

# ChairE Systèmes Embarqués Critiques (CESEC)

Chaire d'enseignement et de dissémination

ISAE–INSAT–ENSEEIH T en association avec la Fondation EADS



## 1 Thématique : les Systèmes Embarqués

Les systèmes embarqués occupent une place croissante dans l'industrie, dans des domaines allant du transport à l'énergie en passant par des domaines grands publics tels que les télécommunications, les systèmes monétiques, la navigation, l'e-santé ou la domotique. La croissance de ce marché est de l'ordre de 10-15% par an.

Les systèmes embarqués qui sont adressés dans cette chaire sont les systèmes embarqués dits critiques, typiquement au coeur des systèmes de transport aérospatiaux, automobiles ou ferroviaires, qui intègrent des fonctionnalités de haut niveau d'intelligence telles que supervision, décision, autonomie, et doivent souvent gérer des interactions complexes sensorielles ou de commande entre capteurs, actionneurs, moyens de communication, de traitement de l'information mais aussi d'interaction. Ils doivent le plus souvent respecter des exigences fortes de sûreté de fonctionnement, de sécurité ou d'exécution temps réel. Ces systèmes couvrent une large gamme de produits allant du composant élémentaire logiciel ou matériel, à une carte ou un équipement complet, un logiciel applicatif ou d'infrastructure informatique embarquée, des systèmes d'informatique embarquée intégrant plusieurs équipements ou logiciels communiquants pour constituer un système ou sous-système complet.

La conception de tels systèmes embarqués innovants nécessite la maîtrise simultanée des notions d'architecture, des différents axes technologiques et des processus d'ingénierie contraignants et complexes. Elle a un caractère pluridisciplinaire. Le métier d'architecte des systèmes embarqués s'appuie à la fois sur des compétences en informatique et électronique, mais aussi en automatique, réseaux et télécommunication, ainsi qu'en gestion de l'énergie embarquée et en mécatronique. La pluridisciplinarité est donc une exigence forte du secteur, et sera au coeur des préoccupations de la chaire.

---

<sup>1</sup>Ce document, ainsi que la proposition de Chaire à la Fondation EADS, ont été élaborés par : J. Cardoso (ISAE), Ch. Fraboul (ENSEEIH T), P.E. Hladik (INSA), J. Hugues (ISAE), C. Mercé (INSA), S. Prudhomme (Airbus), A. Rossignol (Astrium) et F. Vernadat (INSA).

Aujourd'hui, il faut avoir plusieurs années d'activité dans une entreprise du secteur des systèmes embarqués pour avoir une vision générale de tels systèmes. Afin de réduire le temps d'apprentissage d'un domaine aussi large, il est important de faire évoluer les cursus de formation, aussi bien en formation initiale (du type graduate school – Ecole d'Ingénieurs ou Master), qu'en formation continue (du type Mastère Spécialisé) ou en formation par la recherche. La solution n'est pas la même pour ces formations : une formation multi-disciplinaire peut être donnée à des ingénieurs ayant déjà une formation dans une discipline particulière (formation continue), tandis qu'il faut garantir une formation disciplinaire solide en formation initiale, complétée d'une vision pluridisciplinaire d'une part, et intégrative système d'autre part. Cette double exigence permettra une meilleure interaction et coopération des équipes lors des phases de conception et de réalisation des systèmes embarqués.

## 2 Objectifs

Les objectifs de cette chaire Systèmes Embarqués Critiques (Chaire SEC) s'articulent autour de la formation et la dissémination scientifique.

Le volet enseignement est un levier important aux niveaux régional et national pour maintenir le niveau des industries en systèmes embarqués critiques. De manière plus précise, il s'agit de :

- renforcer la visibilité et l'attractivité de la filière, de façon à accroître le nombre de diplômés nationaux mais aussi internationaux.
- contribuer à hauteur de ses moyens à mieux préparer les étudiants au métier d'architecte de systèmes embarqués.

Ces objectifs se déclinent de la façon suivante :

1. donner une formation multidisciplinaire et une vision scientifique et technique du domaine, selon le type de formation :
  - (a) pour les formations initiales (formation ingénieur et formation Master of Science) : une solide formation disciplinaire, par exemple en Automatique, Électronique, Informatique, ou Réseaux, sera complétée par une formation multi-disciplinaire et une familiarisation aux approches et outils d'intégration système permettant de rejoindre facilement une équipe de conception de systèmes embarqués et d'appréhender, le plus efficacement possible, lors d'un premier emploi, la vision d'architecte de tels systèmes ;
  - (b) pour la formation *mastère spécialisé* (formation continue) : les jeunes diplômés et les professionnels en formation continue possèdent déjà une spécialisation directement liée aux systèmes embarqués (informatique et électronique dans

la plupart des cas), il est important d'étendre leur connaissance à d'autres domaines (énergie, contrôle, environnement, etc.), toujours dans l'optique d'offrir une solide formation système et multidisciplinaire du domaine systèmes embarqués critiques ;

2. amener quelques étudiants en formation initiale jusqu'au doctorat, et ainsi renforcer les liens entre formation et recherche dans le domaine de systèmes embarqués critiques.
3. attirer davantage d'étudiants dans les filières systèmes embarqués, par une offre attrayante, mettant en avant une pédagogie par projets dynamique, impliquant des industriels.

Ces objectifs, centrés sur l'enseignement et la formation, devront s'appuyer à la fois

:

- sur des activités de recherche permettant une excellence pédagogique, une ouverture aux transferts de savoirs et de connaissances, et une dissémination forte attirant les meilleurs étudiants dans ces formations.
- sur des activités de développement industriels touchant à des projets innovants permettant des avancées importantes du domaine des systèmes embarqués critiques et contribuant au renforcement des méthodes et outils de conception système et d'intégration.

## 3 Activités de la chaire SEC

### 3.1 Enseignement

Que ce soit en formation initiale ou continue, cette chaire contribuera à :

- coordonner les évolutions des formations des trois établissements ENSEEIHT, INSAT et ISAE en vue de satisfaire les objectifs énoncés section 2,
- développer une *plateforme des projets étudiants*, en cours ou en fin d'étude, intégrés aux cursus sur les systèmes embarqués critiques, donnant lieu à une continuité et une complémentarité cohérentes entre plusieurs projets faisant intervenir de manière pertinente les différentes disciplines, en partenariat avec les industriels du Pôle Aerospace Valley et de ses structures plus spécialisées (voir section 4),
- attirer les meilleurs étudiants français et étrangers par des *bourses d'excellence* (couvrant une part des frais de scolarité et/ou de vie) dans les formations en systèmes embarqués.

Plus spécifiquement, l'essentiel des efforts de la chaire CESEC portera sur les formations suivantes:

1. L'“Advanced Master on Embedded Systems”, co-habilité par l'ISAE et l'ENSEEIHT (formation continue)
2. Les masters nouvellement créés
  - (a) Master of Science AESS Aeronautical and Space Systems, Option Embedded Systems, ISAE,
  - (b) Master of Science ESECA Electronic systems for embedded and Communicating applications, ENSEEIHT et INSAT
3. Les cycles d'ingénieur des établissements ENSEEIHT, INSAT et ISAE. Les élèves de ces cycles peuvent suivre en particulier le Master Recherche suivant :
  - Informatique et Télécommunications, parcours Sûreté du Logiciel et Calcul Haute Performance, Réseaux et télécommunications,

La chaire s'efforcera de motiver un plus grand nombre d'étudiants à approfondir leur formation par ces cursus.

### 3.1.1 Plateforme des projets

Des projets existent déjà dans les cursus des différentes formations, allant de 30 heures à 450 heures (sur 2 ans) selon la formation (voir Annexe B). Aujourd'hui ces projets sont pour la plupart académiques et mono-disciplinaires. Il est essentiel de renforcer le caractère interdisciplinaire et d'augmenter la participation d'industriels à ces projets. En effet, les industriels apportent des compétences complémentaires tant au niveau des problématiques scientifiques et techniques de leur domaine que des pratiques et savoir faire *métier*. Leur participation se concrétise notamment dans les phases de définition et de conception des sujets de bureaux d'études et de projets ainsi que dans les phases de revues intermédiaires et d'évaluation finale.

La chaire CESEC contribuera au développement d'une plateforme des projets relevant du domaine systèmes embarqués. Ces projets feront intervenir différentes disciplines. Ils seront proposés et co-encadrés par des industriels et par des chercheurs ou enseignants-chercheurs académiques<sup>2</sup>. Ces projets seront déclinés avec une composante recherche importante en formation initiale et avec une composante ingénierie pour la formation continue.

---

<sup>2</sup>Il est important de noter que l'inclusion de tels projets dans les programmes pédagogiques exige un investissement important de la part des industriels aussi bien par *un temps d'encadrement* que par des *moyens* mis à disposition auprès des étudiants. Il est à noter que cette intervention doit être faite en lien étroit avec les équipes pédagogiques.

Cette plateforme des projets sera composée d'une collection de projets-types sur des systèmes embarqués tels que des drones terrestres ou aériens, quadri-rotors, avions, automobiles, etc.

La plateforme permettra une capitalisation et une mutualisation d'expériences, de méthodes, de savoir-faire et de documentation sur ces projets. Cette capitalisation est essentielle pour les encadreurs et les étudiants ; elle constituera un élément clé pour l'évaluation du succès de la chaire.

Un des défis de cette plateforme est que chaque projet doit permettre à l'étudiant qui va le réaliser d'avoir à la fois une contribution focalisée (approche verticale), mais aussi une contribution au système global, de façon à avoir une vision intégrative (approche horizontale). Encore une fois, le *dosage* entre projet *disciplinaire* et contexte *multidisciplinaire* sera variable selon le type de formation (formation initiale / formation continue) et la nature de l'enseignement considéré.

On peut distinguer notamment :

- les bureaux d'études (niveaux M1 ou M2, volume étudiant entre 15 et 30h) dont l'objectif est l'acquisition de compétences ciblées dans un ou plusieurs domaines. Ces travaux sont guidés et encadrés en totalité,
- les projets (niveaux M1 ou M2, volume étudiant supérieur à 30h) dont l'objectif est l'application de compétences relevant d'un domaine ou de différents domaines. Ces travaux se déroulent en autonomie.

Dans cette *plateforme des projets*, certains projets ou bureaux d'études seront conçus, encadrés et évalués conjointement par les industriels et les académiques, d'autres seront encadrés par les académiques, mais conçus et évalués conjointement avec les industriels.

Suivant le cas, il pourra s'agir de sujets indépendants (à traiter par une seule équipe d'étudiants) ou – pour favoriser l'aspect pluri-disciplinaire – d'un ensemble de sujets à traiter de façon coordonnée par différents équipes. A terme et toujours pour favoriser le côté pluri-disciplinaire, le traitement de plusieurs sujets pourrait se faire en coordination sur plusieurs formations au sein d'un même établissement voire sur différents établissements.

À titre d'exemple, dès la première année de la chaire CESEC (2012/2013) les activités suivantes seront réalisées :

- création d'un projet de 30h dans le domaine Systèmes Embarqués de la 3<sup>e</sup> année de la formation SUPAERO, autour d'un quadri-rotor. La promotion sera associée à une équipe multidisciplinaire, au tour de 3 sous-projets pour cette première année : 1) co-design matériel-logiciel pour le traitement d'image du quadri-rotor, 2) une analyse préliminaire de risques (FHA), 3) étude de l'intégration du système embarqué (CEM,...).

- structuration d'une partie des projets recherche (250h en M1 + 150h en M2) du Master AESS/ISAE de façon à faire travailler les étudiants des différents (sous)-projets dans le contexte d'un projet multidisciplinaire,
- évolution d'un module de 150h (50h de cours magistraux et un projet de 100h) sur le développement de systèmes embarqués proposé aux étudiants de 5<sup>e</sup> année des filières AE et IR de l'INSAT, sur un cycle complet de développement pour un quadri-rotor : rédaction du cahier des charges, rédaction des dossiers de conception, réalisation du code, mise en oeuvre des tests, déploiement,
- augmenter à l'ENSEEIH (niveau M2) le nombre de projets avec un suivi fait par des intervenants industriels, notamment sur les sujets : la validation de logiciels critiques avion, le dimensionnement et évaluation de performance (analyse du pire cas) de réseaux embarqués avionique ou spatiaux.

### **3.1.2 Vers une formation Architecte de Systèmes Embarqués**

En parallèle et en complément à cette activité académique et industrielle conjointe autour des projets, la chaire contribuera à une évolution et une coordination des cursus au sein des différentes formations de façon à améliorer la formation des ingénieurs en systèmes embarqués critiques. Il s'agit en particulier, de sélectionner et de flécher de cours des Masters qui soient pertinents pour la chaire CESEC et de créer des cours sur les thèmes de la chaire et sur les problèmes transverses d'intégration et de vision système.

## **3.2 Ecole d'été "Systèmes Embarqués Critiques"**

L'objectif de cette école d'été est de fournir à un public non expert mais familier des systèmes embarqués une mise à niveau technique et des compléments de formation. Elle s'adresse aussi bien à des personnes en poste dans l'industrie qu'à des doctorants et des étudiants de cycle ingénieur ou master (nationaux ou internationaux) souhaitant une ouverture disciplinaire sur des thématiques liées aux systèmes embarqués.

Cette école couvrira différents domaines de compétences des établissements impliqués dans la chaire (Ingénierie système et modélisation, Electronique, Informatique, Réseaux, Energie, Applications Industrielles) et sera animée par des personnes impliquées dans ces formations complétées par des interventions de personnes qualifiées extérieures des milieux académiques et industriels, nationaux et internationaux.

Les trois établissements fondateurs de la Chaire fourniront un accueil aux stagiaires pour les salles de cours, mais aussi, suivant les besoins et disponibilités, un hébergement en résidence étudiante.

Cette école étendra l'offre de formation, et contribuera à rendre davantage visible le volet "Systèmes Embarqués Critiques" du Pôle Aerospace Valley.

Cette École, en anglais, organisée sur 10 jours, sera structurée ainsi :

- 7 jours sur les principes de base des Systèmes Embarqués, couvrant les domaines Automatique, Réseau, Informatique, Énergie, Électronique, avec différents workshops ; une partie de ce programme pourra être répétée chaque année,
- 3 jours avec un approfondissement sur 1 ou 2 thèmes spécifiques (selon le nombre d'inscrits), qui sera différent chaque année : Sûreté de Fonctionnement, Compatibilité Électromagnétique, etc. Cette partie sera accompagnée d'une visite d'une entreprise de la région toulousaine liée à cet approfondissement. Cette partie plus spécialisée pourra intéresser un public plus ciblé et international.

### **3.3 Communication, promotion et dissémination Scientifique**

L'ENSEEIHT, l'INSAT et l'ISAE font le constat commun d'une méconnaissance de la part des étudiants des enjeux et des possibilités de carrières dans le domaines des systèmes embarqués critiques.

La Chaire visera à créer et animer une journée de sensibilisation autour de cette thématique, permettant aux étudiants en formation initiale de mieux appréhender les métiers et les carrières dans le domaine des systèmes embarqués critiques. Ce faisant, elle contribuera à attirer davantage d'étudiants dans les options de 3<sup>e</sup> année des formations concernées et au delà vers ces métiers.

Cette journée sera organisée conjointement par les 3 établissements porteurs en s'appuyant sur l'ensemble des acteurs du pôle de compétitivité. Elle sera ouverte aux étudiants de première et deuxième année devant faire le choix d'options, pour la suite de leur formation.

D'autres actions de communication seront encouragées pour permettre une grande visibilité et notoriété internationale de la chaire CESEC telles que : organisation de conférences, séminaires, mini-cours, groupes de travail (pour le public étudiant, scientifique et industriel), affichage des bourses ou invitations labellisées "Chaire CESEC". La réalisation d'un site web sur la chaire, la rédaction d'un rapport annuel d'activité, présenté lors d'une journée publique de bilan de la chaire sur les activités de formation, sont également prévues.

## **4 Les acteurs**

L'ENSEEIHT, l'INSAT et l'ISAE réunissent les compétences pour dispenser une formation pluridisciplinaire de haut niveau autour sur les systèmes embarqués critiques (*voir Annexe A*). De façon à offrir à la fois une formation au meilleur niveau mondial et augmenter la visibilité nationale et internationale de ses filières, il est important

d'associer à ces établissements des partenaires industriels. Ce partenariat très spécifique prolongera ceux existants au niveau du pôle Aerospace Valley et se concrétisera autour de cette chaire de *formation et formation pour la recherche* dans le domaine des systèmes embarqués.

Des nombreux industriels des régions Midi Pyrénées et Aquitaine se sont réunis dans le Pôle de Compétitivité AESE – Aéronautique, Espace et Systèmes Embarqués. Le Pôle AESE est le premier bassin d'emplois européen dans le domaine de l'aéronautique, de l'espace et des systèmes embarqués. Avoir des ingénieurs ayant une bonne compréhension des systèmes embarqués est une nécessité pour ces industriels, pas seulement dans le domaine aéronautique et spatial mais aussi dans l'automobile et même dans le médical, avec des interactions possibles avec le Pôle de Compétitivité Cancer–Bio–Santé. C'est pour cette raison que la région Midi Pyrénées souhaite aujourd'hui s'associer à cette initiative de chaire sur les systèmes embarqués critiques.

Le groupe EADS, au travers de la Fondation EADS soutien la recherche scientifique à travers, entre autres, des objectifs suivants: développer les liens entre la communauté des chercheurs et la communauté industrielle et technique des domaines aéronautiques et spatiaux ; contribuer au développement de la recherche scientifique et technologique dans des domaines de recherches pluridisciplinaires, des Sciences pour l'Ingénieur, des Sciences et Technologies de l'Information et des Communications; contribuer au développement de la culture scientifique par l'éducation, et contribuer au transfert d'innovations technologiques issues de l'aéronautique et de l'espace vers des applications d'intérêt général. Les systèmes embarqués constituent sans nulle doute un enjeu important dans le cadre des activités du groupe EADS.

## A Les formations existantes à l'ENSEEIH, INSAT, ISAE

### A.1 ENSEEIH (sur 3 ans)

Formation ingénieur (Troisième année) :

- Option "Circuits intégrés pour systèmes embarqués" (département Electronique),
- Option "Systèmes spatiaux et embarqués" (département Télécommunications),
- cursus "logiciels critiques" (département Informatique).

### A.2 INSAT (sur 5 ans)

- Quatrième année :
  - Spécialité Automatique – Electronique (AE), avec une orientation "Systèmes Embarqués" et une orientation "Ingénierie Systèmes"
  - Spécialité Informatique et Réseaux (IR) avec une orientation "Informatique" et une orientation "Réseaux et Télécommunications".
- Cinquième année :
  - Différentes majeures d'approfondissement au choix (250H Technique) : Electronique et Systèmes Embarqués, Systèmes Embarqués Critiques, Informatique logicielle, Systèmes distribués communicants, complétées par différentes mineures (70H Technique) : Sécurité, Ingénierie des modèles, Capteurs communicants.

### A.3 ISAE

SUPAERO (sur 3 ans)

- Formation généraliste en première et deuxième année donnant une vision système (aéronautique et espace)
- Troisième année : un domaine "Systèmes Embarqués" (180h) et un approfondissement aux choix : Informatique Embarquée, Automatique, Télécommunications, ... (240h).

**Master of Science in Aeronautical and Space Systems (MSc AESS), Option Systèmes Embarqués (ISAE) (niveau M1 et M2):**

- Formation pour la recherche
- Public : étudiants ayant fait leur scolarité à l'étranger (européens et BRICS)

#### **A.4 ISAE-ENSEEIH Formation continue - Specialized Master on Embedded Systems**

- Objectif : donner une vision multidisciplinaire et intégrative des systèmes embarqués à des étudiants ayant déjà une spécialisation directement liée aux systèmes embarqués (informatique, électronique, etc).
- Public : des jeunes diplômés et des professionnels *français* et *étrangers* (BRICS essentiellement).

#### **A.5 INSAT-ENSEEIH Master of Science : Electronic systems for embedded and Communicating applications (niveau M1 et M2)**

- Objectif : Formation ciblant les systèmes électroniques pour applications embarquées communicantes. Le coeur de la formation porte sur la conception de systèmes intégrés, les antennes, les circuits RF, le traitement numérique du signal et de l'image.
- Public : Etudiants étrangers

## B Projets (liste non exhaustive)

### B.1 Projets à l'ENSEEIHHT :

- En 2ème année (niveau M1) : projets tutorés en fin d'année (6 semaines de projet) sur différents sujets d'approfondissements (selon les départements).
- En 3ème année (niveau M2) : projet long de 6 semaines organisé à la même période dans les 5 départements (février et début mars). Certains des sujets font l'objet d'une proposition et d'un suivi industriel. Les étudiants travaillent en groupe (de 2 à 6) et constituent sur certains sujets (en particulier d'ingénierie) une équipe pluridisciplinaire (étudiants issus de différents départements). Revue de projet hebdomadaire, soutenance en anglais.

### B.2 Projets à l'INSAT :

- en 4ème année (niveau M1) : projet tutoré pour tous les étudiants ; choix des projets en octobre (propositions de sujets faites par enseignants, chercheurs ou industriels). Calendrier : 1) de nov à janvier : recherches bibliographiques ; 2) février-juin : travail sur le projet ; 30h réservées sur l'emploi du temps ; beaucoup plus de travail personnel ; travail par binôme ou quadrinôme ; soutenance orale et rapport.
- en 5ème année (niveau M2) : Actuellement, il y a dans la majeure Systèmes Embarqués Critiques un projet (conception de systèmes logiciels embarqués) qui va de la définition du cahier des charges jusqu'au test (en passant par la conception d'architecture, le déploiement sur matériel, etc.) : 30h de cours pour présenter les méthodes, 60h de présentiel pour travailler sur le projet + environ 90h de travail personnel (hors EdT). Livrables et soutenance en anglais.

### B.3 Projets à L'ISAE :

- En 2ème année SUPAERO (niveau M1) : projet tutoré sous 2 formes, totalisant 6 semaines (dont le mois de juin) : 1) projet recherche seul ou en binôme, 2) projet en équipe intégrée (projet ingénierie) de 4 étudiants. Calendrier : 1) de décembre à février : choix du projet, 2) mars à juin : travail en autonomie. Soutenance oral, article 6 pages format IFAC pour les projets recherche, rapport pour le projet ingénierie.
- en 3ème année SUPAERO (niveau M2) : un projet par approfondissement (20 à 30h) réservés sur l'emploi du temps, plus de travail hors emploi du temps. Projets proposés en début d'année scolaire (octobre), présentés fin mars (départ en stage en avril).

- MSc AESS first year (niveau M1) : projet de recherche tutoré de 250h, seul ou en binôme. Calendrier : 1) présentation des projets en novembre, 2) choix entre Dec et Jan, 3) travail en autonomie mi-janvier à juin. Soutenance orale et rapport écrit.
- MSc AESS 2nd year (niveau M2) : projet de recherche tutoré de 150h (septembre à avril) ; en général la suite du projet en M1. Soutenance orale et rapport écrit fin mars, départ en stage en avril.
- Mastère Spécialisé "Embedded Systems" : projet ingénierie multidisciplinaire de 150h (mois de mars bloqué) en équipe intégrée (4 à 6 étudiants) avec gestion de projet. Soutenance orale et rapport sur les aspects techniques et gestion de projet.