

Maitrise des technologies Clefs pour la filière électronique Roadmap

La transformation numérique de l'ensemble de l'économie est en cours et crée de nouvelles opportunités pour notre industrie. Cette révolution des objets intelligents et connectés couplée à la transition énergétique touche tous les secteurs de l'industrie. **L'industrie électronique est incontournable** pour réussir cette révolution numérique et la transition énergétique qui passeront par la diffusion de l'électronique dans tous les domaines.

Cette industrie électronique se doit, dans un contexte international de très forte concurrence, **d'innover et de maintenir un effort de R&D et d'investissement très important, y compris en développant de nouvelles approches** (intelligence embarquée, calcul dans la mémoire, conception de circuits basée sur de nouvelles architectures ou sur de l'Open Source HW par exemple) dans une logique de souveraineté et de mutualisation des investissements.

Pour éclairer les évolutions à venir des technologiques de l'électronique, le Comité stratégique de filière Industrie Electronique a mis en place un groupe de travail de « roadmapping ».

Il s'est attaché à cerner :

- Les enjeux majeurs de la révolution numérique
- Les tendances et enjeux futurs pour la filière Composants Electroniques
- Le point de vue des systémiers sur les principaux enjeux liés à l'embarqué
- Les tendances futures pour le « digital computing » – composants
- Les tendances futures pour les réseaux, capteurs, électronique de puissance - composants
- Les enjeux de l'IA embarquée: hardware et software
- Une Roadmap spécifique à l'IA embarquée
- Une Roadmap Composants
- Une Roadmap chaine d'outils
- Des Conclusions

Le groupe de travail a, en particulier, examiné les technologies transversales clefs pour la filière et l'impact de l'électronique au service des filières avales et des marchés émergents à forts enjeux de compétitivité :

- **Technologies transversales clefs** : IA embarquée¹, Design et fabrication de processeurs très basse consommation, Capteurs et imageurs optiques et MEMS, Composants de puissance, Technologies d'intégration, Architectures et approches Open Source
- **Filières Avaies fortement impactées**

¹ L'IA embarquée, comme toute électronique embarquée, interagit fortement avec un (ou plusieurs) processus physique(s) au(x)quel(s) elle est associée. L'évolution nécessaire de l'IA embarquée se fera selon le schéma général suivant :

- Facilitation : l'IA permet de prétraiter, nettoyer des données venant des capteurs du processus physique (caméras, micros, capteurs...)
- Optimisation : l'IA permet de proposer un optimum (trajectoire, paramétrage...) relatif au processus
- Décision : l'IA a autorité sur tout ou partie du contrôle du processus

- l'automobile et en particulier le véhicule électrique et son infrastructure (ex : bornes de recharges)
- la Santé
- l'Industrie et le Manufacturing
- l'Agrifood et la préservation des ressources naturelles
- la (Cyber)sécurité
- l'Avionique, l'Espace et le Ferroviaire
- l'Energie

De l'ensemble de ce travail, il ressort les **considérations stratégiques et grandes recommandations suivantes pour les technologies transversales** :

1. Considérations stratégiques

a. Intelligence Artificielle embarquée (e-AI)

L'IA embarquée est essentielle au niveau des systèmes embarqués et de l'IoT pour garantir sobriété énergétique, faible latence, autonomie locale de décision, sûreté de fonctionnement et protection des données personnelles (vs déversement dans le cloud)

La concurrence internationale est importante et très agile : la réponse nationale doit être à la hauteur dans un contexte de risque de montée en puissance des technologies des grandes plateformes numériques de l'IT vers l'embarqué.

b. Design et réalisation de circuits intégrés à très basse consommation

Le besoin de réduire la consommation énergétique des composants et des systèmes, par un facteur multiplicatif fort (plusieurs x10) est essentiel pour les années futures compte tenu du développement des composants réseaux (5G), de l'IoT et des systèmes embarqués. Au regard des déploiements attendus et des capacités de production énergétiques mondiales, il est essentiel de continuer à réduire les niveaux de consommation.

c. Capteurs et imageurs optiques, MEMS

Toutes les applications à forte valeur ajoutée (filiales avales) reposent sur l'introduction de capteurs et/ou imageurs de plus en plus optimisés (distribution énergétique, sécurité, latence, résilience...)

Il est essentiel de pouvoir introduire une intelligence proche des capteurs (IA embarquée) pour garantir sécurité, fiabilité, temps de réponse optimal, capacités d'apprentissage situationnel (supervisé ou non)

d. Composants de puissance et connectivité

La maîtrise de ces technologies est essentielle pour conserver une souveraineté européenne sur la maîtrise de la conversion d'énergie (Convertisseurs AC/DC-DC/DC) et garantir le développement des filiales aval (automobile, ferroviaire, avionique...) et leurs infrastructures (Smart Grid, Bornes de recharges, ...)

Ces technologies sont aussi essentielles pour le développement des futurs réseaux 5G (puis 6G)

e. Technologies d'intégration (intégration 3D, Packaging SiP² ...)

Les technologies d'intégration de type 3D permettent l'intégration de puces différentes dans un objet compact et performant. Le packaging SiP représente de plus en plus une partie essentielle de la valeur ajoutée des systèmes. Sa maîtrise est également essentielle au niveau système pour en contrôler tous les aspects fondamentaux (testabilité fonctionnelle, fiabilité, coût, sécurité...)
La maîtrise de ces technologies garantira une meilleure souveraineté européenne en comparaison de la situation actuelle (délocalisation essentiellement asiatique).

f. Architectures et nouvelles approches Open source

Les nouvelles contraintes de l'embarqué, en particulier critiques, impliquent de nouvelles architectures et méthodologies de développement. La plupart des grandes agences internationales (Chine, Inde, US DARPA) ont mis le sujet de l'Open Source HW à leur agenda. Pour une part croissante des applications, les approches Open Source sont de nature à renforcer la souveraineté nationale et créer de nouveaux écosystèmes permettant de mutualiser les investissements et raccourcir les temps de développement

2. Recommandations & Propositions

a. Intelligence Artificielle embarquée (e-AI)

- Développer des algorithmes et outils d'IA à très faible consommation avec intelligence et stockage des données proches du capteur et protection des bases d'apprentissage locales
 - Permettre un accès facile aux bases de données pour la phase d'apprentissage
 - Une souveraineté des données et des environnements d'apprentissage,
 - Prendre en compte l'efficacité énergétique de bout en bout, de l'apprentissage à l'utilisation de l'inférence (Ex : Coût énergétique de l'apprentissage par renforcement si utilisé)
- Développer les NPU, les mémoires non-volatiles et autres technologies de type Deep Neural Networks comme options très intéressantes en termes de consommation énergétique
- Développer un outillage sans dépendance (US en particulier) permettant le déploiement aisé de l'IA sur les cibles embarquées (garantie de sécurité et fiabilité) et permettant la compatibilité et l'interopérabilité entre réseaux hétérogènes d'IA distribuée
- Développer des technologies et référentiels de qualification, certification de l'e-AI pour des systèmes de confiance garantis pour leur utilisation
- Valider formellement des algorithmes, développer des jumeaux digitaux...

b. Design et réalisation de circuits intégrés à très basse consommation

- Développer de nouvelles architectures HW pour des circuits intégrés peu énergivores basées notamment sur :
 - Les concepts de calcul proche ou dans la mémoire (Near ou In-Memory Computing)
 - L'intégration tridimensionnelle (monolithique ou hétérogène) de différents composants : processeurs - mémoires – capteurs ou puissance ou RF-logique, par exemple

² SiP : System in Package : intégration tridimensionnelle hétérogène de puces

- Gérer les compromis architecture/SW embarqué/consommation vs vulnérabilité aux attaques (importance du risque Cyber)
- Développer de nouvelles générations de mémoires non-volatiles
- Mettre en place des méthodologies de co-design HW/SW : par exemple pouvoir optimiser un algorithme pour minimiser le mouvement de données (latence, sécurité, fiabilité)
- Renforcer la sécurité « par design » des composants et systèmes (cf. RGPD)
- Avoir une approche sur l'efficacité énergétique et la soutenabilité du système complet (Du capteur à l'actuateur)

c. Capteurs et imageurs optiques, MEMS

- Imageurs : augmenter la compacité (pas, format), réduction des coûts et de la consommation énergétique...
- Mettre en œuvre les développements spécifiques pour les nouvelles générations de LIDAR
- Développer les nouvelles générations de MEMS/NEMS intelligents, capteurs optiques et quantiques pour différentes applications
- Développer des systèmes ultra-compacts de récupération d'énergie RF, vibrations...
- Introduire de l'intelligence proche des capteurs avec set de données de références pour un type de capteur en ce qui concerne l'apprentissage de l'IA

d. Composants de puissance et connectivité

- Développer les technologies GaN/SiC, GaN/SOI et GaN/Si pour stations de base et FEM3
- Développer le GaN et le SiC pour le marché automobile (véhicule hybride et électrique). 100% des véhicules seront électrifiés en 2027 en intégrant à minima du 48 V, voire du 400 ou 800 V) mais aussi pour les systèmes de conversion d'énergie (Convertisseurs DC/DC – AC/DC)
- Développer les composants à base de substrats RFSOI et FDSOI ou à base de SiGe pour le déploiement de la 5G
- Explorer la photonique Si comme alternative faiblement énergivore pour la communication entre puces. La photonique est également une alternative intéressante pour préparer la 6G
- Mettre en place une veille technologique active sur le nouveau matériau Ga₂O₃ notamment pour les applications ferroviaires

e. Technologies d'intégration

- Mettre en place les technologies d'intégration 2,5D et 3D (SiP, WLP, MCM4...) qui constituent le prochain nœud de la loi de Moore et seront fondamentales pour la plupart des applications embarquées critiques
Les concepts SiP et MCM assureront, par exemple, le déploiement de technologies d'interconnexion encore plus critiques, avec la diversité croissante des matériaux utilisés en électronique (GaN, SiC, InP, matériaux piézoélectriques...).
- La maîtrise de la forte valeur ajoutée du packaging SiP et du co-développement puce/boîtier nécessite un effort particulier et urgent pour reconstruire et/ou rapatrier les compétences nécessaires sur le territoire national

³ FEM : Modules utilisés pour la réception et transmission des signaux RF dans la téléphonie, notamment

⁴ WLP : Intégration de puces au niveau de la plaque de Si 200 ou 300mm, MCM : intégration de puces de différentes fonctionnalités



Avril 2020

- Prendre en compte de l'évolution des technologies d'assemblage et de tests à l'échelle système (PCB, module assembly...)

f. Architectures et nouvelle approches Open source

- Mettre en place de nouvelles architectures et outils/ateliers logiciels associés : par exemple, « Near ou In memory computing », développement des Bio-Neural Networks, des composants neuromorphiques,
- Mettre en place les outils logiciels appropriés : support explicite du temps, prise en compte du temps réel, méthodologies de vérification formelle
- Introduire l'Open Source HW, SW et les ateliers associés (sur la base du modèle et de l'écosystème RISC-V) pour mettre en place de nouvelles compétences et modèles de développement (pour des applications bien choisies)