

2EL1230 - Systèmes spatiaux embarqués

Responsables : **Laurent BOURGOIS**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT ÉLECTRONIQUE ET ÉLECTROMAGNÉTISME**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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 de l'ingénieur**

Niveau avancé : **non**

Présentation, objectifs généraux du cours :

Avoir une vision globale du monde spatial d'aujourd'hui et de ses enjeux stratégiques, et découvrir les principes et technologies mis en œuvre dans la conception de systèmes spatiaux embarqués, un domaine où les défis se jouent tout autant à l'échelle du nanomètre qu'à l'échelle de l'année-lumière.

Vous apprendrez par exemple comment sont conçus les systèmes spatiaux embarqués pour :

- **S**urvivre aux contraintes de l'environnement spatial auxquelles un smartphone ne résisterait pas.
- **P**rendre des décisions en autonomie et parfois à plusieurs millions de km de la Terre.
- **A**ssurer le succès de la mission même en cas de panne.
- **C**ontrôler avec précision l'attitude et l'orbite d'un satellite.
- **E**xploiter au mieux les nouvelles technologies.

Si vous avez trouvé le mot caché dans les cinq points listés précédemment, cet électif est fait pour vous.

Sinon, cet électif vous apportera la réponse ainsi qu'à de nombreuses autres questions.

Pour conclure la série de cours, une visite d'Airbus permettra de découvrir concrètement la conception et la fabrication d'équipements spatiaux chez Space Electronics.

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

SG6

Prérequis :

Ce cours peut être abordé sans prérequis particulier pour un domaine. Tous les concepts techniques nécessaires seront expliqués pendant le module.

Plan détaillé du cours (contenu) :

Prêt pour un voyage dans l'espace ?

Introduction aux systèmes spatiaux

Enjeux stratégiques de l'accès à l'espace, marché du spatial. Le New Space (Space X & Starlink, OneWeb...).

Types de missions spatiales, choix de l'orbite, billard cosmique.

Défis et contraintes de l'environnement spatial.

Architecture d'un satellite

Comment ça marche ? Comment garantir la tenue de la mission ?

Description détaillée d'un satellite. Contrôle d'attitude et d'orbite.

Fiabilité et robustesse aux pannes. Types de redondances.

Énergie & Propulsion

Contrôle et distribution de puissance. Panneaux solaires. Gestion des éclipses.

La révolution de la propulsion plasmique.

Communications

Liaisons sol-bord et traitement de signal pour les communications spatiales.

Protocoles et bus de communications internes au satellite.

Logiciel embarqué

Les différents traitements embarqués. Processeurs, mémoires et architectures utilisés.

Robustesse, fiabilité, temps réel et validation d'un logiciel embarqué.

Électronique embarquée

Équipements numériques, exploiter au mieux les nouvelles technologies de composants (introduction aux ASIC/FPGA).

Zoom sur le traitement d'images (techniques de compression, stockage).

Comment être robuste aux radiations ? La magie des codes correcteurs d'erreur.

Failure is not an option

Exemples marquants d'échecs dans le spatial. Lessons learned.

Visite d'un site industriel

Visite d'Airbus Defence and Space (1 journée) : conception, bureaux d'études, fabrication (salles blanches).

Déroulement, organisation du cours :

Cours magistraux réalisés par des intervenants de l'industrie, experts dans leur domaine et différents pour chaque module.

Visite du site Airbus Defence and Space (Elancourt) sur une journée complète.

Organisation de l'évaluation :

Évaluation sous forme d'exposé oral sur un sujet autour du domaine spatial.

La pondération exposé oral et QCM sera la suivante : 24% pour les QCM et 76% pour l'exposé oral.

- Un contrôle final (CF) sous forme d'exposé oral sur un sujet autour du domaine spatial : $\alpha_f = 0,76$.

- 4 quiz répartis sur les 8 séances qui constituent le contrôle continu (CC1, CC2, ... , CC4) : $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_4 = 0,06$.

Moyens :

Equipe enseignante composée d'un référent CentraleSupélec (Laurent Bourgois) et de plusieurs intervenants de l'industrie, experts dans leur domaine chez Airbus Defence and Space.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

A l'issue de ce module, les élèves auront une connaissance globale des systèmes spatiaux et seront capables d'intervenir dans la conception de systèmes embarqués fonctionnant en environnement hostile. Ils comprendront pourquoi et comment faire face à des contraintes mécaniques, thermiques, radiatives et électromagnétiques.

L'accent sera également mis sur la variété des activités relatives aux systèmes embarqués et sur les interfaces avec les métiers connexes : du silicium au système complet, du hardware au software, de la conception à la validation.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

:

C1: Analyze, design and build complex systems.

C2: Develop skills in an engineering field and in a profession.

Competencies C1 and C2 are validated if the overall score of the elective is greater than or equal to 10/20.