

Défis technologiques de la recherche fondamentale et des applications énergétiques et médicales

I - Description générale de l'UE & Positionnement de l'UE dans le programme

Cette UE a pour objectif de faire découvrir aux étudiants la « recherche et développement » (R&D) de pointe dans le domaine de la détection des particules et les « technologies innovantes » mises en œuvre pour répondre à une question relevant de la physique fondamentale ou pour répondre à une demande provenant du milieu industriel, médical ou nucléaire.

Le fil conducteur de cette UE est de faire comprendre aux étudiants le lien étroit qui existe entre recherche fondamentale et recherche appliquée. On montrera à travers des exemples en quoi la recherche fondamentale peut être un moteur pour le développement d'instruments innovants ayant des retombées pour des applications dans l'industrie, le médical, l'énergie nucléaire... Les étudiants y acquerront des connaissances dans le domaine de la physique de ces détecteurs et des processus de développement des technologies innovantes mises en œuvre pour les définir et les réaliser.

Un autre objectif de cette UE est de faire découvrir aux étudiants les activités de recherche des groupes de Subatech d'un point de vue théorique et expérimental. En effet, certains étudiants seront peut-être intéressés pour poursuivre leurs études dans le milieu de la recherche.

Enfin, l'objectif est aussi que les étudiants acquièrent de nouvelles connaissances sur la physique théorique en lien avec les domaines de recherche abordés, même si nous n'aurons pas la possibilité de rentrer dans les détails compte tenu du niveau de connaissances préalables et du temps imparti.

II - Trois axes d'enseignement

II-1. Recherche fondamentale (18 h)

- Physique des accélérateurs
- ALICE et le Plasma de Quarks et Gluons (QGP) au CERN (LHC)
- Recherche de matière noire avec XENON
- Détection et physique des neutrinos

En dehors du cours introductif à la physique des accélérateurs, pour chacune des trois thématiques de recherche fondamentale, la structure de l'enseignement sera la suivante :

1. Éléments de théorie nécessaires à la compréhension de la thématique de recherche. Quelles sont les prédictions de la théorie ? Cours sur la physique théorique associée à la thématique.
2. Comment tester expérimentalement les prédictions théoriques ? avec quels instruments ? Cours sur la technologie des instruments utilisés.
3. Liens éventuels avec d'autres thématiques de recherches, d'autres applications dans l'industrie le nucléaire, le médical...

A titre d'illustration, voici comment la thématique de recherche fondamentale « Matière Noire » serait abordée suivant le schéma décrit précédemment :

1. Cours théorique sur la matière noire dans l'Univers : masse cachée au niveau cosmologique, preuves indirectes, vitesse de rotation des galaxies au sein des amas de galaxies, vitesse de rotation des étoiles au sein des galaxies, effets de lentilles gravitationnelles ...

Comment expliquer cette matière sombre : remettre en cause les lois fondamentales de la gravitation, rechercher de la matière ordinaire baryonique non lumineuse, rechercher de nouvelles particules élémentaires non standards comme les WIMPS.

2. Comment détecter les WIMPS ? Contraintes expérimentales : sensibilité de détection, bruit de fond ambiant dû à la radioactivité, au rayonnement cosmique...
Choix du milieu de détection, comparaison des différentes technologies, intérêt des TPC (Time Projection Chamber) double phase avec du xénon. Cours sur la physique des détecteurs avec des gaz nobles liquéfiés.
3. Lien avec l'imagerie médicale et le projet XEMIS, le point commun des deux projets étant la technologie de détection des RI basée sur le xénon liquide.

II-2. Défis technologiques pour l'industrie électro-nucléaire (12 h)

Instrumentation nucléaire pour le fonctionnement des réacteurs. Mesure neutronique du cœur, détection des fuites primaires/secondaires, instruments de mesure, contrôle non destructif dans l'industrie électronucléaire (méthodes utilisant les rayonnements ionisants, l'optique, la thermique...).

Le but est que les étudiants acquièrent une vision opérationnelle :

- des problématiques rencontrées dans l'industrie,
- de la théorie appliquée aux besoins,
- des solutions existantes avec quelques exemples concrets (manipulation de détecteurs),
- des solutions en cours de développement,
- des défis de demain.

II-3. Défis technologiques pour le médical (12 h)

Utilisation des rayonnements ionisants pour des applications médicales en diagnostic et en thérapie. Les thèmes suivants pourront être abordés :

- Présentation généraliste du métier de physicien médical (études, champs d'expertise, présence dans différentes structures)
- Présentation du parcours patient
- Imagerie RX
- Médecine nucléaire
- Radiothérapie interne
- Radiothérapie externe
- R&D - Evolutions technologiques associées (exemples : tomosynthèse en mammographie, double énergie/imagerie spectrale, l'apport du numérique en TEP, caméra CZT dédiée au cardiaque, évolution de l'IGRT...)
- R&D sur les détecteurs liquides pour l'imagerie médicale (projet XEMIS).

Les intervenants mettront en avant les liens étroits existant entre les développements conçus pour la recherche en physique fondamentale et les applications médicales qui peuvent en découler.

II-4. Visites sur le terrain

Si l'emploi du temps le permet et si le nombre d'étudiants n'est pas trop important, des visites des sites d'expériences ou de travail présentés au cours de l'UE pourront être organisées (LHC au CERN par exemple, XEMIS au CHU de Nantes, Institut de Cancérologie de l'Ouest...).

II-5. Mots clés (savoirs et domaines disciplinaires) : instrumentation, détection, détecteurs, nucléaire, astroparticules, physique des particules, applications médicales

UE connexe(s) : Instrumentation et détection (RDI).

III - Compétences et évaluation

III-1. Liste des compétences CSDI/CST développées et évaluées

CG2 Résoudre un problème complexe en alliant théorie et pratique

CG1 Comprendre et analyser, synthétiser un problème et/ou une situation complexe

CG14 S'engager

III-2. Résultats d'apprentissages visés

A l'issue de l'UE, les élèves ingénieurs, seront capables de :

- comprendre le principe de fonctionnement des détecteurs abordés,
- comprendre les critères scientifiques et techniques qui pilotent le choix d'un système de détection ou d'un type de détecteur pour une application donnée,
- comprendre la nécessité d'intégrer différentes disciplines techniques dans la conception d'un système de détection (électronique, mécanique, informatique...)
- acquérir des bases de la méthodologie nécessaire à la conception d'un système de détection
- pré-dimensionner un des détecteurs dont le principe a été abordé en cours,
- situer les enjeux et les contraintes d'une étude de R&D,
- évaluer un rapport technique de conception d'un détecteur,
- apprécier les liens étroits entre recherche fondamentale et appliquée.

III-3. Situations d'apprentissage

Cours en petite classe, exercices inclus. Visites de sites.

III-4. Types d'évaluation pour observer les compétences visées

Chaque intervenant réservera, si possible dans la session "centrale" de son cours, un temps court (20 à 30 minutes) pour une évaluation sous une forme laissée à son appréciation (exercices, QCM, questions orales, sur la base des documents de cours ou d'autres documents distribués en amont). L'idée est bien d'évaluer les capacités de raisonnement des étudiants, par exemple sur la base d'un dimensionnement succinct d'un détecteur ou d'un choix à faire pour réaliser telle ou telle mesure. Faire l'évaluation au cœur du cours permet de revenir, au travers de la correction faite le plus tôt possible après, sur les notions ou méthodes importantes que les étudiants devraient acquérir, afin que l'évaluation soit aussi la plus formative possible. Les questions de l'évaluation, si elle est faite au milieu des sessions de cours, peuvent servir de base pour introduire les concepts du reste du cours ou revenir, au travers de la correction, sur des aspects mal compris des étudiants avant que le cours se termine.

IV - Intervenants et volumes horaires pour 2024-2025

UE Défis technologiques de la recherche fondamentale et des applications énergétiques et médicales	Resp. R Dallier	Date - Heure Début	42 h + 1h	Répartition
Présentation UE	Richard Dallier	?	1	1
Module "Défis pour l'industrie électronucléaire"	Zakkarya Mekhalfa et Benjamin Chagneau, ORANO (ZMBC - Mesures nucléaires)	25-02-2025 AM+PM	12	3
		26-02-2025 AM+PM		3
				3
				3
Module "Défis pour la recherche"	Benoît Viaud (BV - Neutrinos)	05-03-2025 PM	5	3
		19-03-2025 PM		2
	Freddy Poirier (FP - Accélérateurs)	12-02-2025 PM	3	3
	Guillaume Batigne (GB - ALICE et le QGP)	18-02-2025 PM	5	3
19-02-2025 PM		2		
Sara Diglio (SD - Matière Noire)		04-02-2025 PM	5	3
		05-02-2025 PM		2
Module "Défis pour le médical"	Alexandra Moignier et al., (ICO - Physique médicale) - A l'ICO	11-03-2025 PM	9	3
		12-03-2025 PM		3
		18-03-2025 PM		3
	Dominique Thers (DT - Détecteurs Liquides, XEMIS) - Au CHU centre	25-03-2025 PM	3	3

AM : créneau 09h00 - 12h15

PM : créneau 14h00 - 17h15

Les créneaux sont les mardi et mercredi.

Vacances scolaires Nantes et Aix-Marseille : du 08 au 22 février 2025. NB : les étudiants n'ont pas de vacances, car ils partent en stage juste après la fin de l'UE.

Date	Intervenant(s)	Cours	Module
04-02-2025 - PM	SD	Matière noire	Défis pour la recherche
05-02-2025 - PM	SD	Matière noire	Défis pour la recherche
11-02-2025			
12-02-2025 - PM	FP	Accélérateurs	Défis pour la recherche
18-02-2025 - PM	GB	ALICE et le QGP	Défis pour la recherche
19-02-2025 - PM	GB	ALICE et le QGP	Défis pour la recherche
25-02-2025 - AM+PM	ZMBC	Mesures nucléaires	Défis pour l'industrie
26-02-2025 - AM+PM	ZMBC	Mesures nucléaires	Défis pour l'industrie
04-03-2025			
05-03-2025 - PM	BV	Neutrinos	Défis pour la recherche
11-03-2025 - PM	ICO (à l'ICO)	La physique médicale	Défis pour le médical
12-03-2025 - PM	ICO (à l'ICO)	La physique médicale	Défis pour le médical
18-03-2025 - PM	ICO (à l'ICO)	La physique médicale	Défis pour le médical
19-03-2025 - PM	BV	Neutrinos	Défis pour la recherche
25-03-2025 - PM	DT (au CHU)	XEMIS	Défis pour le médical

Séquencement des interventions