



CentraleSupélec

CATALOGUE DE COURS

Diplôme d'Ingénieur Spécialité Physique

Deuxième année

Campus de Metz de CentraleSupélec

dernière mise à jour : 25 janvier 2026

Semestre 7

ISP-PHY-S07-16		Physique S07	9 ECTS
SPM-PHY-012	2	Interaction Lumière Matière. Laser	21.0 h
SPM-PHY-015	2	Introduction à l'Optique Quantique	24.0 h
SPM-PHY-014	3	Optique Moderne	31.5 h
SPM-PHY-013	2	Physique de la matière condensée	24.0 h

ISP-PHY-S07-37		Génie Physique S07	4 ECTS
SPM-PHY-017	2	Information et Calcul Quantique	24.0 h
SPM-PHY-016	2	Physique pour l'Ingénierie Quantique	24.0 h

ISP-PHY-S07-19		Mathématiques S07	4 ECTS
SPM-MAT-004	1	Optimisation	25.0 h
PM-MAT-006	1	Méthodes Numériques Avancées	24.0 h

ISP-PHY-S07-24		Ingénierie et Systèmes S07	9 ECTS
SPM-AUT-002	1	Commande des Systèmes Dynamiques	28.5 h
SPM-ELE-002	1	Electronique : Conception et Intégration	33.0 h
SPM-SIC-002	1	Traitement du Signal et Analyse Spectrale	33.0 h

ISP-PHY-S07-10		Humanités Entreprises Professionnalisation S07	4 ECTS
SPM-HEP-014	2	Les entreprises et leurs transformations	26.5 h
SPM-HEP-013	P/F	Séminaires	10.0 h
SPM-HEP-019	1	Gestion des ressources humaines	18.0 h
SportS07	P/F	Éducation Physique et Sportive S07	21.0 h

ISP-PHY-S07-04		Langues S07	4 ECTS
LV1S07	1	Langues Vivantes et Culture 1	21.0 h
LV2S07	1	Langues Vivantes et Culture 2	21.0 h

Semestre 8

ISP-PHY-S08-21	Génie Physique S08		9 ECTS
SPM-PHY-018	1	Introduction aux Nanotechnologies	36.0 h
SPM-INF-004	1	Introduction à la Programmation et l'Algorithmique Quantique	35.5 h
SPM-PHY-019	1	Introduction à la Photonique	36.0 h

ISP-PHY-S08-26	Informatique et Données S08		4 ECTS
SPM-INF-025	1	Apprentissage Machine et Données Massives pour L'Ingénierie Physique (1)	28.5 h
SPM-INF-026	1	Apprentissage Machine et Données Massives 2	19.5 h

ISP-PHY-S08-29	Projet et Recherche S08		6 ECTS
SPM-PRJ-09	5	Projet Innovation et Recherche	60.0 h
SPM-PHY-020	1	Recherche et Développement en Ingénierie Physique pour les Transitions Industrielles	12.0 h

ISP-PHY-S08-11	Humanités Entreprises Professionnalisation S08		7 ECTS
SPM-HEP-011	1	Ingénieur, environnement et société	14.0 h
SPM-HEP-018	1	Controverse	18.0 h
SPM-HEP-017	2	Ingénierie système	21.5 h
SportS08	P/F	Éducation Physique et Sportive S08	21.0 h
SPM-STA-002	4	Stage Ingénieur	0.0 h

ISP-PHY-S08-05	Langues S08		4 ECTS
LV1S08	1	Langues Vivantes et Culture 1	21.0 h
LV2S08	1	Langues Vivantes et Culture 2	21.0 h

Responsable de cours : Damien Rontani

Total : 21.0 h

CM : 13.5 h, **TD :** 3.0 h, **TP :** 3.0 h

SPM-PHY-012

[retour](#)

Description : Ce cours présente les concepts fondamentaux de l'interaction lumière-matière en s'appuyant sur le formalisme semi-classique, dans lequel la structure électronique et la dynamique de la matière sont décrites par la mécanique quantique, tandis que le champ de rayonnement électromagnétique est traité de manière classique. Le cadre théorique nécessaire à la compréhension des processus d'absorption, d'émission spontanée et d'émission stimulée est développé, avec une attention particulière portée à leur interprétation physique et à leur description quantitative. Ces mécanismes sont introduits à partir de modèles atomiques simples et constituent la base de l'analyse des transitions optiques et des échanges d'énergie entre la lumière et la matière.

À partir de ces interactions fondamentales, le cours examine les principes de fonctionnement des lasers (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Les éléments clés des systèmes laser sont présentés, notamment l'inversion de population, le gain optique et les cavités résonantes. Les principaux régimes dynamiques de fonctionnement des lasers sont analysés, allant de l'émission continue aux différents régimes impulsionnels. Enfin, plusieurs applications des lasers sont abordées, avec un accent particulier sur les applications en physique atomique, telles que la manipulation du mouvement des atomes par laser, le refroidissement laser et les techniques de piégeage.

Bibliographie :

- Ref. [1] : B.E.A. Saleh, M.C. Teich, Fundamental of Photonics, Wiley (2007)
- Ref. [2] : M. Sargent, M.O. Scully, W.E. Lamb, Laser Physics, CRC Press (2019)
- Ref. [3] : C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, G. Grynberg, Processus d'interaction entre photons et atomes, EDP Science CNRS Edition (2001)

Acquis d'apprentissage : AA1 : Compréhension des probabilités de transition et de l'interaction atome-rayonnement – AA2 : Connaissance approfondie des principes et des propriétés de base des lasers – AA3 : Maîtrise des éléments d'optique statistique et de leur application à la cohérence et à la largeur de raie laser – AA4 : Identification et analyse des différentes applications des lasers dans divers domaines scientifiques et technologiques

Modalités d'évaluation : Examen écrit, 1h30

Compétences évaluées :

- Conception Génie Physique
- Modélisation Physique

CM :

1. A compléter (12.0 h)
2. Séminaire Industriel (1.5 h)

TD :

1. A compléter (3.0 h)

TP :

1. A compléter (3.0 h)

INTRODUCTION À L'OPTIQUE QUANTIQUE

Responsable de cours : Nicolas Javahiraly

Total : 24.0 h

CM : 10.5 h, **TD :** 7.5 h, **TP :** 6.0 h

SPM-PHY-015

[retour](#)

Description : L'optique quantique est devenue une branche majeure de la physique quantique au cours des dernières années et elle constitue les fondements technologiques des différentes applications, tels que la cryptographie quantique et les ordinateurs quantiques. L'objectif principal de cours est d'offrir une vue d'ensemble abordable au niveau L3/M1 (2ème année du cursus) de l'optique quantique et de ses diverses applications, en mettant l'accent sur une approche intuitive des phénomènes physiques, sans négliger les développements mathématiques nécessaires.

Le cours sera structuré autour de deux axes majeurs : la notion de photons et ses statistiques. La deuxième partie présentera les développements théoriques de la quantification du champ électromagnétique et propriétés d'états non-classique de la lumière. Des applications seront également étudiées dans le cadre du traitement quantique de l'information. Le cours proposera des TD avec des séries d'exercices permettant de maîtriser les concepts essentiels. Des TP de photonique seront effectués pour illustrer les applications de l'optique quantique en cryptographie et traitement d'information.

Bibliographie :

- Ref. [1] : M. Fox, Quantum Optics. An Introduction, Oxford University Press, Master Series in Physics (2006)
- Ref. [2] : C. Gerry, P. Knight. Introductory Quantum Optics, Cambridge University Press, 1st Ed. (2004)

Acquis d'apprentissage : AA1 : Capacité à déterminer les étapes clés pour la quantification de phénomènes électromagnétiques – AA2 : Connaissance des principes de base des sources de lumière quantique – AA3 : Mise en oeuvre expérimental des concepts d'optique quantique pour des applications en télécommunications

Modalités d'évaluation : Examen Ecrit

Compétences évaluées :

- Conception Génie Physique
- Modélisation Physique

CM :

1. Introduction (1.5 h)
2. Notion de Photons-1/2 (1.5 h)
3. Notion de Photons-2/2 (1.5 h)
4. Quantification du champ électromagnétique -1/2 (3.0 h)
5. Applications au traitement quantique de l'information (3.0 h)

TD :

1. Notion de Photons (1.5 h)
2. Quantification du champ électromagnétique -2/2 (3.0 h)
3. Quantification du champ électromagnétique (1.5 h)
4. Applications au traitement quantique de l'information (1.5 h)

TP :

1. Notion de Photons (3.0 h)

2. Applications au traitement quantique de l'information (3.0 h)

Description : L'optique moderne est une branche de la science qui se concentre sur l'étude de la lumière et de ses propriétés en vue de son utilisation dans l'analyse et le traitement de l'information. Parmi les concepts clés figurent l'optique géométrique, l'optique ondulatoire, les interférences, la diffraction, la polarisation, la cohérence et, en particulier, l'optique de Fourier. Cette dernière permet de comprendre et de concevoir des systèmes d'imagerie, des techniques d'holographie et des méthodes de traitement spatial et fréquentiel de l'information optique. Le cours vise à donner aux étudiants une compréhension solide des principes fondamentaux et de leurs applications dans les systèmes optiques modernes.

Les travaux dirigés et les travaux pratiques permettent aux étudiants d'acquérir des compétences à la fois théoriques et expérimentales, en particulier dans l'analyse et la conception de systèmes d'imagerie et de dispositifs holographiques. À travers des exercices pratiques et des expériences impliquant l'optique de Fourier, les étudiants apprendront à traiter et à analyser des informations optiques, à manipuler des faisceaux lumineux et à appliquer des concepts mathématiques essentiels pour le traitement de l'information en optique. Ce cours prépare ainsi les étudiants à développer et analyser des systèmes optiques complexes dans des applications scientifiques et technologiques.

Acquis d'apprentissage : AA1 : Comprendre l'interaction entre la lumière et la matière via les processus d'absorption, d'émission et de diffusion – AA2 : Maîtriser les techniques de manipulation de la lumière, telles que la diffraction, la polarisation, et les dispositifs optiques avancés – AA3 : Analyser des situations complexes en optique et résoudre des problèmes liés à des applications spécifiques – AA4 : Comprendre les concepts d'optique cohérente, y compris les interférences, la fonction de cohérence, l'holographie – AA5 : Être en capacité de réaliser un projet de conception de dispositif optique par utilisation de logiciel commercial / industriel

Modalités d'évaluation : Examen écrit, 3h

Compétences évaluées :

- Conception Génie Physique
- Modélisation Physique

CM :

1. Propriétés optiques des solides (3.0 h)
2. Optique géométrique (3.0 h)
3. Optique ondulatoire (4.5 h)
4. Optique de Fourier (7.5 h)

TD :

1. Propriétés optiques des solides (1.5 h)
2. Optique géométrique (1.5 h)
3. Optique ondulatoire (1.5 h)
4. Optique de Fourier (1.5 h)
5. CGH (1.5 h)

TP :

1. Holographie (3.0 h)

Description : S'appuyant sur les concepts introduits en première année sur les semi-conducteurs et la physique du solide, ce cours explore un éventail de comportements des matériaux, en commençant par les phénomènes de transport et en abordant le magnétisme et la supraconductivité. Ces sujets sont étudiés en mettant l'accent sur leurs propriétés physiques distinctives, afin de fournir aux étudiants une compréhension approfondie des mécanismes qui régissent les systèmes de matière condensée. Le cours combine fondements théoriques et exemples illustratifs pour montrer comment les principes fondamentaux se manifestent dans les matériaux réels.

L'étude de la matière condensée est constamment enrichie par la création et l'investigation de nouvelles catégories de matériaux. Un exemple clé abordé dans le cours est celui des isolants topologiques, qui se distinguent des matériaux conventionnels par le fait que leur transition de phase ne provoque pas de rupture de symétrie, ce qui les classe comme matière non triviale. À travers cet exemple et d'autres, les étudiants découvrent les développements modernes de la science des matériaux et les comportements uniques résultant des interactions physiques complexes.

Bibliographie :

— Ref. [1] : C. Kittel, Introduction to Solid State Physics. Wiley & Sons, 8th Ed. (2004)

Acquis d'apprentissage : AA1 : Comprendre les phénomènes de transport dans les solides, y compris le transport électronique, la diffusion, et les propriétés thermiques – AA2 : Avoir une connaissance des phénomènes magnétiques, liés à la supraconductivité, la topologie – AA3 : Être capable de suivre les avancées récentes dans le domaine de la physique de la matière condensée et de s'adapter aux nouvelles découvertes et technologies émergentes.

Compétences évaluées :

— Modélisation Physique

CM :

1. Phénomène de Transports quantiques (3.0 h)
2. Matériaux magnétiques (3.0 h)
3. La Supraconductivité (4.5 h)
4. Les isolants topologiques (4.5 h)

TD :

1. Phénomène de Transports quantiques (1.5 h)
2. Matériaux magnétiques (1.5 h)
3. La Supraconductivité (1.5 h)
4. Les isolants topologiques_{1/2} (1.5 h)
5. Les isolants topologiques_{2/2} (1.5 h)

Responsable de cours : Thomas Decultot**Total :** 24.0 h**CM :** 15.0 h, **TD :** 3.0 h, **TP :** 6.0 h

SPM-PHY-017

[retour](#)

Description : Le cours Information et Calcul Quantique introduit aux étudiants les concepts fondamentaux et avancés de la mécanique quantique essentiels pour comprendre et concevoir les technologies quantiques. Le cours couvre le formalisme de la matrice densité, permettant une description complète des états quantiques, et explore la superposition, la mesure et l'intrication (entanglement). Les étudiants apprennent à quantifier les corrélations dans des systèmes quantiques multipartites à l'aide de mesures telles que l'entropie, et acquièrent une solide introduction à la théorie de l'information quantique, incluant le codage, le traitement et le transfert d'information dans les systèmes quantiques.

Le cours fournit également une introduction pratique au calcul quantique. Les étudiants étudient les circuits quantiques élémentaires, l'évolution des qubits sous l'action des portes quantiques, et l'implémentation des algorithmes quantiques de base. L'accent est mis sur la liaison entre théorie et applications, incluant la communication quantique, le calcul quantique et les dispositifs quantiques émergents. À l'issue du cours, les étudiants acquièrent à la fois des compétences analytiques pour modéliser et analyser des systèmes quantiques, et une expérience pratique pour simuler, concevoir et interpréter des processus d'information quantique, les préparant à des études ou recherches avancées en ingénierie quantique.

Bibliographie :

- Ref3 : M.A. Nielsen I.L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press (2010)
- Ref4 : S. Barnett, Quantum Information, Oxford University Press (2009)

Acquis d'apprentissage : AA1 : Manipulation et calcul avec le formalisme de l'opérateur densité – AA2 : Utilisation des outils de l'information quantique pour analyser des architectures élémentaires de communication quantique – AA3 : Analyse mathématique et traitement de circuits quantiques élémentaires – AA4 : Compréhension et mise en œuvre numérique d'algorithmes quantiques de base

Modalités d'évaluation : Examen Ecrit**Compétences évaluées :**

- Conception Génie Physique
- Modélisation Physique
- Analyse Systèmes

CM :

1. Outils pour la théorie de l'information quantique -1/2 (1.5 h)
2. Outils pour la théorie de l'information quantique -2/2 (1.5 h)
3. Communications quantiques (3.0 h)
4. Introduction aux circuits quantiques (3.0 h)
5. Introduction aux algorithmes quantiques (4.5 h)
6. Ouverture aux technologies des calculateurs quantiques (1.5 h)

TD :

1. Introduction aux circuits quantiques (1.5 h)
2. Introduction aux algorithmes quantiques -1/2 (1.5 h)

TP :

1. Introduction aux circuits quantiques (3.0 h)
2. Introduction aux algorithmes quantiques (3.0 h)

Description : Le cours Physique de l'Ingénierie Quantique offre aux étudiants une compréhension approfondie des systèmes quantiques ouverts et des effets de la dissipation et du bruit sur les architectures quantiques. S'appuyant sur le formalisme de la matrice densité, le cours introduit les principes nécessaires pour décrire les états quantiques mixtes et la dynamique réaliste des dispositifs quantiques. Les étudiants étudient les mécanismes physiques responsables de la décohérence et de la relaxation énergétique, qui constituent des limitations centrales dans les technologies quantiques pratiques, et apprennent comment ces effets influencent le fonctionnement des circuits quantiques et des systèmes de communication quantique.

Un volet clé du cours est l'équation maîtresse de Lindblad, présentée comme un cadre général pour la modélisation des dynamiques quantiques dissipatives et bruitées. Les étudiants acquièrent une expérience dans l'application de ce formalisme pour analyser des systèmes quantiques dans des conditions réalistes, y compris des configurations multipartites et des architectures de qubits couplés. Le cours situe également ces concepts dans un contexte scientifique et technologique plus large, en mettant l'accent sur les développements contemporains en calcul quantique, communication quantique et dispositifs quantiques émergents. À l'issue du cours, les étudiants possèdent à la fois une compréhension théorique et des compétences pratiques pour modéliser, analyser et interpréter la dynamique de systèmes quantiques affectés par le bruit et la dissipation, les préparant à des études avancées ou à la recherche en ingénierie quantique.

Bibliographie :

- Ref1 : C. Gardiner and P. Zoller, Quantum noise (Springer-Verlag) (2004)
- Ref2 : M. Joffre, Physique Quantique Avancée. Cours de l'Ecole Polytechnique (2023)
- Ref3 : M.A. Nielsen I.L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press (2010)

Acquis d'apprentissage : AA1 : Manipulation et calcul avec le formalisme de la matrice densité pour les états quantiques purs et mixtes – AA2 : Modélisation et analyse des systèmes quantiques ouverts, incluant les dynamiques dissipatives et les effets du bruit sur les architectures quantiques – AA3 : Connaissance des technologies actuelles utilisées par les ordinateurs quantiques (dispositifs NISQ) et compréhension de leurs limitations dues à la dissipation et au bruit – AA4 : Application de l'équation maîtresse de Lindblad pour simuler et analyser les dynamiques quantiques réalistes et les circuits quantiques élémentaires soumis à la dissipation – AA5 : Capacité à modéliser, simuler et interpréter la performance des systèmes quantiques, incluant l'intrication (entanglement) et l'entropie dans des systèmes multipartites, en tenant compte des effets de dissipation et de bruit.

Modalités d'évaluation : Examen Ecrit et Contrôle Continu

Compétences évaluées :

- Modélisation Physique

CM :

1. Formalisme de la matrice densité et systèmes multi-parties (4.5 h)
2. Quantification des phénomènes vibratoires et Introduction à l'optique quantique-1/3 (3.0 h)
3. Quantification des phénomènes vibratoires et Introduction à l'optique quantique-2/3 (3.0 h)
4. Quantification des phénomènes vibratoires et Introduction à l'optique quantique-3/3 (1.5 h)
5. Intrication quantique, Mesure et Décohérence (3.0 h)

TD :

1. Formalisme de la matrice densité et systèmes multi-parties (1.5 h)
2. Quantification des phénomènes vibratoires et Introduction à l'optique quantique-1/3 (1.5 h)
3. Quantification des phénomènes vibratoires et Introduction à l'optique quantique-2/3 (1.5 h)
4. Quantification des phénomènes vibratoires et Introduction à l'optique quantique-3/3 (1.5 h)
5. Intrication quantique, Mesure et Décohérence-1/2 (1.5 h)
6. Intrication quantique, Mesure et Décohérence-2/2 (1.5 h)

OPTIMISATION

Responsable de cours : Michel Barret

Total : 25.0 h

CM : 10.5 h, **TD :** 4.5 h, **TP :** 9.0 h

SPM-MAT-004

[retour](#)

Description : Dans ce cours les élèves devront acquérir et maîtriser divers aspects fondamentaux de l'optimisation continue. Les notions suivantes seront abordées et mises en oeuvre pratiquement : formulation des problèmes d'optimisation, conditions d'existence de minimiseurs globaux et locaux, convexité, dualité, multiplicateurs de Lagrange, méthodes du premier ordre, programmation linéaire. L'utilisation de la programmation différentiable sera présentée en travaux pratiques. Les méthodes stochastiques 'gradient-free', comme CMAES et PSO, seront également abordées.

Acquis d'apprentissage : À l'issue de ce cours, les élèves maîtriseront les concepts fondamentaux de l'optimisation continue (conditions d'existence de minimiseurs globaux et locaux, convexité, dualité, multiplicateurs de Lagrange, méthodes du premier ordre, programmation linéaire, méthodes stochastiques).

Modalités d'évaluation : Examen écrit 1h, rattrapable

Compétences évaluées :

- Modélisation Physique
- Traitement Données

CM :

1. Bases de l'optimisation 1/2 (1.5 h)
2. Bases de l'optimisation 2/2 (1.5 h)
3. Convexité, quelques algorithmes itératifs (1.5 h)
4. Dualité (1.5 h)
5. Programmation linéaire (1.5 h)
6. Méthode des multiplicateurs de Lagrange (1.5 h)
7. Méthodes stochastiques gradient-free (1.5 h)

TD :

1. Dualité (1.5 h)
2. Programmation linéaire (1.5 h)
3. Méthode des multiplicateurs de Lagrange (1.5 h)

TP :

1. Bases de l'optimisation (3.0 h)
2. Convexité, quelques algorithmes itératifs (3.0 h)
3. Méthodes stochastiques gradient-free (3.0 h)

Responsable de cours : Damien Rontani

Total : 24.0 h

CM : 10.5 h, **TD :** 4.5 h, **TP :** 9.0 h

PM-MAT-006

[retour](#)

Description : Ce cours de méthodes numériques présente des méthodes numériques avancées permettant la simulation de systèmes dans le domaine de l'ingénierie et des sciences appliquées. Il se concentrera notamment sur la résolution des problèmes modélisés par des équations différentielles elliptiques et hyperboliques en abordant des concepts fondamentaux tels que les volumes finis et les éléments finis, les méthodes spectrales pour les phénomènes de propagations qui sont largement utilisés pour modéliser et résoudre une gamme diversifiée de problèmes physiques. Ce cours fournira aux étudiants les compétences nécessaires pour résoudre des problèmes complexes rencontrés dans des domaines tels que la mécanique des fluides, la thermodynamique, l'électromagnétisme et la photonique.

Bibliographie :

— Ref1 : référence à indiquer

Acquis d'apprentissage : AA1 : Analyser et simuler des systèmes / phénomènes physiques complexes modélisés par des équations aux dérivées partielles (EDP) – AA2 : Mises en oeuvre des méthodes numériques pour la résolution de problèmes elliptiques, notamment les volumes finis et les éléments finis – AA3 : Mises en oeuvre des méthodes numériques pour la résolution de problèmes hyperboliques, notamment les approches spectrales – AA4 : Maîtrise des concepts théoriques sous-jacents aux méthodes numériques étudiées, tels que les formulations variationnelles et les espaces fonctionnels comme les espaces de Sobolev – AA5 : Compréhension des limitations et des domaines d'application des différentes méthodes numériques étudiées, ainsi que des aspects pratiques de leur mise en oeuvre.

Modalités d'évaluation : Compte rendu de travaux pratiques

Compétences évaluées :

— Modélisation Physique

CM :

1. à définir (3.0 h)
2. Simulation des équations aux dérivées partielles (EDP) hyperboliques (3.0 h)
3. Simulation des équations aux dérivées partielles (EDP) paraboliques (3.0 h)
4. Séminaire Industriel (1.5 h)

TD :

1. à définir (1.5 h)
2. Simulation des équations aux dérivées partielles (EDP) hyperboliques (1.5 h)
3. Simulation des équations aux dérivées partielles (EDP) paraboliques (1.5 h)

TP :

1. à définir (3.0 h)
2. Simulation des équations aux dérivées partielles (EDP) hyperboliques (3.0 h)
3. Simulation des équations aux dérivées partielles (EDP) paraboliques (3.0 h)

COMMANDE DES SYSTÈMES DYNAMIQUES

Responsable de cours : Jean-Luc Collette

Total : 28.5 h

CM : 15.0 h, **TD :** 4.5 h, **TP :** 9.0 h

SPM-AUT-002

[*retour*](#)

Description : Le cours de Commande des Systèmes Dynamique de deuxième année vise à fournir aux étudiants les compétences nécessaires pour comprendre les principes fondamentaux des systèmes dynamiques. Ils disposeront ainsi des moyens pour analyser et mettre en œuvre des systèmes de commande efficaces dans un large éventail d'applications, en mettant l'accent sur la compréhension des concepts théoriques ainsi que sur leur application pratique.

Bibliographie :

- Ref. [1] : C.T. Chen, Linear Systems Theory and Design. Oxford University Press, 3rd Ed. (1999)

Acquis d'apprentissage : A l'issue de ce cours de deuxième année, l'étudiant sera en mesure de mettre en œuvre des méthodes d'identification de système. Il aura la capacité de mettre au point des lois de commande exploitant les mesures disponibles et répondant à des critères optimaux qui seront associés aux contraintes imposées au système.

Modalités d'évaluation : Compte-rendu de travaux expérimentaux

Compétences évaluées :

- Modélisation Physique
- Traitement Données
- Analyse Systèmes

CM :

1. Représentation d'état : Systèmes commandables, stabilisables (1.5 h)
2. Représentation d'état : Systèmes observables, détectables (1.5 h)
3. Représentation d'état : Forme canonique de Kalman (1.5 h)
4. Commande par retour d'état : Commande par placement des pôles (1.5 h)
5. Commande par retour d'état : Commande linéaire quadratique (1.5 h)
6. Commande par retour d'état : compléments (1.5 h)
7. Observateurs : Réglage avec placement des pôles (1.5 h)
8. Observateurs : Réglage avec filtre de Kalman (1.5 h)
9. Observateurs : Commande LQG (1.5 h)
10. Séminaire Industriel (1.5 h)

TD :

1. TD Représentation d'état (1.5 h)
2. TD Commande par retour d'état (1.5 h)
3. TD Observateurs (1.5 h)

TP :

1. TP Représentation d'état (3.0 h)
2. TP Commande par retour d'état (3.0 h)
3. TP Observateurs (3.0 h)

Responsable de cours : Yves Houzelle

Total : 33.0 h

CM : 12.0 h, TD : 6.0 h, TP : 12.0 h

SPM-ELE-002

[retour](#)

Description : Le cours d'Electronique du tronc commun de deuxième année vise à approfondir les concepts vus dans le cours de première année. En particulier, il aborde les briques de base (les transistors) utilisées pour la conception des circuits intégrés. L'étude approfondie de ces briques permet de comprendre les imperfections des composants intégrés, dont les limites en fréquences, les aspects thermiques, la consommation électrique. . .

Bibliographie :

- Ref. [1] : P. Aldebert, Modélisation des composants usuels pour la conception et l'analyse, CentraleSupélec, 01134/01, 2004
- Ref. [2] : G. Tourneur, Introduction à l'électronique analogique, CentraleSupélec, 17189/01, 2017/2018
- Ref. [3] : J. Oksman, J-P Zsyłowicz, P. Benabes, G. Seignier, Y. Houzelle, Systèmes logiques et électronique associée, Volumes 1 et 2, CentraleSupélec, 2020/2021.

Acquis d'apprentissage : AA1 : Connaître les concepts de l'électronique analogique et numérique : modélisation des composants, polarisation, linéarisation, analyse en grands signaux, bouclage et rétroaction, adaptation d'impédance, logique séquentielle synchrone, comportement en fréquence – AA2 : Maîtriser les principaux outils de CAO et de simulation – AA3 : Savoir analyser des fonctions électroniques en utilisant les modèles appropriés – AA4 : Savoir concevoir et dimensionner des fonctions électroniques en prenant en compte les interfaces entre composants et avec l'extérieur – AA5 : Savoir spécifier un système électronique, et rédiger un cahier des charges

Modalités d'évaluation : Examen écrit, 3h

Compétences évaluées :

- Modélisation Physique
- Analyse Systèmes

CM :

1. Le transistor bipolaire 1 (1.5 h)
2. Le transistor bipolaire 2 (1.5 h)
3. Le transistor bipolaire 1 (1.5 h)
4. Le transistor bipolaire 1 (1.5 h)
5. Le transistor bipolaire 1 (1.5 h)
6. Le transistor bipolaire 1 (1.5 h)
7. Le transistor bipolaire 1 (1.5 h)
8. Le transistor bipolaire 1 (1.5 h)

TD :

1. Le transistor bipolaire TD 1 (1.5 h)
2. Le transistor bipolaire TD 1 (1.5 h)
3. Le transistor bipolaire TD 1 (1.5 h)
4. Le transistor bipolaire TD 2 (1.5 h)

TP :

1. Le transistor bipolaire TP 1 (3.0 h)
2. Le transistor bipolaire TP 2 (3.0 h)

3. Le transistor bipolaire TP 1 (3.0 h)
4. Le transistor bipolaire TP 2 (3.0 h)

Responsable de cours : Stéphane Rossignol

Total : 33.0 h

CM : 18.0 h, **TD :** 6.0 h, **TP :** 9.0 h

SPM-SIC-002

[retour](#)

Description : Le monde numérique produit des volumes importants de données de toutes sortes (audio, images, vidéo, mesures physiques) associées aux activités humaines dans des domaines aussi variés que la santé, les télécommunications, l'industrie ou l'environnement. L'extraction d'information de ces signaux est de plus en plus nécessaire pour : la prise de décision (ex. diagnostic médical), le codage de l'information (ex. compression de données), l'analyse de phénomènes physiques (ex. détection de défauts mécaniques), la restauration de signaux (ex. suppression de bruits parasites d'un signal audio).

Le traitement du signal se situe à l'interface entre les mathématiques, la physique et l'informatique. Les concepts mathématiques fournissent des outils de représentation des signaux et les opérateurs nécessaires à leur manipulation. Les modèles physiques permettent de relier les données mesurées à l'information recherchée. Enfin, l'informatique est nécessaire à la mise en œuvre de tout traitement numérique.

Bibliographie :

- Ref. [1] : A.V. Oppenheim and R.W. Schaffer, Discrete Time Signal Processing, Prentice Hall
- Ref. [2] : G. Fleury, Analyse Spectrale. Méthodes non-paramétriques et paramétriques, Ellipses (2001)

Acquis d'apprentissage : A l'issue du cours de deuxième année, l'étudiant sera en mesure de comprendre et d'utiliser les méthodes de traitement déterministe (AA1) et statistique (AA2) du signal pour résoudre différents problèmes des sciences de l'information comme le filtrage (AA3), l'analyse spectrale avancée (AA4), etc. Ces problèmes apparaissent dans des applications aussi variées que la reconnaissance automatique de signaux audios (locuteurs, etc.), la localisation de sources en radar, l'analyse de données climatiques, la reconstruction d'images médicales en IRM, la détection d'ondes gravitationnelles en astrophysique, le développement des réseaux cellulaires de futures générations (5G, IoT).

Modalités d'évaluation : Compte-rendus de TP

Compétences évaluées :

- Modélisation Physique
- Traitement Données

CM :

1. Introduction (1.5 h)
2. Systèmes 1er et 2ème ordre (Bode) (1.5 h)
3. Filtres analogiques (1.5 h)
4. Filtres numériques (1.5 h)
5. Propriétés temporelles des signaux aléatoires : Stationnarités/Ergodicité (1.5 h)
6. Propriétés spectrales des signaux aléatoires (1.5 h)
7. Signaux AR/MA/ARMA (1.5 h)
8. Compléments à l'analyse spectrale standard : périodogrammes (Daniell/Bartlett/Welch) et corrélogramme (1.5 h)
9. Analyse spectrale avancée – Ondelettes (1.5 h)
10. Analyse spectrale avancée – MUSIC, Pisarenko, Prony (1.5 h)
11. Représentations parcimonieuses (1.5 h)
12. Décompositions d'un signal ('poursuit') (1.5 h)

TD :

1. Filtrage (1.5 h)
2. Analyse spectrale standard (1.5 h)
3. Analyses spectrales autres (1.5 h)
4. Parcimonie (1.5 h)

TP :

1. Design de filtres numériques (1.5 h)
2. Complément sur la TF des signaux discrets (1.5 h)
3. Spectres autorégressifs et de MUSIC (3.0 h)
4. Représentations parcimonieuses des signaux (3.0 h)

Responsable de cours : Francis Dorveaux

Total : 26.5 h

CM : 5.5 h, **TD :** 12.0 h, **TP :** 8.5 h

SPM-HEP-014

[retour](#)

Description : L'objectif de ce cours est d'explorer la diversité des entreprises et leur intégration à un tissu socio-économique et environnemental global, ainsi que les dynamiques qu'elles engendrent. L'approche pédagogique retenue consiste à combiner des apports théoriques en cours magistral et un travail d'enquête de terrain en groupe permettant de former les futurs entrepreneurs en les confrontant à la réalité et au développement d'une entreprise.

Acquis d'apprentissage : À l'issue de ce cours, les élèves auront acquis une vision globale de l'écosystème entrepreneurial et des forces qui l'animent.

Modalités d'évaluation : QCM (30 min), restitutions individuelles

Compétences évaluées :

— Business Intelligence

CM :

1. Introduction (1.0 h)
2. Panorama des entreprises (2.0 h)
3. Synthèse et débat (2.5 h)

TD :

1. TD 1 : Les théories modernes de l'entreprise + explications des attendus des TD 2 à 6 (1.5 h)
2. TD 2 : Les processus "colonne vertébrale" de l'organisation (1.5 h)
3. TD 3 : La dynamique externe (1.5 h)
4. TD 4 : Transformation des entreprises (3.0 h)
5. TD 5 : Business Development 1 (à préciser) (1.5 h)
6. TD 6 : Business Development 2 (à préciser) (3.0 h)

TP :

1. 1ère visite en entreprise (4.5 h)
2. 2ème visite en entreprise (4.0 h)

SÉMINAIRES

Responsable de cours : Damien Rontani, Hervé Frezza-Buet

Total : 10.0 h

CM : 10.0 h

SPM-HEP-013

[retour](#)

Description : Ce cours est en ensemble de séminaires d'ouverture.

Acquis d'apprentissage : À l'issue de ces conférences, les élèves auront élargi leur regard sur les enjeux environnementaux, économiques, sociétaux, éthiques, en fonction de l'expertise des intervenants.

CM :

1. tdb (10.0 h)

GESTION DES RESSOURCES HUMAINES

Responsable de cours : Damien Rontani, Hervé Frezza-Buet

Total : 18.0 h

TD : 18.0 h

SPM-HEP-019

[retour](#)

Description : Ce cours a un double objectif : d'une part équiper les étudiants de connaissances sur leurs droits et obligations face aux pratiques RH, notamment lors du recrutement, et d'autre part permettre aux ingénieurs devenant managers de collaborer efficacement avec la direction et les services RH.

Acquis d'apprentissage : À l'issue de ce cours, les élèves auront acquis un socle de connaissances en droit du travail et en fonctions RH qui leur sera utile à la fois en tant qu'employés et également dans leurs missions d'encadrement.

Compétences évaluées :

— Business Intelligence

TD :

1. tbd (18.0 h)

ÉDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE S07

Responsable de cours : Hervé Frezza-Buet

Total : 21.0 h

TD : 21.0 h

SportS07

[retour](#)

Description : Au-delà du développement des compétences motrices (physiques, techniques et tactiques) les enseignements d'éducation physique et sportive ont pour objectifs de permettre aux étudiants de développer leurs compétences personnelles de connaissance et de contrôle de soi mais aussi leurs compétences relationnelles (collaboration au sein de l'équipe, écoute, communication, animation, ...).

TD :

1. Cours de sport (21.0 h)

Responsable de cours : Elisabeth Leuba

Total : 21.0 h

TD : 21.0 h

LV1S07

[retour](#)

Description : La Langue Vivante 1 sera généralement l'anglais. Répartis par niveau, les étudiants travailleront non seulement les 4 compétences langagières mais aborderont aussi des sujets variés qu'ils approfondiront suivant leur niveau. Les sujets traités peuvent être d'ordre civilisationnel, sociétal, professionnel, etc. Les effectifs des groupes constitueront un environnement propice à une participation active et une progression conséquente dans la langue. Différentes méthodes pédagogiques seront utilisées : travail en groupe, exposés, exercices spécifiques, recherche, débats, etc.

Acquis d'apprentissage : À l'issue de ce cours, l'élève aura progressé pour communiquer dans un environnement universitaire, professionnel ou personnel internationalisé

Compétences évaluées :

— Management

TD :

1. Cours (21.0 h)

Responsable de cours : Beate Mansanti

Total : 21.0 h

TD : 21.0 h

LV2S07

[retour](#)

Description : En Langue Vivante 2, une offre de plusieurs langues sera proposée aux étudiants, en poursuite d'étude ou en débutant. Répartis par niveau, les étudiants travailleront non seulement les 4 compétences langagières mais aborderont aussi des sujets variés qu'ils approfondiront suivant leur niveau. Les sujets traités peuvent être d'ordre civilisationnel, sociétal, professionnel, etc. Les effectifs des groupes constitueront un environnement propice à une participation active et une progression conséquente dans la langue. Différentes méthodes pédagogiques seront utilisées : travail en groupe, exposés, exercices spécifiques, recherche, débats, etc.

Acquis d'apprentissage : À l'issue de ce cours, l'élève aura progressé pour communiquer dans un environnement universitaire, professionnel ou personnel internationalisé

Compétences évaluées :

— Management

TD :

1. Cours (21.0 h)

Responsable de cours : Jean-Paul Salvestrini

Total : 36.0 h

CM : 25.5 h, **TD :** 9.0 h

SPM-PHY-018

[retour](#)

Description : Les propriétés d'un matériau à l'échelle macroscopique sont généralement déterminées par sa composition chimique et sa structure atomique. Toutefois, cette règle ne s'applique plus aux objets de taille nanométrique, dont les propriétés physiques, chimiques et fonctionnelles dépendent également de leur taille, de leur forme et de leur environnement. Cette spécificité ouvre la voie à de nombreuses applications innovantes. L'objectif de ce cours est d'introduire les étudiants aux fondements des nanosciences et des nanotechnologies, en mettant en évidence les concepts clés qui distinguent les systèmes nanométriques des matériaux et dispositifs conventionnels.

Le cours couvre à la fois les nanomatériaux et les nanotechnologies associées, en abordant les propriétés de surface, les méthodes de nano-structuration, ainsi que les principes de conception et de fabrication de dispositifs à l'échelle nanométrique. Il traite également des questions fondamentales liées à l'existence et au comportement des nano-objets, telles que leur structure, leur morphologie et leur stabilité. À travers des exemples sélectionnés, différentes propriétés des systèmes nanométriques sont étudiées, incluant les aspects optiques, électroniques, de transport, magnétiques, chimiques, thermodynamiques, mécaniques et biologiques. L'ensemble permet aux étudiants d'acquérir une vision globale des nanotechnologies et de leurs applications potentielles dans de nombreux domaines scientifiques et industriels.

Bibliographie :

- Ref. [1] : S.M. Lindsay, Introduction to Nanosciences, Oxford University Press (2008)
- Ref. [2] : C. Binns, Introduction to Nanoscience and Nanotechnology, Wiley-VCH, 2nd Ed. (2021)

Acquis d'apprentissage : AA1 : Expliquer les concepts de base des nanotechnologies, y compris les échelles nanométriques, la taille quantique et les propriétés uniques des nanomatériaux – AA2 : Comprendre des composants et des dispositifs à l'échelle nanométrique, ainsi que leur fonctionnement optique, mécanique, électronique – AA3 : Identifier les différentes techniques de croissance et de nanostructuration – AA4 : Appliquer les connaissances acquises pour analyser et résoudre des problèmes complexes liés aux nanotechnologies

Modalités d'évaluation : Examen écrit, 1h30

Compétences évaluées :

- Conception Génie Physique
- Modélisation Physique
- Analyse Systèmes

CM :

1. Surfaces et nanostructuration (7.5 h)
2. Nano-Objets (7.5 h)
3. Propriétés des nano-objets (10.5 h)

TD :

1. Surfaces et nanostructuration1/2 (1.5 h)
2. Surfaces et nanostructuration2/2 (1.5 h)
3. Nano-Objets1/2 (1.5 h)
4. Nano-Objets2/2 (1.5 h)
5. Propriétés des nano-objets1/2 (1.5 h)
6. Séminaire Industriel (1.5 h)

INTRODUCTION À LA PROGRAMMATION ET L'ALGORITHMIQUE QUANTIQUE

Responsable de cours : Damien Rontani, Stéphane Vialle

Total : 35.5 h

CM : 16.5 h, **TD :** 4.5 h, **TP :** 9.0 h, **Projet :** 5.5 h

SPM-INF-004

retour

Description : Ce cours de Programmation et d'Algorithmique Quantique offre une plongée exhaustive dans les fondamentaux et les applications pratiques des accélérateurs quantiques. Les étudiants exploreront les architectures quantiques contemporaines, comprenant les principes des architectures analogiques et digitales, ainsi que les innovations telles que les architectures hybrides CPU-QPU, NISQ et LSQ. Le cours couvrira le formalisme des qubits et de la programmation quantique digitale, mettant en évidence l'importance de la superposition et de l'intrication pour les calculs quantiques. Les principes et méthodes de mesure des résultats seront également abordés. Une introduction aux circuits quantiques, incluant les portes de base et les premiers circuits, permettra aux étudiants de comprendre les bases pratiques de la programmation quantique. En utilisant des outils tels que QFT, Grover, QPE et QMC, les étudiants exploreront les circuits classiques et leurs applications, tout en examinant les limitations sur les architectures NISQ. Enfin, les étudiants se plongeront dans les circuits et algorithmes variationnels, notamment les circuits QAOA et Vxx, et étudieront les modèles de temps d'exécution et de performance pour les QPU ainsi que pour les boucles CPU-QPU, en se familiarisant avec les ordres de grandeur des temps d'exécution actuels.

Bibliographie :

- Ref. [1] : R. Hundt, Quantum Computing for Programmers, Cambridge University Press (2022)
- Ref. [2] : P. Kaye, R. Laflamme, M. Mosca, An Introduction to Quantum Computing, Oxford University Press (2006)

Acquis d'apprentissage : A l'issue de ce cours, les élèves sauront concevoir et implanter un algorithme à base de portes quantiques, utiliser des bibliothèques de routines quantiques, concevoir et implanter un code hybride CPU+QPU, analyser ses résultats, mesurer ses performances et sa sensibilité au bruit en fonction de la taille des données et de l'utilisation du QPU.

Modalités d'évaluation : Evaluation du mini-projet

Compétences évaluées :

- Conception Génie Physique
- Modélisation Physique
- Traitement Données
- Analyse Systèmes

CM :

1. Cours d'architectures quantiques (1.5 h)
2. Cours de formalisme pour l'informatique quantique digitale (3.0 h)
3. Cours d'introduction aux portes et circuits quantiques (3.0 h)
4. Cours de présentation des circuits quantiques classiques (4.5 h)
5. Cours de modèles de temps d'exécution et de performance (1.5 h)
6. Cours de présentation des circuits quantiques variationnels (3.0 h)

TD :

1. TD de formalisme et d'analyse de circuits quantiques (1.5 h)
2. TD de conception d'algorithmes quantiques sur QPU (1.5 h)
3. TD de conception d'algorithmes variationnels sur CPU+QPU (1.5 h)

TP :

1. TP de mise en oeuvre de circuits quantiques en qiskit sur simulateur et machines quantiques (3.0 h)
2. TP de conception et mise en oeuvre d'algorithmes quantiques à partir de circuits connus (3.0 h)
3. TP de conception d'une méthode d'optimisation par algorithme variationnel sur CPU+QPU (3.0 h)

INTRODUCTION À LA PHOTONIQUE

Responsable de cours : Marc Sciamanna

Total : 36.0 h

CM : 16.5 h, **TD :** 7.5 h, **TP :** 10.5 h

SPM-PHY-019

[retour](#)

Description : La photonique est la science et technologie utilisant la lumière. Le laser, la fibre optique, les photodétecteurs, les cellules photovoltaïques, les architectures de calcul quantique sont autant de systèmes photoniques développés depuis la moitié du vingtième siècle. Le cours d'introduction à la photonique décrit les principes physiques fondamentaux de la génération, de la propagation, de l'amplification et de la détection d'une onde électromagnétique optique ; et permet ainsi de mieux appréhender l'importance de la photonique dans les applications de recherche et industrielles. Des travaux pratiques et des travaux dirigés permettent d'acquérir des compétences pratiques notamment de simulation et de mesure de systèmes photoniques.

Bibliographie :

- Ref. [1] : J.-M. Liu, Principles of Photonics, Cambridge University Press (2016)

Acquis d'apprentissage : AA1 : Expliquer et identifier les enjeux de la photonique au regard d'éléments économiques et technologiques liés au développement de la société de l'information et de la communication – AA-2 : Comprendre les mécanismes physiques sous-jacents aux systèmes photoniques les plus courants comme le laser, l'amplificateur optique, la fibre optique ou le photodétecteur – AA-3 : Simuler numériquement et mesurer expérimentalement les propriétés fondamentales et les performances d'un système photonique – AA4 : Appliquer les notions acquises pour développer un système photonique innovant, sur la base d'un cahier des charges scientifique et techniques et en exploitant l'état de l'art.

Modalités d'évaluation : Examen écrit, 1h30

Compétences évaluées :

- Conception Génie Physique
- Modélisation Physique

CM :

1. La lumière, onde et particule (3.0 h)
2. Propagation et guides d'onde (4.5 h)
3. Amplification optique (6.0 h)
4. Photodétection (3.0 h)

TD :

1. Propagation optique (3.0 h)
2. Laser (3.0 h)
3. Séminaire Industriel (1.5 h)

TP :

1. Caractérisation d'un système photonique (10.5 h)

Responsable de cours : Sylvie Le Hegarat, Emanuel Aldea

Total : 28.5 h

CM : 6.0 h, **TD :** 6.0 h, **TP :** 15.0 h

SPM-INF-025

[retour](#)

Description : Ce cours propose une introduction structurée aux méthodes fondamentales de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique (IA/ML), en combinant des apports théoriques et des mises en pratique. Il débute par une présentation des concepts généraux de l'IA et du machine learning, incluant les réseaux de neurones ainsi que les approches d'apprentissage supervisé et non supervisé. Les fondements du deep learning sont ensuite développés, avec un accent particulier sur les réseaux de neurones convolutionnels (CNN) et leurs applications à l'analyse de données complexes. L'ensemble de ces notions est abordé à travers des cours magistraux et des travaux pratiques visant à favoriser l'appropriation des concepts et des outils.

Le cours explore également des thématiques avancées, telles que l'apprentissage par renforcement, la quantification des incertitudes et les réseaux de neurones informés par la physique (Physics-Informed Neural Networks, PINNs). Ces approches permettent de traiter des problématiques d'optimisation, de prise de décision séquentielle et de modélisation de systèmes physiques en intégrant des contraintes issues des lois fondamentales. À travers des études de cas et des travaux pratiques, le cours met en évidence le potentiel de ces méthodes pour la modélisation, la simulation et l'analyse de systèmes complexes en sciences et en ingénierie.

Bibliographie :

- Ref. [1] : J.N. Kurtz, Data-Driven Modeling & Scientific Computation : Methods for Complex Systems & Big Data, Oxford University Press (2013)

Acquis d'apprentissage : AA1 : Comprendre les principes fondamentaux de l'IA et du machine learning, incluant réseaux de neurones et apprentissage supervisé/non supervisé – AA2 : Maîtriser le deep learning et les réseaux de neurones convolutionnels pour l'analyse de données complexes – AA3 : Appliquer l'apprentissage par renforcement à des problèmes d'optimisation et de décision séquentielle – AA4 : Intégrer la quantification des incertitudes dans les modèles d'IA/ML – AA5 : Utiliser les réseaux de neurones informés par la physique pour modéliser des systèmes physiques – AA6 : Combiner théorie et pratique à travers des travaux pratiques et des études de cas scientifiques et industriels.

Compétences évaluées :

- Modélisation Physique
- Traitement Données

CM :

1. Réseaux de Neurones (1.5 h)
2. Introduction à l'apprentissage par renforcement (1.5 h)
3. Apprentissage Machine informé par la physique (1.5 h)
4. Quantification des Incertitudes (1.5 h)

TD :

1. Réseaux de Neurones (1.5 h)
2. Introduction à l'apprentissage par renforcement (1.5 h)
3. Apprentissage Machine informé par la physique (1.5 h)
4. Quantification des Incertitudes (1.5 h)

TP :

1. Travaux Expérimentaux (TrEx)1/5 (3.0 h)
2. Travaux Expérimentaux (TrEx)2/5 (3.0 h)
3. Travaux Expérimentaux (TrEx)3/5 (3.0 h)
4. Travaux Expérimentaux (TrEx)4/5 (3.0 h)
5. Travaux Expérimentaux (TrEx)5/5 (3.0 h)

Responsable de cours : Damien Rontani

Total : 19.5 h

CM : 4.5 h, **TD :** 4.5 h, **TP :** 9.0 h

SPM-INF-026

[retour](#)

Description : L'objectif de ce cours est de fournir aux étudiants les méthodes et outils mathématiques nécessaires pour l'exploration, l'analyse et l'interprétation de données dans les domaines des sciences et de l'ingénierie physique. Le cours présente un panorama des techniques statistiques classiques et avancées, telles que l'analyse en composantes principales (ACP) et la décomposition en modes orthogonaux, en mettant l'accent sur leur formulation mathématique et leur implémentation numérique. Ces approches permettent d'identifier des structures sous-jacentes dans les données et de synthétiser l'information de manière efficace pour l'analyse de systèmes complexes.

Le cours aborde également des notions complémentaires telles que l'analyse spectrale, les représentations parcimonieuses et la réduction de modèles mathématiques, indispensables pour la modélisation et la simulation de phénomènes physiques. À travers des exemples appliqués et des travaux pratiques, les étudiants apprendront à combiner ces méthodes pour traiter des ensembles de données réels, optimiser les modèles et extraire des connaissances exploitables, tout en développant une compréhension critique des limites et des hypothèses des différentes techniques.

Bibliographie :

- Ref. [1] : Brunton-Kutz : L. Brunton, J. N. Kutz, Data-Driven Science and Engineering : Machine Learning, Dynamical Systems, and Control, Cambridge University Press (2022)

Acquis d'apprentissage : AA1 : Appliquer des méthodes statistiques et mathématiques pour l'exploration et l'analyse de données en sciences et ingénierie – AA2 : Mettre en œuvre des techniques de réduction de dimension pour une représentation efficace des données – AA3 : Développer et appliquer des modèles basés sur les données pour l'identification et la commande de systèmes non linéaires complexes – AA4 : Utiliser des techniques spectrales, parcimonieuses et de réduction de modèles pour extraire des motifs et simplifier des systèmes complexes.

Modalités d'évaluation : Examen écrit, 1h30

Compétences évaluées :

- Modélisation Physique
- Traitement Données

CM :

1. Réduction de dimension et transformations (1.5 h)
2. Sciences de données pour l'identification et la commande (1.5 h)
3. Réduction de Modèles (1.5 h)

TD :

1. Réduction de dimension et transformations (1.5 h)
2. Sciences de données pour l'identification et la commande (1.5 h)
3. Réduction de Modèles (1.5 h)

TP :

1. Travaux Expérimentaux (TrEx)1/3 (3.0 h)

2. Travaux Expérimentaux (TrEx)2/3 (3.0 h)
3. Travaux Expérimentaux (TrEx)3/3 (3.0 h)

Responsable de cours : Damien Rontani

Total : 60.0 h

Projet : 60.0 h

SPM-PRJ-09

[retour](#)

Description : les objectifs de ce projet sont d'initier les étudiants à une démarche rigoureuse de recherche académique au niveau collectif et individuelle sur une question ouverte en Génie Physique (Photonique / Nanosciences / Systèmes quantiques) proposée par l'équipe enseignante avec de possible collaborations avec des organismes de recherche partenaires. Le projet démarre par une étude et synthèse bibliographique. Elle se poursuit dans un deuxième temps par une phase de recherche d'une solution innovante et créative à la problématique posée sur la base de modélisation physique, de simulations numériques et ou de la réalisation d'une expérience suivie d'une analyse critique des résultats obtenus. Les étudiants seront amenés à formaliser leurs découvertes éventuelles au format d'un article scientifique écrit en anglais et d'une soutenance orale publique respectant les codes de communication des colloques scientifiques adopté au niveau international (i.e. présentation en anglais en temps limité suivi d'une phase de question et réponse).

Acquis d'apprentissage : À l'issue de ce projet, les élèves auront mis en œuvre une démarche académique rigoureuse et créative dans la résolution d'un problème d'ingénierie physique dans le cadre d'un travail en équipe.

Modalités d'évaluation : Rapport et soutenance

Compétences évaluées :

- Conception Génie Physique
- Modélisation Physique
- Traitement Données
- Analyse Systèmes
- Recherche / Innovation
- Management

Responsable de cours : Damien Rontani

Total : 12.0 h

TD : 12.0 h

SPM-PHY-020

[retour](#)

Description : Le cours consistera principalement en des séminaires et accueillera des intervenants et chercheurs issus principalement du monde industriel dans la thématique de l'ingénierie physique et associés à différents écosystèmes (ex., Grands Groupes Technologiques, start-up de la deepTech...), mais aussi des intervenants d'agence gouvernementales pour aborder l'importance de la recherche dans les questions de résilience et de souveraineté et de transitions industrielles, numériques et écologiques. Ces séminaires pourront dans certains cas prendre la forme de tables rondes et seront systématiquement associés à des échanges questions réponses avec les étudiants et suivi d'un événement social organisé dans les locaux et de l'école, permettant des échanges privilégiés entre les étudiants et les intervenants.

Modalités d'évaluation : Rapport d'étonnement

Compétences évaluées :

- Recherche / Innovation
- Business Intelligence

TD :

1. Séminaires (12.0 h)

Responsable de cours : Julien Colin

Total : 14.0 h

TD : 14.0 h

SPM-HEP-011

[retour](#)

TD :

1. tbd (14.0 h)

CONTROVERSE

Responsable de cours : Hervé Frezza-Buet, Damien Rontani

Total : 18.0 h

TD : 18.0 h

SPM-HEP-018

[*retour*](#)

Description : L'objectif de ce cours est de contribuer à la formation citoyenne et critique des étudiants, en leur permettant de développer une capacité d'analyse des débats publics et de dialoguer de manière constructive face à des opinions divergentes.

Acquis d'apprentissage : À l'issue de ce cours les élèves sauront reconnaître les dimensions d'une controverse et seront familiers avec quelques techniques permettant d'avancer vers sa résolution.

Compétences évaluées :

— Business Intelligence

TD :

1. tbd (18.0 h)

Description : Ce cours propose une introduction à l'ingénierie des systèmes complexes, en mettant l'accent sur les approches modernes de modélisation et de simulation. Il s'appuie sur la démarche MBSE (Model-Based Systems Engineering) pour structurer la conception des systèmes tout au long de leur cycle de vie. Les étudiants découvrent le langage SysML à travers un atelier permettant de formaliser certaines exigences, fonctions et structures. Le cours explore également des paradigmes complémentaires : la modélisation multi-agents (avec NetLogo) pour représenter des systèmes à comportements émergents, et la modélisation de systèmes cyber-physiques (avec OpenModelica) pour simuler des composants physiques et leur interaction avec des systèmes de contrôle. Une introduction à la norme FMI permet de comprendre les enjeux de co-simulation entre modèles hétérogènes. En complément, une présentation de l'AFIS éclaire le rôle de l'ingénieur système dans l'industrie française, et un témoignage professionnel permet d'illustrer les usages concrets des jumeaux numériques.

Acquis d'apprentissage : À l'issue de ce cours, les élèves seront capables de formuler les questions pertinentes pour la conception d'un système, en particulier sur les aspects de modélisation, et d'en esquisser des solutions possibles.

Modalités d'évaluation : QCM et étude de cas (1h30)

Compétences évaluées :

— Analyse Systèmes

CM :

1. Introduction à l'ingénierie système (définitions, historique, motivations, concepts système) (2.0 h)
2. MBSE (définitions, évolution, cycles de vie, interfaces, processus, exigences, V&V (2.0 h)
3. Introduction à SysML (1.0 h)
4. modélisation et simulation à base d'agents (1.0 h)
5. modélisation de systèmes cyber-physiques et co-simulation (1.0 h)
6. AFIS (2.0 h)
7. Jumeaux Numérique (2.0 h)

TP :

1. familiarisation avec un logiciel de modélisation SysML, mise en évidence des liens entre diagrammes (3.0 h)
2. modélisation et simulation à base d'agents (3.0 h)
3. modélisation de systèmes cyber-physiques et co-simulation (3.0 h)

ÉDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE S08

Responsable de cours : Hervé Frezza-Buet

Total : 21.0 h

TD : 21.0 h

SportS08

[retour](#)

Description : Au-delà du développement des compétences motrices (physiques, techniques et tactiques) les enseignements d'éducation physique et sportive ont pour objectifs de permettre aux étudiants de développer leurs compétences personnelles de connaissance et de contrôle de soi mais aussi leurs compétences relationnelles (collaboration au sein de l'équipe, écoute, communication, animation, ...).

TD :

1. Cours de sport (21.0 h)

Responsable de cours : Hervé Frezza-Buet, Damien Rontani

Description : Stage en entreprise, entre la deuxième et la troisième année, d’une durée minimum de 12 semaines.

Ce stage a pour objectif de mettre les étudiants dans une situation d’ingénieur-assistant afin qu’ils approfondissent leurs connaissances et compétences professionnelles. L’étudiant doit être intégré à une équipe et placé sous la responsabilité d’un ingénieur. Il doit participer aux activités de l’équipe à un niveau d’initiative et d’autonomie cohérente avec son niveau de formation.

Lors de son immersion, l’étudiant doit à la fois répondre aux enjeux techniques de leur travail et prendre le recul nécessaire sur les dimensions méthodologiques, éthiques et organisationnelles de son travail.

Modalités d’évaluation : Evaluation PASS/FAIL sur la base de la remise d’un rapport de stage. L’évaluation prendra en compte ces deux dimensions et les capacités d’intégration, de travail en équipe et de communication de l’étudiant.

Compétences évaluées :

- Conception Génie Physique
- Modélisation Physique
- Traitement Données
- Analyse Systèmes
- Business Intelligence

Responsable de cours : Elisabeth Leuba

Total : 21.0 h

TD : 21.0 h

LV1S08

[retour](#)

Description : La Langue Vivante 1 sera généralement l'anglais. Répartis par niveau, les étudiants travailleront non seulement les 4 compétences langagières mais aborderont aussi des sujets variés qu'ils approfondiront suivant leur niveau. Les sujets traités peuvent être d'ordre civilisationnel, sociétal, professionnel, etc. Les effectifs des groupes constitueront un environnement propice à une participation active et une progression conséquente dans la langue. Différentes méthodes pédagogiques seront utilisées : travail en groupe, exposés, exercices spécifiques, recherche, débats, etc.

Acquis d'apprentissage : À l'issue de ce cours, l'élève aura progressé pour communiquer dans un environnement universitaire, professionnel ou personnel internationalisé

Compétences évaluées :

— Management

TD :

1. Cours (21.0 h)

Responsable de cours : Beate Mansanti

Total : 21.0 h

TD : 21.0 h

LV2S08

[retour](#)

Description : En Langue Vivante 2, une offre de plusieurs langues sera proposée aux étudiants, en poursuite d'étude ou en débutant. Répartis par niveau, les étudiants travailleront non seulement les 4 compétences langagières mais aborderont aussi des sujets variés qu'ils approfondiront suivant leur niveau. Les sujets traités peuvent être d'ordre civilisationnel, sociétal, professionnel, etc. Les effectifs des groupes constitueront un environnement propice à une participation active et une progression conséquente dans la langue. Différentes méthodes pédagogiques seront utilisées : travail en groupe, exposés, exercices spécifiques, recherche, débats, etc.

Acquis d'apprentissage : À l'issue de ce cours, l'élève aura progressé pour communiquer dans un environnement universitaire, professionnel ou personnel internationalisé

Compétences évaluées :

— Management

TD :

1. Cours (21.0 h)