

TAF Systèmes Embarqués et Hétérogènes (22B – SEH)

Objectifs et ambitions :

Les systèmes embarqués sont au cœur de la révolution numérique et sociétale du XXI^e siècle. De nouvelles applications émergent tous les jours, qui nécessitent des systèmes électroniques et informatiques avec des besoins divers et variés en terme de puissance de calcul, de consommation énergétique, de fiabilité, de sécurité, etc. Le nombre de ces systèmes et le volume de données sont gigantesques et croissants. Concernant les données, il faudra non seulement les communiquer, mais également et surtout les traiter de manière intelligente et efficace.

Avec cette évolution des applications, il y a aussi une évolution très importante des technologies d'intégration matérielle avec la capacité actuelle d'intégrer plusieurs milliards de transistors sur puce. Cette capacité, et le besoin de solutions efficaces, donnent naissance aujourd'hui à des circuits intégrant quelques dizaines de composants hétérogènes, avec en particulier des processeurs spécialisés pour accélérer des calculs de type traitement de signal, images, multimédia, réseau, intelligence artificielle, etc.

La conception de systèmes embarqués et hétérogènes présente plusieurs défis comme ils se caractérisent souvent par une limitation de l'énergie électrique disponible, une difficulté à modifier le système une fois déployé et un lien fort avec le matériel au travers de capteurs ou d'unités de calculs spécialisées. Ainsi, cette thématique d'approfondissement a pour objectif de former nos ingénieurs au développement et à la mise en œuvre efficaces de systèmes embarqués et hétérogènes.

A travers cette thématique, les étudiants auront l'opportunité d'acquérir des compétences théoriques et pratiques en implémentation matérielle (VHDL, FPGA, analogique), intégration d'éléments matériels et logiciels au sein d'un même système, développement de logiciel de bas niveau (drivers, système d'exploitation) et calcul parallèle (GPU, DSP, systèmes distribués).

Au travers d'UE électives, ils pourront ensuite soit approfondir leur expertise en conception matérielle et/ou en développement logiciel, soit élargir leurs compétences avec une dimension spécifique (technologique, applicative, ou organisationnelle).

Les compétences abordées par la TAF sont applicables à plusieurs domaines propres à l'école : informatique et réseau, intelligence artificielle, systèmes cyber-physiques, systèmes de communication, objets communicants, santé, télédétection, robotique. Ainsi, nombreuses combinaisons sont envisageables et donneront lieu à un parcours cohérent, voire original. L'industrie des systèmes embarqués est présente dans tous les secteurs de l'économie. Selon la combinaison choisie, et le secteur ou domaine applicatif visé, les étudiants apprendront à sélectionner les algorithmes et à concevoir, développer et déployer des systèmes matériels et logiciels adaptés aux contraintes de l'embarqué.

La double compétence logicielle et matérielle, indissociable des systèmes embarqués, est très recherchée par les entreprises.

Liens avec le profil de l'ingénieur IMT Atlantique :

L'ingénieur IMT Atlantique ayant suivi cette TAF sera au cœur des métiers du numérique, capable de sélectionner, de concevoir et de réaliser les systèmes matériels et logiciels complexes indispensables à la transition numérique et énergétique.

Compétences spécifiques principalement adressées par la TAF :

CSDI : ELEC2, ELEC1, INFO S, INFO D

CST : 5, 6, 14, 15, 19

Débouchés :

- Les possibilités de métiers à l'issue de la TAF SEH sont nombreuses :
 - Les compétences en systèmes embarqués permettent d'envisager les métiers autour de la conception matérielle et logicielle, du développement, de la conception de puces électroniques, du conseil, ou de l'intégration
 - Les domaines concernés sont larges. Les méthodes et compétences acquises sont génériques et peuvent donc intéresser tous les métiers où la double compétence matériel/logiciel a un intérêt.
 - Postes à la sortie : Ingénieur R&D, Ingénieur intégration, Ingénieur test et validation, Ingénieur avant-vente, Ingénieur d'affaires techniques, Ingénieur étude et développement, Ingénieur brevets, Consultant, Chef de projets.
- L'industrie des systèmes embarqués est présente dans tous les secteurs de l'économie. Les entreprises ciblées par cette TAF sont toutes les entreprises ayant des besoins en implémentation spécialisée d'algorithmes. Ceci inclut les PME, les grands groupes et les administrations de nombreux secteurs :
 - Les entreprises du domaine de la conception matérielle comme Intel, ARM, NXP, STMicroelectronics, Xilinx
 - Les entreprises utilisatrices de systèmes embarqués ou matériels comme Orange, OVH, Thalès, Dassault, Alstom, Google, Microsoft (et bien d'autres bien sûr)
 - Les startups ou petites entreprises centrées autour des nouvelles technologies (la « French Tech »)

Département porteur de la TAF : Département MEE du campus de Brest

Référents : Amer Baghdadi (amer.baghdadi@imt-atlantique.fr)

Disciplines du cœur de la thématique : Electronique numérique, Electronique analogique, Informatique, Calcul parallèle.

Mots-clés : Systèmes embarqués, accélération de calcul, VHDL, ASIC, FPGA, GPU, processeurs, circuits numériques et analogiques, logiciel/matériel, adéquation algorithme/architecture, systèmes d'exploitation, calcul parallèle, intelligence artificielle, optimisation.

Organisation de la TAF :

- Répartition des 8 UE : 3 UE cœur, 3 UE électives, 2 UE libres
- Combinaison envisagée avec beaucoup de TAFs, sans ordre préférentiel, dont :
 - 2B
 - 10B
 - 21N
 - 19B
 - 8BN
 - 17B
 - 7B
 - 1N

- o 4R
- o 15R
- o 9B
- o 5B
- o 20R

Liste des UE cœur

- **UE1 : Systèmes embarqués : du capteur au traitement intelligent**

Fil conducteur des UE cœur, avec une mise en application qui explicite les liens et illustre les concepts présentés dans les deux autres UE. Cette UE intègre également une introduction sur les techniques de conception de circuits analogiques, qui peuvent être approfondies en UE élective.

- **UE2 : Méthodologies de conception – de l'algorithme à la puce**

Méthodologies de conception de circuits numériques performants à partir d'une description algorithmique et d'un ensemble de contraintes. Architectures et techniques de conception circuits numériques (VHDL). Modélisation, simulation, synthèse, prototypage FPGA.

- **UE3 : Systèmes embarqués – interaction logiciel/matériel**

Interaction entre logiciel et matériel dans les systèmes embarqués. Processeurs, mémoires, bus, périphériques. Linux embarqué, pilotes, tâches.

Liste des UE électives

Approfondir vos compétences en conception matérielle et/ou en développement logiciel

- **UEE : Workshop à Grenoble – recherche et industrie des micro et nanotechnologies**

*Nanotechnologies, architectures asynchrones, capteurs CMOS, IoT, sécurité et test des circuits intégrés, visite d'une salle blanche. Déplacement de 2 semaines à **Grenoble** en janvier.*

- **UEE : Conception haut niveau de circuits**

Méthodes récentes de conception et de synthèse haut niveau (HLS). Processeurs spécialisés (Application-Specific Instruction set Processor, ASIP).

- **UEE : Conception de capteurs intégrés intelligents**

Architectures et techniques de conception circuits analogiques (CMOS et ASIC full custom). Conception, modélisation, simulation.

- **UEE : Calcul parallèle pour l'ingénieur**

Développement logiciel sur matériel spécialisé. Processeurs vectoriels (GPU, DSP). Calcul distribué.

- **UEE : Ingénierie des applications Web**

Programmation Web, client-serveur, protocole HTTP, HTML5, Javascript, CSS, JSON, XML.

- **UEE : Méthodes avancées de programmation et de développement Logiciel**

Objet, polymorphisme, généricité, cycle de vie, architecture logicielle, patron de conception, tests.

- **UEE : Intégration électronique – de l'algorithme au prototype**

Convertisseurs analogique-numérique, solutions d'intégration matérielle, architecture dédiée à l'application, prototypage, intégration d'une chaîne d'acquisition et de traitement.

Elargir vos compétences avec une dimension spécifique (technologique, applicative, ou organisationnelle)

- **UEE : Intelligence Artificielle – Introduction**

Introduction générale à l'intelligence artificielle et au Deep Learning (incluant les enjeux éthiques).

- **UEE : Intelligence Artificielle – Optimisation**
Optimisation des ressources (calcul et mémoire), projet long matériel (FPGA, VHDL) ou logiciel (GPU, Pytorch).
- **UEE : Radio-logicielle**
Architecture de systèmes utilisant la radio-logicielle (plateformes USRP).
- **UEE : Technologies et dispositifs radiofréquences**
Architectures des front-end RF. Dispositifs: spécification, conception (antenne, filtre, mélangeur, amplificateur, ...).
- **UEE : Nouveaux usages et techniques de visualisation et affichage interactif**
Usages modernes : écrans tactiles, casques de réalité virtuelle ou de réalité augmentée, afficheurs tête haute. Techniques : LCD, OLED, DMD, HMD, ...
- **UEE : Capteurs et énergie**
Conception de capteurs, consommation énergétique, récupération d'énergie.
- **UEE : Dispositifs médicaux communicants**
Dispositifs biocompatibles implantables, autonomie, alimentation, capteurs, acquisition, traitement, transfert.