présentation

Communication scientifique

Techniques d'enseignement

Références

[1] JURAN, J. M. and DE FEO, J., Juran's quality handbook: The complete guide to performance excellence, McGraw-Hill, New York (2010).

[2] BEAUCHAMP, T.L., CHILDRESS, J.F., Principles of Biomedical Ethics, Oxford University Press, UK (2013).

Semestre : 3

UE : Transversale

Matière : Entrepreneuriat, Innovation et Startup

Objectifs de l'enseignement

- Comprendre les fondamentaux de l'innovation et de l'entrepreneuriat
- Identifier les étapes de création d'une start-up
- Savoir concevoir, structurer et pitcher un projet innovant
- Maîtriser les outils clés : business model, étude de marché, MVP, levée de fonds

Connaissances préalables recommandées : Néant.

Contenu de la matière :

- 1- Introduction à l'innovation scientifique et à l'entrepreneuriat
- 2- De l'idée scientifique à l'opportunité de marché
- 3- Introduction au Business Model
- 4- Validation scientifique et marché
- 5- Propriété intellectuelle et brevets
- 6- Étude de marché et veille technologique
- 7- MVP et prototypage scientifique
- 8- Structuration d'une start-up technologique
- 9- Financement de l'innovation
- 10- Communication et vulgarisation
- 11- Éthique, impact et développement durable
- 12- Création de start-up deeptech
- 13- Préparation du projet final
- 14- Simulation de pitch
- 15- Soutenances finales

Références

- [1] Osterwalder, A. & Pigneur, Y. (2010). Business Model Nouvelle Génération. Pearson. Référence incontournable pour comprendre et utiliser le Business Model Canvas.
- [2] Ries, E. (2011). The Lean Startup. Crown Business. (Trad. française : Lean Startup, Pearson) L'ouvrage de référence sur la méthode Lean appliquée à l'innovation.
- [3] Christensen, C. M. (1997). The Innovator's Dilemma. Harvard Business Review Press. * Sur l'innovation disruptive et les défis des entreprises établies

Annexe

Nomenclature originale en anglais des intitulés des matières du programme

IAEA-TCS-56 (Rev.1 2021) et IAEA-TCS-83 (2023)

Nomenclature des intitulés des matières du programme IAEA-TCS-56 (Rev.1) et IAEA-TCS-83 (2023)

Radiation Physics	Physique des Radiations
Physics of Diagnostic and Interventional Radiology	Physique de la radiologie diagnostique et interventionnelle
Radiation Protection	Radioprotection
Medical Imaging Fundamentals	Principes fondamentaux de l'imagerie médicale
Programming language	Langage de programmation
Research Methodology	Méthodologie de recherche
Radiation Dosimetry	Dosimétrie des radiations
Artificial intelligence in medical physics	L'intelligence artificielle en physique médicale
Physic of radiation oncology	Physique de la radio-oncologie
Physic of nuclear medicine	Physique de la médecine nucléaire
Radiobiology	Radiobiologie
Professional and scientific development	Développement professionnel et scientifique
Anatomy and physiology as applied to medical physics	Anatomie et physiologie appliquées à la physique médicale

