

2EL2630 - Applications de la physique statistique et quantique aux sciences de l'information

Responsables : **Zeno TOFFANO**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT SIGNAL, INFORMATION, COMMUNICATION**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS , FRANCAIS**

Type de cours : **Electif 2A**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30**

Année académique : **2024-2025**

Catégorie d'électif : **Sciences fondamentales**

Niveau avancé : **oui**

Présentation, objectifs généraux du cours :

Ce cours constitue une ouverture aux théories et techniques mathématiques, informationnelles et statistiques issues de la physique quantique et statistique et de la théorie de l'information.

Ces techniques sont aujourd'hui couramment appliqués dans de nombreux domaines liés au traitement de l'information, les réseaux de neurones et l'apprentissage profond, le traitement d'images, les télécommunications, le web sémantique, l'intelligence artificielle, la biologie computationnelle... Mais aussi d'une façon plus générale dans les sciences humaines et sociales avec par exemple des applications dans le traitement du langage naturel et en finance.

Un rôle central dans ces recherches est l'estimation des incertitudes et des erreurs dans les processus informationnels. Le but est de pouvoir d'estimer et de corriger les erreurs afin de disposer d'une information exploitable pour le calcul et la transmission.

Les techniques opérationnelles utilisant l'information quantique ont montré récemment leur avantage par rapport aux méthodes classiques, l'exemple emblématique étant l'ordinateur quantique.

Le cours proposé, par nature transdisciplinaire, a pour but d'établir des connexions entre la formation en mathématique et en physique et les applications technologiques de pointe, tels que les communications numériques, le traitement des données, l'estimation et la correction des erreurs, l'apprentissage algorithmique et le calcul et l'information quantique.

Il est destiné aux étudiants désireux de se familiariser au travail de recherche et d'ingénieur dans des domaines scientifiques et technologiques de pointe dans un environnement numérique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence) :

SG8

Prérequis :

Analyse et probabilités, algèbre linéaire, physique quantique et statistique.

Notions souhaitées en théorie de l'information (cours I année), apprentissage, théorie des communications, algorithmique et théorie de la complexité.

Plan détaillé du cours (contenu) :

Théorie de l'information et applications

Deuxième loi de la thermodynamique. Principe d'entropie maximale. Grandes déviations. Méthode des types.

Taux d'entropie des processus stochastiques. Chaîne de Markov.

Compression et transmission de données. Principaux théorèmes de codage. Codage source et canal.

Codes pour corrections des erreurs

Physique statistique classique et quantique

Rappels de la physique statistique classique.

Le principe de Landauer et le démon de Maxwell.

Modèles d'Ising. Machines de Boltzmann. Méthodes variationnelles.

Apprentissage statistique.

Calcul et information quantique

Mesures quantiques, intrication quantique et entropie quantique.

Portes et circuits quantique. Algorithmes quantiques.

Téléportation quantique. Communications quantiques et cryptographie.

Correction d'erreur quantique.

Méthodes de simulation et d'optimisation quantique.

Implémentations physiques et évaluation des performances de l'informatique quantique.

Déroulement, organisation du cours :

28,5 HPE de cours magistraux et cours dirigés

Organisation de l'évaluation :

Examen écrit de 2h.

Travail personnel : présentation orale avec transparents devant la classe d'un article scientifique récent portant sur les thématiques di cours.

Moyens :

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours) :
Antoine Olivier BERTHET et Zeno TOFFANO

Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

A la fin de cet enseignement l'étudiant sera capable de:

- 1) Comprendre dans un contexte pluridisciplinaire l'importance et l'impact des concepts classiques ou quantiques d'information et d'entropie
- 2) Interpréter grâce à l'aide des outils mathématiques de la Physique Statistique et quantique des cas concrets par exemple dans le domaine des sciences des données, des télécommunications, de l'intelligence artificielle, de la biologie computationnelle ou de la finance.
- 3) Proposer des modèles mathématiques pour des applications innovantes tels que l'apprentissage machine, les réseaux de neurones, l'optimisation, les réseaux d'information, les ordinateurs quantiques... grâce aux moyens de la théorie de l'information, de l'inférence statistique, des critères d'optimisation, de la logique et de l'information quantique appris pendant le cours.
- 4) Implémenter les modèles mathématiques sous forme d'algorithmes dans différents environnements informatiques.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

:

Learning outcomes 1 and 2 allow to reach the milestone 1 of the C1.1 skill, ie "Know how to make the influence of peremeters influent on the analysed system, the list of the elements with which it is in relation "and" Knowing how to identify important parameters with respect to the given problem".

Learning outcomes 3 and 4 enable to reach milestone 1 of skill C 1.2, that is, "Knowing how to use a model presented in the classroom in a relevant way." Making the choice of the simplifying hypotheses adapted to the problem".

Learning Outcome 4 also achieves milestone 2B of skill C 1.3, ie "Knowing the limitations of numerical simulations and what can be expected, namely, to criticize numerical simulation results. ".

Bibliographie :

Mézard M., Montanari A., "Information, Physics, and Computation", Cambridge, 2009.

Nielsen M., Chuang I., "Quantum Computation and Quantum Information", II Ed., Cambridge, 2013

Jaeger G., "Quantum Information: An Overview", Ed. Springer 2007.

Djordjevic I.B., Quantum Information Processing, Quantum Computing, and Quantum Error Correction, An Engineering Approach, II Ed., Academic Press, 2021