

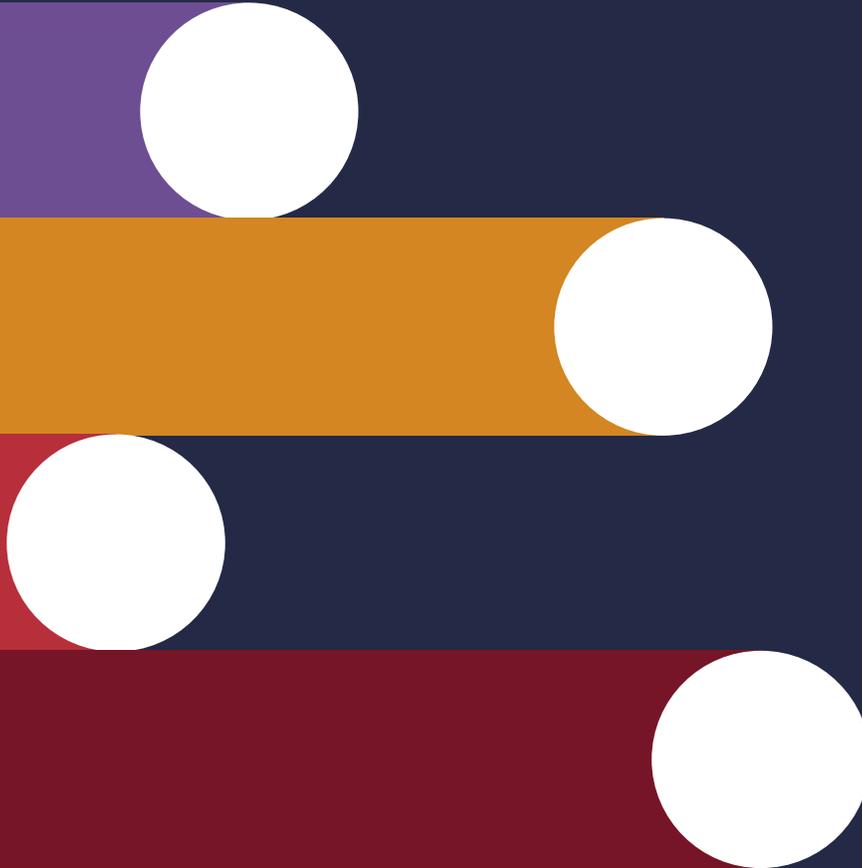


SYSTÈMES EMBARQUÉS

Formations et compétences sur les systèmes embarqués – dont la mise à jour de la cartographie des formations

Rapport complet – juin 2022





1. MÉTHODOLOGIE ET OBJECTIFS 
2. LES SYSTÈMES EMBARQUÉS EN 2022 
3. LES ÉVOLUTIONS DES SYSTÈMES ET LEURS IMPACTS SUR LES MÉTIERS ET LES COMPÉTENCES 
4. LES IMPACTS DE CES ÉVOLUTIONS SUR LE RECRUTEMENT 
5. ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION INITIALE ET CONTINUE 
6. FICHES MÉTIERS ET PROFILS DE CARRIÈRE 
7. RECOMMANDATIONS OPÉRATIONNELLES 

→ Cliquez sur le titre de votre choix pour vous y rendre directement

Partie 1

MÉTHODOLOGIE ET OBJECTIFS

- **Note méthodologique**
- **Profil des répondants à l'enquête en ligne**





OBJECTIFS

- 1** Dresser un état des lieux des principales transformations intervenues depuis 2014
- 2** Mettre à jour la liste des formations initiales et continues
- 3** Analyser l'offre de formation au vu des besoins du secteur
- 4** Formuler des recommandations sur l'offre de formation initiale et continue
- 5** Élaborer des fiches métiers et les bases de profils de carrière

MOYENS MOBILISÉS

- Analyse **documentaire**
- Analyse **statistique**
- **30 entretiens** avec des acteurs de la filière des systèmes embarqués et des établissements de formation
- Une **enquête en ligne**
- Recensement des formations initiales et continues
- **Groupe de travail** avec des professionnels de la filière

LIVRABLES

- **Rapport final** détaillé
- **Synthèse** communicante
- **Recensement de l'offre de formation** initiale et continue
- **Cartographie des formations** en ligne
- Comptes-rendus des COPIL, ateliers et entretiens

Cette étude s'est déroulée entre janvier et juin 2022 avec la participation et le soutien de l'OPCO ATLAS, des organisations professionnelles représentatives de la branche professionnelle des bureaux d'études techniques et d'Embedded France.

Une enquête qualitative avec :

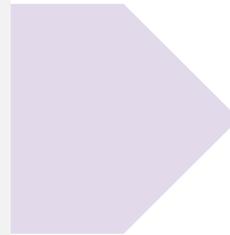
- **24 entretiens** réalisés
- Des échanges avec une diversité d'acteurs représentant de **toutes les étapes de la chaîne de valeur** de la filière :
 - 6 entretiens avec des établissements de formation initiale
 - 5 entretiens avec des institutionnels
 - 2 entretiens avec des sociétés d'ingénierie
 - 7 entretiens avec des fournisseurs logiciels pour les systèmes embarqués
 - 4 entretiens avec des intégrateurs
- Des **entreprises de toutes tailles**, des TPE aux grands groupes

Deux ateliers complémentaires

- **Un premier atelier d'élaboration des pistes d'action** (*voir p.62*), qui a regroupé l'ensemble des membres du COPIL le 18/05/2022 ;
- **Un second atelier** de composition et de vérification des **fiches métiers** (*voir p.57*) avec des professionnels de la filière, qui s'est tenu le 31/05/2022

Une enquête en ligne quantitative pour :

- Mesurer les tendances identifiées lors des entretiens qualitatifs réalisés en phase 1 (dynamiques d'emploi, appréciation de l'offre de formation...);
- Compléter le recensement de l'offre de formation ;
- Identifier les pratiques de recrutement et les problématiques partagées par les entreprises du secteur.



Résultats de l'enquête

- **Un nombre suffisant de répondants pour exploiter les résultats** : 61 répondants dont les entreprises représentent près de 14 000 salariés dont les activités sont liées aux systèmes embarqués
- **Tous les types d'acteurs de la filière représentés** en taille (grands groupes, ETI, PME, TPE), localisation géographique, positionnement sur la chaîne de valeur et en secteur d'activité

Limite : si le panel est relativement représentatif du secteur des systèmes embarqués, le nombre de répondants demeure trop limité pour réaliser des analyses quantitatives par type d'entreprise (taille, secteur, positionnement...).

→ **Une analyse plus qualitative des résultats a été effectuée pour identifier les spécificités propres à certains types d'entreprises**

7 | NUMÉRIQUE | PROFIL DES RÉPONDANTS À L'ENQUÊTE EN LIGNE

61

Répondants dont les entreprises
représentent

13 700

salariés dont les activités sont liées aux
systèmes embarqués



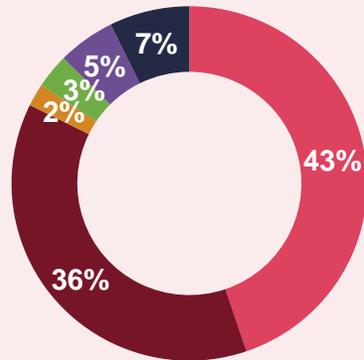
13,6%

Taux de
féminisation moyen

Effectif des entreprises des répondants à l'enquête

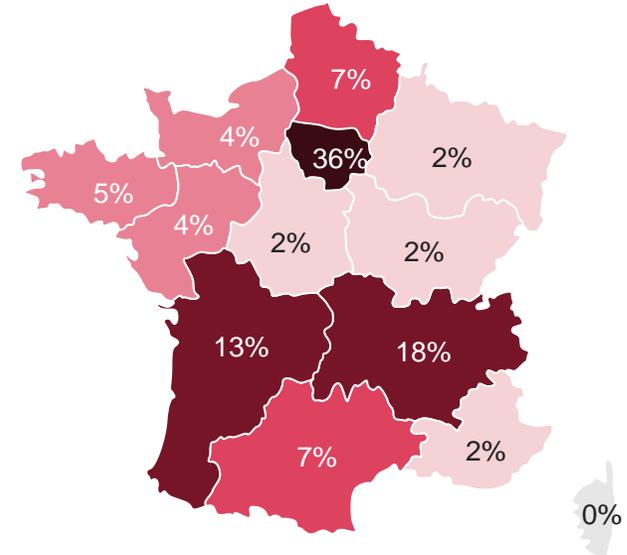
Source : Enquête et traitement KYU, 2022

- 1 à 9 salariés
- 10 à 49 salariés
- 50 à 99 salariés
- 100 à 249 salariés
- 500 à 999 salariés
- Plus de 1000 salariés



Emplacement du siège social de l'entreprise des répondants

Source : Enquête et traitement KYU, 2022

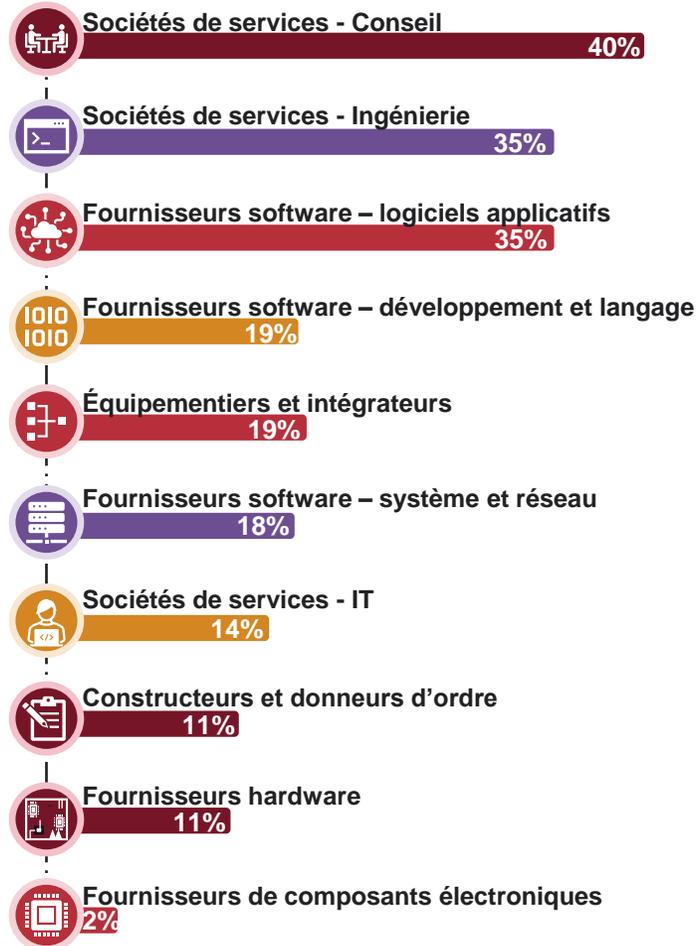


DROM-COM: 0%

8 | NUMÉRIQUE | PROFIL DES RÉPONDANTS À L'ENQUÊTE EN LIGNE

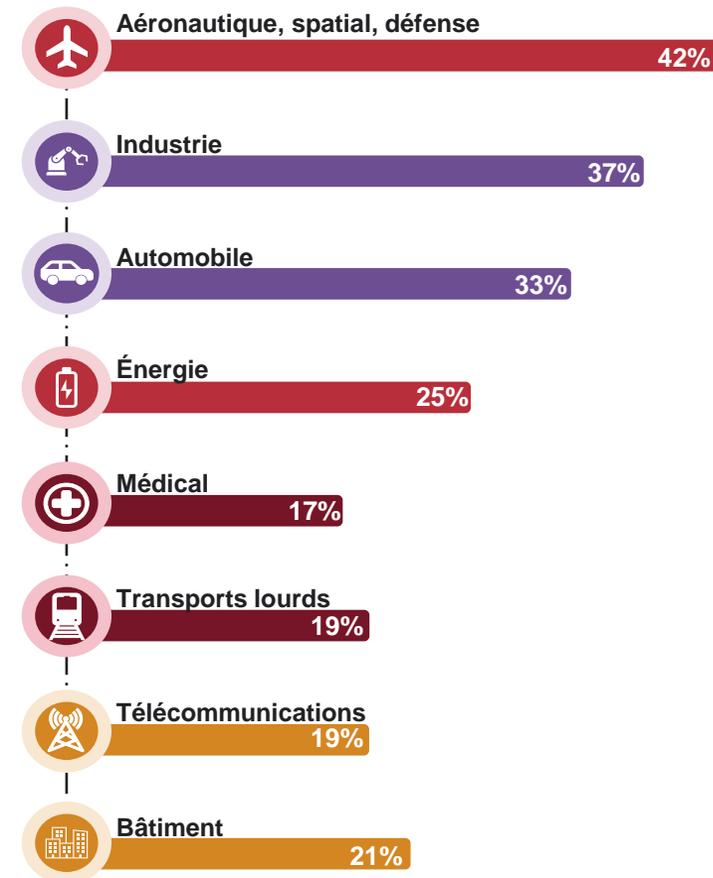
Positionnement des entreprises interrogées dans la chaîne de valeur de systèmes embarqués

Source : Enquête et traitement KYU, 2022



Principaux secteurs clients des entreprises répondantes

Source : Enquête et traitement KYU, 2022



Autres: 4%

Rapports et études mobilisés dans le cadre de l'étude :

- « *Cartographie des systèmes cyberphysiques* », Les dossiers de la DGE, octobre 2020
- « *Embedded Intelligence, trends and challenges* », Artemis Industry Association, 2019
- « *Emerging technologies in electronic components and systems (ECS) : Opportunities ahead* », DG for Communications and Networks, Contentes and Technology, Commission Européenne, 2018
- « *Étude sur l'évolution des métiers et des besoins en formation pour les Systèmes Embarqués* », OPIIEC, 2014
- « *Total Energy Model for Connected Devices* » IEA 4^E EDNA, 2019
- « *Study on the Electronics Ecosystem : overview, developments and Europe's position in the world* », DG for Communications and Networks, Contentes and Technology, Commission Européenne, 2017
- « *Stratégie nationale pour l'intelligence artificielle : 2^{ème} phase* », Gouvernement, 2021

Presse spécialisée

- L'Embarqué – logiciels et systèmes
- L'Usine Nouvelle
- Les Échos

Partie 2

INTRODUCTION : LES SYSTÈMES EMBARQUÉS EN 2022

- Définition et chaîne de valeur
- Chiffres clés et principaux secteurs applicatifs



Retour au
sommaire

11 | NUMÉRIQUE | LES SYSTÈMES EMBARQUÉS – ÉLÉMENTS DE DÉFINITION



Une diversité de systèmes allant de systèmes dédiés à des tâches simples à des systèmes cyberphysiques intelligents

Les systèmes embarqués sont des **systèmes électroniques et informatiques** autonomes, dédiés à une tâche particulière et contenus au sein d'un système plus large (véhicule, téléphone...). Ils se caractérisent par **l'intégration d'une partie logicielle** (software) **et d'une partie matérielle** (hardware) enfouie dans un équipement et permettant de réaliser des programmes définis. Le terme de système embarqué recouvre une **diversité importante de technologies** allant des systèmes les plus simples (systèmes embarqués indépendants) aux systèmes de systèmes (systèmes « intelligents » intégrés, systèmes communicants et interconnectés...) aussi appelés systèmes cyberphysiques (CPS).

Les systèmes embarqués sont intégrés directement dans les équipements pour la réalisation d'une tâche spécifique. Ils sont principalement composés :

- **De capteurs** qui captent et transforment une grandeur physique provenant de l'environnement extérieur (température, vitesse...) en information électrique;
- **De connectiques d'interface** qui convertissent et transmettent les informations entre les différents éléments du système ;
- **D'un processeur** qui traite l'information et transmet un ordre aux actionneurs ;
- **D'un logiciel** qui ordonne le fonctionnement du processeur par le biais d'algorithmes ;
- **D'actionneurs** qui convertissent l'ordre donné en action.

Cette architecture peut être améliorée via des ASIC ou FPGA* et par l'ajout d'une mémoire embarquée.

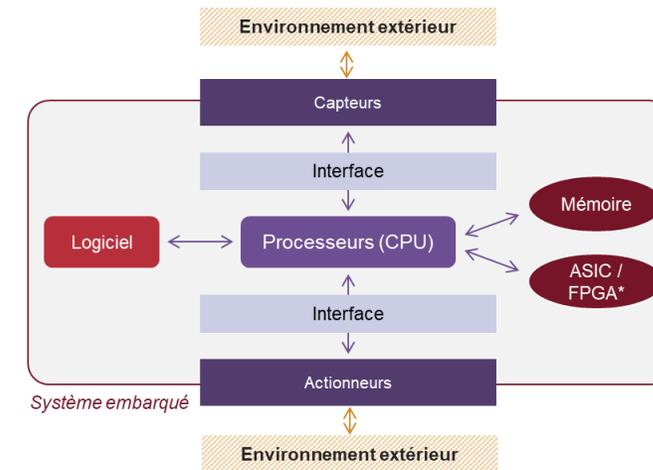
Compte tenu de leur caractère embarqué dans les équipements, ces systèmes sont soumis à de nombreuses contraintes :

- **D'espace** – à la fois en matière de mémoire et d'espace physique ;
- **De puissance et de rapidité de calcul** – pour éviter un surcoût et une surconsommation d'énergie et permettre un temps d'exécution défini ;
- **D'autonomie** – la consommation du système devant être limitée pour permettre sa plus grande autonomie ;
- **De sûreté et de fiabilité** – certains systèmes étant critiques (pertes humaines ou matérielles en cas de défaillance) leur défaillance ne doit pas advenir.

**Application Specific Integrated Circuits* (circuits dédiés à des applications spécifiques) et *Field Programmable Gateway* (circuits numériques programmables) qui permettent d'optimiser la performance et la fiabilité du système embarqué.

Schéma d'architecture traditionnelle d'un système embarqué

Source : KYU Associés

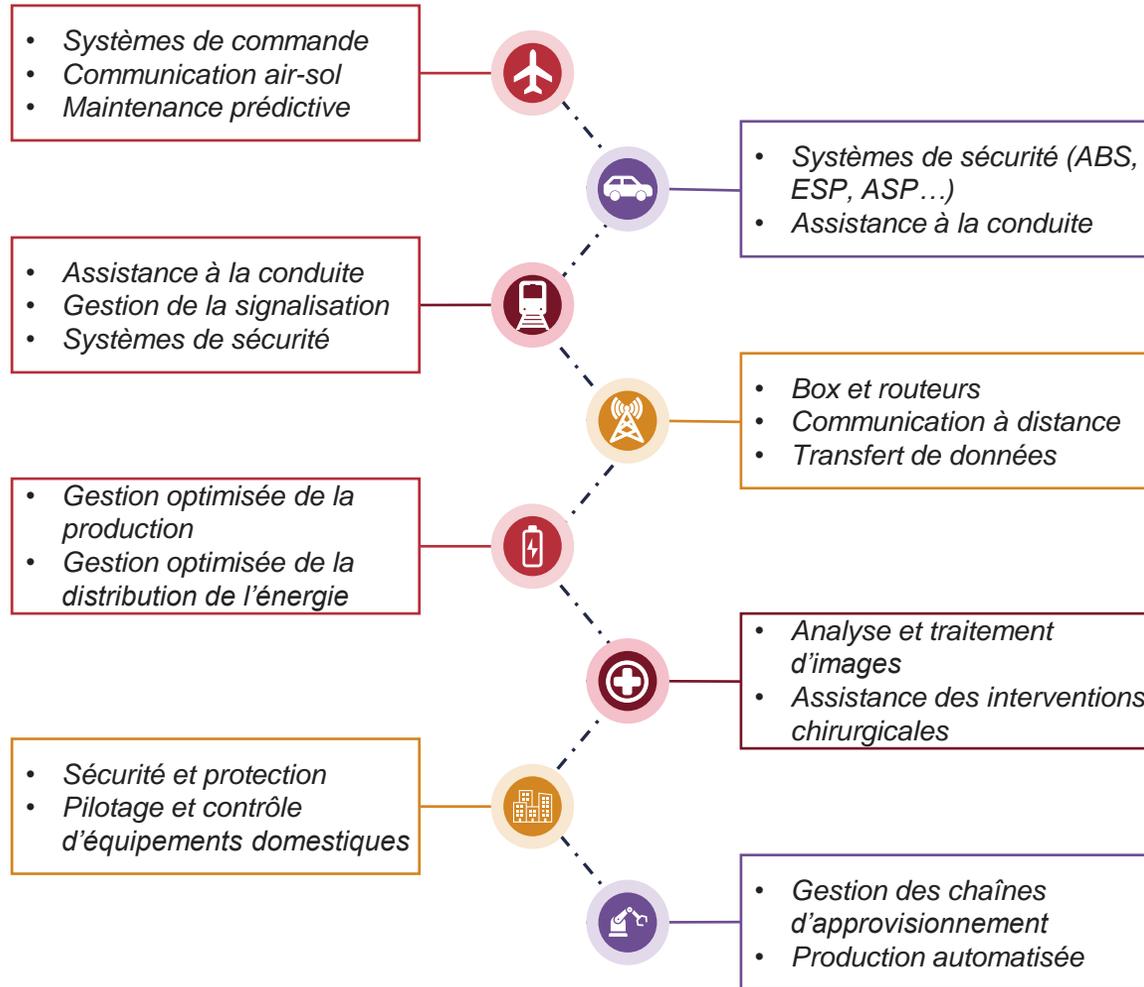


Exemple d'application - le vélo à assistance électrique

Source : Grégory Maupu, Stéphane Percot, GRAF SNT académie de Nantes

Les vélos à assistance électrique disposent de capteurs (vitesse, pédalage...) permettant de transmettre plusieurs informations au processeur qui calcule le niveau d'assistance électrique nécessaire à appliquer et le transmet au moteur qui génère le niveau d'assistance déterminé.

Exemple d'applications des systèmes embarqués dans les principaux secteurs applicatifs



Des systèmes embarqués de loisirs ou critiques présents dans l'ensemble des applications utilisées quotidiennement...

Les systèmes embarqués font partie intégrante de **nombreux biens grands publics** (smartphones, équipements domestiques, télévision...), mais ont également un **vaste champ d'applications** dans différents domaines. Si les secteurs de la **défense et des transports** (aéronautique, spatial, ferroviaire, automobile) ont depuis longtemps intégré les systèmes embarqués, les différentes vagues d'innovations technologiques ont permis à de nombreux autres secteurs d'intégrer les systèmes embarqués dans leurs produits finis. Ces derniers se trouvent ainsi désormais dans des applications de **santé** (pacemaker, scanner...), dans le **bâtiment** (équipements de domotique, gestion de la température...), mais aussi dans **l'industrie** (suivi des marchandises avec la technologie RFID, automatisation de la production...).

Si certains systèmes embarqués **augmentent le confort** des utilisateurs (connexion Wi-Fi des avions, gestion à distance d'équipements domestiques...) **d'autres sont critiques** - leur défaillance entraînant de lourdes conséquences matérielles et humaines (système ABS dans les voitures, systèmes de commandes à bord des avions...).

Et au cœur des révolutions technologiques de demain

De nombreuses révolutions technologiques reposent sur l'utilisation de SE :

- **Le développement du Big data** par le biais des capteurs et de calculateurs intégrés dans les systèmes embarqués permettant de capter et valoriser les données ;
- **L'électrification** des équipements de transport (gestion des niveaux de tension et optimisation de la distribution d'énergie...) ;
- **L'autonomisation** des équipements de transport (détection d'obstacle temps réel...) ;
- **Le développement des MedTech et de l'e-santé** (chirurgie augmentée, suivi en temps réel de l'état de santé...)
- **L'optimisation** de la production, du transport, de la distribution et de la consommation de **l'énergie** avec la multiplication des données produites ;
- Le déploiement de **l'industrie du futur** (réalité augmentée, robotisation...) ;
- Le développement de **systèmes de défense de nouvelle génération** (système de combat aérien du futur- SCAF...).

13 | NUMÉRIQUE | LES ACTEURS ÉCONOMIQUES IMPLIQUÉS DANS LES SYSTÈMES EMBARQUÉS

Une filière mobilisant des acteurs du numérique, de l'ingénierie et du conseil...

Les acteurs de la branche professionnelle du numérique, de l'ingénierie et du conseil interviennent à plusieurs étapes de la conception et de la fabrication des systèmes embarqués :

- En tant que **fournisseurs software** ils développent la **partie logicielle** des systèmes embarqués. Se distinguent parmi eux les **éditeurs de logiciels applicatifs**, les **éditeurs de logiciel système et réseau**, les **éditeurs d'outils de développement et de langage** (qui représentent respectivement 78%, 19%, 4% des effectifs des fournisseurs software, *source : Acooss, 2020*).
- En tant que **prestataires de services** auprès des fournisseurs, équipementiers, intégrateurs et constructeurs ils apportent une **expertise** sur un ou plusieurs aspects de la conception, du développement, de la gestion de projet ou de la vente des systèmes embarqués.

Et des acteurs d'autres secteurs économiques

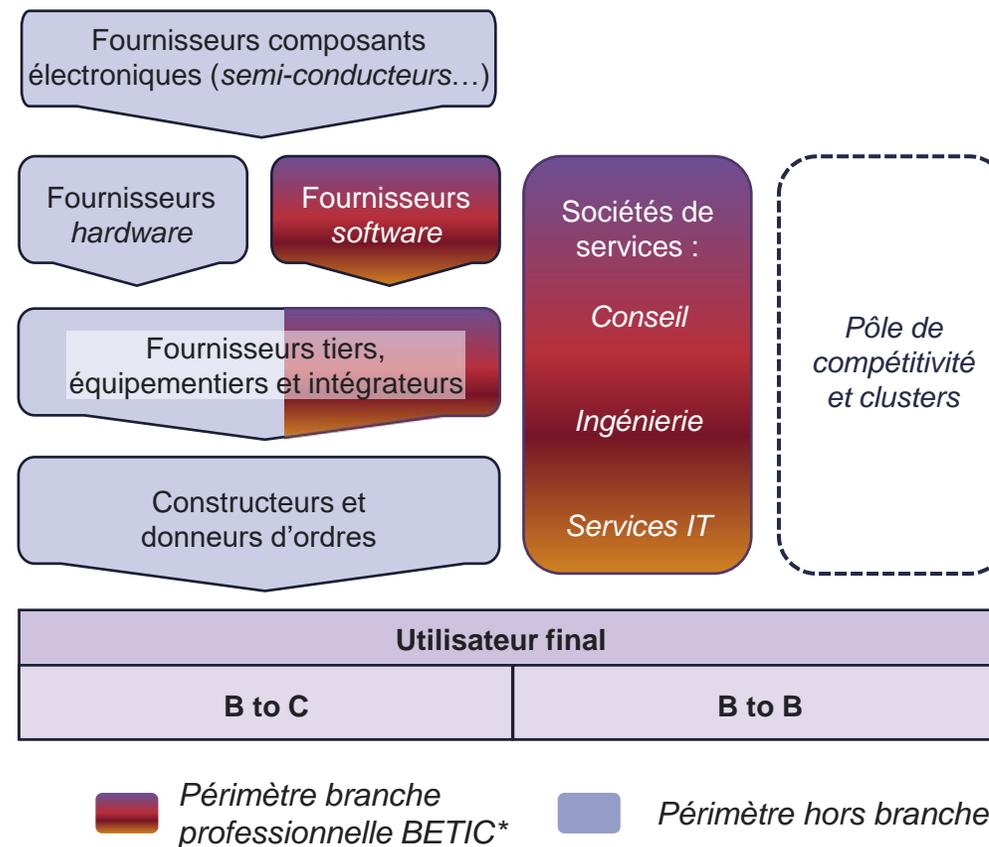
Ces acteurs sont en étroite collaboration avec d'autres secteurs d'activité et notamment ceux de l'industrie au sens large :

- Les **producteurs de matières premières** (lithium, quartz...) des industries extractives.
- Les **fournisseurs hardware** qui produisent les **composants électroniques** nécessaires à la constitution des systèmes embarqués (processeurs, capteurs, cartes électroniques...).
- Les fournisseurs tiers, équipementiers et **intégrateurs en charge de la conception, de l'architecture et de l'assemblage** des systèmes embarqués.
- Les **constructeurs et donneurs d'ordre** (automobile, défense, aéronautique...), qui conçoivent l'architecture de leurs produits et assemblent ces systèmes **pour les utilisateurs de différents secteurs applicatifs** (transport, santé, BTP...).

Ces acteurs peuvent se regrouper et/ou être soutenus par des **clusters ou de pôles de compétitivité en charge de l'animation des filières industrielles** (ex : Aerospace Valley, Minalogic, Systematic, etc.).

Chaîne de valeur de la filière des systèmes embarqués

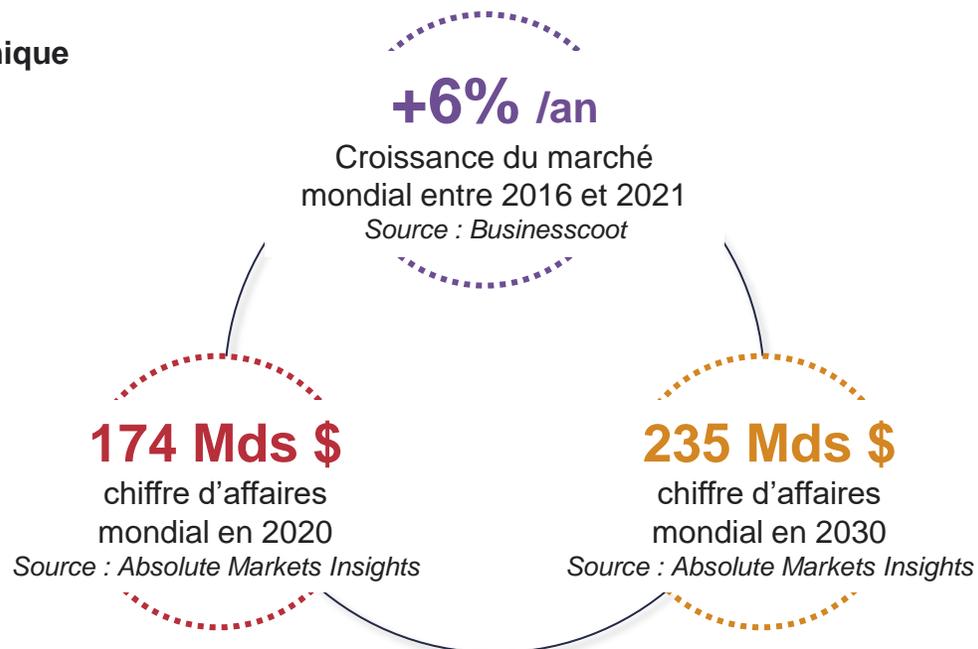
Source : KYU Associés



*Bureaux d'études techniques, cabinets d'ingénieurs-conseils et des sociétés de conseils - IDCC 1486

UNE CROISSANCE DE LA FILIÈRE À LA FOIS...

Économique



Technologique

50%

La part des logiciels dans la valeur d'une voiture en 2020
Source Les Echos



Institutionnelle

Le programme CPS 4 EU, regroupant 36 membres de 5 pays, soutenu par la Commission européenne, entend promouvoir un haut niveau d'intégration entre les acteurs de l'industrie pour favoriser l'émergence d'un réseau de PME à la pointe des technologies cyberphysiques.

Et de son impact écologique

270 TWh/an

La consommation mondiale de l'IoT en 2030 liée aux fonctions de connexion (94 TWh/an en 2020)
Source : AIE (4E EDNA), 2019

Un secteur mondial tiré par un marché en forte croissance

L'industrie des systèmes embarqués connaît une forte croissance qui devrait se poursuivre. Le marché mondial pourrait augmenter de plus de 30% entre 2020 et 2030 pour atteindre près de 235 Mds de dollars. Celui-ci est soutenu par :

- Une **plus grande couverture des réseaux** permettant le **développement de l'internet des objets** notamment dans les biens de consommation. Le nombre d'objets connectés devrait être multiplié par 2,1 entre 2020 et 2025 pour atteindre 27 Mds d'unités en circulation dans le monde (*source: IoT Analytics*).
- Une **sophistication accrue des systèmes embarqués disposant d'un champ de responsabilité et de prise de décision plus étendu** (intelligence, prise de décision...) entraînant une augmentation de leur valeur.
- Une **intégration croissante** des systèmes embarqués **dans les secteurs applicatifs** qu'il s'agisse de secteurs relativement moins matures (santé, industrie...) et de secteurs traditionnellement plus matures (aéronautique, défense, transport). La part des logiciels dans la valeur d'une voiture pourrait ainsi, à titre d'exemple, être passée de 15-35% en 2017 à presque 50% en 2020 (*Source : Les Echos, Alexandre Corjon, v-p. des systèmes d'ingénieur de Renault Nissan*).

Une spécialisation européenne dans les systèmes professionnels

Les productions européenne et française se caractérisent par la part importante des équipements embarqués professionnels (i.e à destination d'entreprises). Ainsi l'Europe représente 15% de la production mondiale des systèmes, mais 22% de la production des équipements embarqués professionnels (*source European Commission, Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, Coulon, O., Olliver, J., Dubois, G., et al., Study on the electronics ecosystem : overview, developments and Europe's position in the world : final report, Publications Office, 2020*).

Vers des systèmes communicants, interconnectés et intelligents

- Des **systèmes embarqués communicants et connectés** : les systèmes embarqués peuvent transmettre et recevoir des données d'autres systèmes au sein d'un même appareil, mais aussi avec d'autres appareils ou infrastructures.
- Des **systèmes interconnectés et intégrés dans des plateformes logicielles** : certains systèmes ne sont plus seulement une fonction numérique dans un système plus global (ex : système ABS dans l'automobile), ils sont interconnectés avec d'autres systèmes pour former une architecture logicielle complète. Il s'agit alors davantage de plateformes embarquées que de systèmes embarqués.
- Des **systèmes intelligents** : les SE peuvent intégrer des fonctions intelligentes allant de l'interaction (IA enfouie permettant d'améliorer les résultats des senseurs) à la coopération (IA de confiance capable de prendre des décisions).
- Des **systèmes modulaires** : la conception et le développement des systèmes embarqués s'appuient désormais sur des modules préconçus et des architectures modulaires intégrées (IMA – *Integrated modularity architecture*).

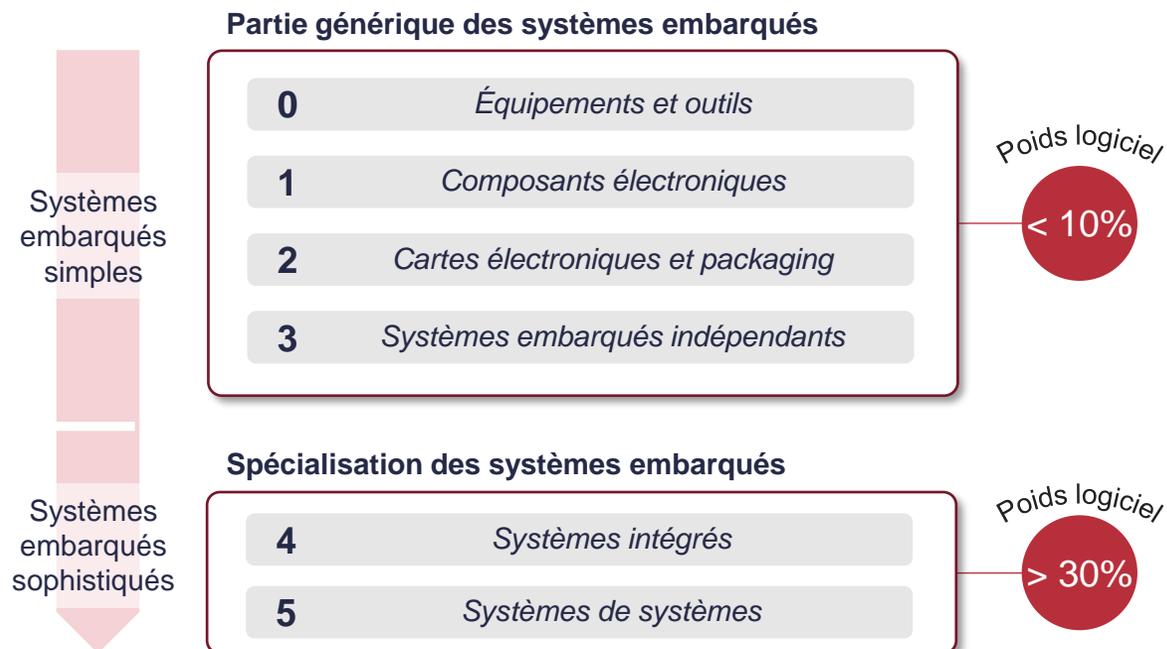
La sophistication croissante des systèmes entraîne une évolution de ces derniers vers des **systèmes cyberphysiques** c'est-à-dire des systèmes interconnectés, communiquant les uns avec les autres et intégrant de l'intelligence artificielle afin de contrôler et piloter des processus physiques.

Une dynamique entraînant une augmentation de la part du software et une sophistication des fonctions et des architectures

Cette sophistication des SE rend plus importante la part dédiée au software par rapport au hardware. Alors que la valeur des systèmes embarqués est aujourd'hui principalement concentrée dans la partie hardware et dans les fonctions simples (cf. graphique ci-contre échelle de 0 à 3), les fonctions complexes des systèmes devraient connaître une forte croissance (cf. graphique ci-contre échelle de 4 à 5). La notion d'**Operating System** (OS) devient de plus en plus prégnante dans la filière des systèmes embarqués, ce qui renforce encore davantage le **besoin de standardisation** dans le développement des solutions en et systèmes embarqués.

Des systèmes embarqués simples vers des systèmes embarqués plus sophistiqués

Source : Artemis - *Embedded Intelligence, Trends and challenges, 2019, traitement KYU*



À l'échelle mondiale, les étapes 0 à 3 représentent en 2018 une production à 1 700 Mds d'€ contre 500 Mds d'€ pour les étapes 4 et 5. En 2025 les étapes 0 à 3 devraient arriver à maturité et voir leur chiffre d'affaires doubler (3 200 Mds d'€) alors que les étapes 4 et 5 devraient connaître une très forte croissance, en multipliant la valeur produite par dix (11 500 Mds d'€ en 2025, source Artemis - *Embedded Intelligence, Trends and challenges, 2019*).

Des systèmes embarqués participant à la transition écologique...

- Les systèmes embarqués intègrent des technologies essentielles dans le cadre de **l'électrification des véhicules de transport** (gestion, distribution de l'énergie aux différents systèmes des véhicules).
- Les **smartgrid** et **smartbuilding** permettant d'optimiser la consommation énergétique reposent sur l'utilisation de systèmes embarqués.
- **L'évolution des modèles agricoles** vers une consommation plus raisonnée en eau, pesticide, engrais... s'appuie notamment sur l'intégration de technologies de l'information (capteurs, robotique...).

... à l'évolution des mobilités...

- La plupart des innovations technologiques des véhicules permettant d'aller vers des **véhicules plus connectés, plus autonomes et plus confortables** (Wi-Fi à bord...) reposent sur le fonctionnement et l'intégration de systèmes embarqués qui permettent notamment la connexion des véhicules avec leur environnement.
- **L'évolution des modèles de mobilité** (la mobilité comme service par exemple) favorisant l'intermodalité des transports s'appuie également sur des systèmes embarqués (capteurs, billettiques unifiées, outils de planification...).

... et contribuant au renforcement de la souveraineté, de la sécurité et de la sûreté

- Les systèmes embarqués sont à la fois **au cœur des systèmes de défense** actuels (drones, équipements interconnectés, systèmes de camouflages...) et **au cœur de la transformation et de la modernisation de l'industrie** nationale vers l'industrie 4.0 (robotique, intelligence embarquée, entrepôts autonomes...).
- Les systèmes embarqués sont également **très présents dans des équipements critiques** sur lesquels repose la **sécurité des personnes** (équipements médicaux, systèmes d'aides à la conduite des véhicules...).
- À la question de la sûreté et de la fiabilité des systèmes embarqués, se sont ajoutées les **problématiques de cybersécurité** de ces systèmes dans des équipements toujours plus connectés.

DES SYSTÈMES EMBARQUÉS AU CŒUR...



...DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

KEMTAG
AGRICOLE

L'entreprise [KEMTAG](#) a développé une solution d'odomètre connecté appelée OGO permettant de mesurer l'activité réelle des outils agricoles et de remonter ces informations.



...DE LA MOBILITÉ DES PERSONNES

outsight

[Outsight](#) a développé un préprocesseur LiDAR facilitant l'utilisation de capteurs LiDAR 3D, technologies particulièrement utilisées dans le cadre de l'automatisation de véhicules.



...DES ENJEUX DE SOUVERAINÉTÉ ET DE SÛRETÉ

cetrac

[Cetrac](#), a conçu et développé des produits de mise en réseau FPGA et ASIC IP pour des architectures distribuées embarquées notamment pour le secteur de la défense.

17 | NUMÉRIQUE | UNE AUGMENTATION DU NIVEAU DE MATURITÉ DES SECTEURS APPLICATIFS

	Dynamique marché	Facteurs de développement	Caractéristiques marché
<i>Secteurs historiques</i>			
 AÉRONAUTIQUE, DÉFENSE, SPATIAL		<ul style="list-style-type: none"> Connectivité accrue des appareils Électrification 	<i>Principaux marchés des SE à la fois en termes de volume et d'innovations technologiques.</i>
 AUTOMOBILE		<ul style="list-style-type: none"> Véhicule autonome Véhicule connecté Électrification 	
 TRANSPORT LOURD DONT FERROVIAIRE		<ul style="list-style-type: none"> Véhicule autonome Véhicule connecté Confort passager 	
<i>Secteurs en développement</i>			
 TÉLÉCOMS		<ul style="list-style-type: none"> Développement des nouveaux réseaux (5G...) 	<i>Marchés relativement importants caractérisés par le développement de nouvelles applications des SE.</i>
 ÉNERGIE		<ul style="list-style-type: none"> Gestion intelligente de l'énergie (<i>smart-grid</i>) 	
 INDUSTRIE		<ul style="list-style-type: none"> Industrie 4.0 Automatisation et robotisation 	
<i>Secteurs émergents</i>			
 BÂTIMENT & VRD*		<ul style="list-style-type: none"> Domotique (<i>smart-home</i>) Smart-grid 	<i>Marchés où l'intégration des SE demeure plus limitée, mais caractérisés par de nombreuses innovations technologiques.</i>
 MÉDICAL		<ul style="list-style-type: none"> E-santé MedTech 	
 AGRICULTURE		<ul style="list-style-type: none"> Mécanisation 	

En 2014, un niveau de maturité très hétérogène des secteurs applicatifs

En 2014, 3 types de secteurs avaient été distingués parmi les secteurs applicatifs des systèmes embarqués (*source : OPIIEC, 2014*) :

- Les **secteurs historiques ayant un sentiment d'appartenance fort** à la filière – l'aéronautique, la défense, l'automobile et les transports lourds sont les secteurs les plus matures du fait de l'intégration ancienne des systèmes embarqués dans les équipements.
- Les **secteurs moins matures ayant un sentiment d'appartenance moyen** à la filière – les télécoms, l'énergie et la santé qui intégraient des systèmes embarqués de manière plus récente.
- Les **secteurs moins matures ayant un sentiment d'appartenance faible** à la filière – le bâtiment et l'industrie qui intégreraient ponctuellement les systèmes embarqués.

En 2021, une filière toujours tirée par les secteurs applicatifs historiques...

L'aéronautique, la défense, l'automobile et le transport lourd continuent d'être des **moteurs pour la filière**. Alors le marché est notamment tiré par l'industrie automobile, ces secteurs sont confrontés à des problématiques et enjeux technologiques (connectivité, intelligence artificielle, cybersécurité...) de pointe qui tirent l'innovation dans l'embarqué.

Mais également soutenue par une acculturation croissante des autres secteurs applicatifs aux systèmes embarqués

Toutefois, le niveau d'acculturation des secteurs encore peu matures en 2014 s'est fortement renforcé. Les progrès technologiques réalisés sur la période ont permis de **diversifier les applications** à destination de ces secteurs. Le développement des équipements intelligents (*smart-grid, smart cities, industrie 4.0*) et des besoins de connectivité (e-santé...) participe à **l'élévation générale du niveau de maturité de ces secteurs** et notamment de l'industrie et de la santé.



LES APPLICATIONS DES SYSTÈMES EMBARQUÉS :

Les systèmes embarqués peuvent être mobilisés tout au long des activités médicales :

- En phase de **diagnostic** notamment à travers le traitement et l'analyse d'images médicales (radios, scanners, échographies...);
- Lors des **interventions médicales** à travers la chirurgie assistée par ordinateur et la robotisation de certaines opérations ;
- Dans la **prévention et le suivi des maladies** à travers des équipements connectés permettant de mesurer l'état de santé des patients et son évolution ;
- Dans les **dispositifs de traitement** avec des équipements permettant d'assurer certaines fonctions médicales (ex : pacemaker).

LES DYNAMIQUES DE MARCHÉ :

L'utilisation des systèmes embarqués dans le secteur médical est soutenue par :

- Le **développement de la MedTech et de l'e-santé** qui utilisent la technologie et notamment les nouvelles technologies de l'information et de la communication pour soigner et améliorer la vie des patients ;
- **L'évolution du système médical** favorisant l'ambulatoire et le suivi à distance des patients ;
- Le **vieillessement de la population** requérant des soins préventifs et un suivi accrus des patients.

Le **marché mondial** de l'IoT pourrait avoir été **multiplié par 4 en 5 ans** et atteindre 158 milliards d'€ en 2022 – dont 52 milliards d'€ pour les dispositifs médicaux connectés (*source : Deloitte, 2018 d'après MarketsandMarket 2017*).

ILLUSTRATION D'APPLICATION :



Corwave a conçu une pompe cardiaque intelligente reproduisant le flux sanguin propre au cœur natif et commandée en temps réel par des algorithmes embarqués.

LES APPLICATIONS DE DEMAIN

Les systèmes embarqués pourraient participer :

- À **l'amélioration des diagnostics** grâce à de nouveaux algorithmes décisionnels et à l'intégration de l'intelligence artificielle.
- Au déploiement **d'organes artificiels** permettant d'éviter les greffes.
- Au **développement de mini-robots interconnectés** pour assister les chirurgiens lors d'interventions de **chirurgie augmentées**.
- À **l'amélioration de la médecine prédictive** grâce au suivi en temps réel des données de santé et l'identification des risques.
- Au renforcement de la **télémédecine**.

LES ENJEUX DES SYSTÈMES EMBARQUÉS

- L'intégration et le développement de **l'intelligence artificielle embarquée** dans les systèmes médicaux notamment grâce à des modèles et algorithmes de modélisation parcimonieuse.
- La **cybersécurité d'équipements critiques** et la **sécurisation de données** hautement sensibles dans le cloud et en parallèle la question de **l'accessibilité et de la propriété de ces données** compte tenu de leur confidentialité.
- La **fiabilité et la sécurité** de dispositifs critiques.
- Le développement de la **connectivité des systèmes** embarqués médicaux.



LES APPLICATIONS DES SYSTÈMES EMBARQUÉS :

Les systèmes embarqués sont notamment présents dans :

- **L'assistance au pilotage et les systèmes et instruments de navigation** – les systèmes et calculateurs embarqués permettent de gérer automatiquement les équipements de l'appareil à partir des commandes du pilote
- **Le confort passager** – *passenger entertainment* – au travers des équipements de divertissement (écrans et films proposés) et de la gestion de la température.
- **Les systèmes de communication** à travers notamment le système ACARS (*Aircraft Communication Addressing and Reporting System*) qui permet la communication entre les avions et le sol, mais également entre différents équipements militaires comme dans le système de combat aérien du futur (SCAF).
- **La maintenance et le suivi des appareils** avec des systèmes mesurant l'état des équipements en temps réel.
- **La surveillance et le contrôle d'armes à distance** (radars, systèmes de détection d'intrusion périmétrique, systèmes de vols et guidage des missiles...)

LES DYNAMIQUES DE MARCHÉ :

L'utilisation des systèmes embarqués dans le secteur aérien est soutenue par :

- **La croissance du marché de l'aéronautique** - malgré la crise du COVID, les commandes devraient continuer à croître.
- Le développement de la **maintenance prédictive**, des **avions connectés** et de **l'électrification des appareils** qui requièrent davantage de systèmes embarqués.
- Le développement de **nouveaux appareils aéronautiques** (drones, taxis volants...) nécessitant plus de systèmes embarqués que les appareils traditionnels.

ILLUSTRATION D'APPLICATION :



Hionos propose un système d'autopilote pour les drones répondant aux normes de l'aéronautique en matière de logiciels critiques et permettant de réaliser des opérations critiques en milieu urbain et mobilisable pour les véhicules volants (taxis, aircrane...)

LES APPLICATIONS DE DEMAIN

- Le **cloud et la déportation des données** et de leur traitement au sol pourraient se développer dans les prochaines années.
- **L'assistance au pilotage accrue et l'autonomisation** des appareils en vol devraient générer une sophistication des architectures et systèmes embarqués tout en intégrant de l'intelligence artificielle dans les systèmes.
- **L'électrification accrue des appareils** devrait renforcer les besoins en systèmes embarqués de puissance pour permettre l'optimisation et l'alimentation en énergie des équipements à bord.

LES ENJEUX DES SYSTÈMES EMBARQUÉS

- **L'évolution des processeurs** avec le passage vers la technologie RISC-V (open source) qui permet notamment de réduire la dépendance à certains fournisseurs, mais également de mieux appréhender l'ensemble des limites des processeurs hôte (meilleure maîtrise de la sécurité...).
- **La connectivité des systèmes** embarqués pour renforcer les échanges sol-air.
- **La prise en compte de la double contrainte sûreté/fiabilité - cybersécurité** avec le développement des équipements connectés et du cloud. L'articulation de ces deux aspects des systèmes requiert un besoin d'intégration de la cybersécurité dès la phase de design des produits ainsi qu'une connaissance fine des normes en vigueur.
- Un besoin accru sur les systèmes embarqués liés à la **gestion de la puissance et de l'énergie** et des systèmes de propulsion électrique.



LES APPLICATIONS DES SYSTÈMES EMBARQUÉS :

Les systèmes embarqués sont notamment présents dans :

- Les **systèmes de motorisation et de transmission** à travers notamment le contrôle de l'injection et commande de boîte de vitesses...
- Les **systèmes de sécurité active** tels que les systèmes de contrôle des trajectoires (*Electronic Stability Program, Anti-Slip Régulation, Système antiblocage des roues...*)
- Les **systèmes de sécurité passive** avec la ceinture de sécurité et les air bag
- La **vie à bord** à travers le contrôle de la température interne, les tableaux de bord numérisés, l'accès aux informations du trafic et de la navigation...

Les systèmes embarqués dans le secteur se caractérisent par leur **intégration à une architecture complexe** et leur **forte interaction** avec les autres systèmes. Ils sont soumis à de fortes contraintes de fiabilité/sécurité, de coûts, de consommation énergétique, de poids et de temps réel.

LES DYNAMIQUES DE MARCHÉ :

L'utilisation des systèmes embarqués dans le secteur automobile est soutenue par :

- **La connectivité** croissante des véhicules notamment portée par leur autonomisation et de nouveaux dispositifs de sécurité (détection de somnolence...)
- **L'électrification des véhicules** nécessitant de nouveaux systèmes embarqués pour la gestion de l'énergie à bord

Les ventes de véhicules connectés augmentent de 24% par an et devraient représenter 155,9 Mds de \$ en 2022 au niveau mondial (*source : Deloitte, 2018 d'après MarketsandMarket 2017*). Les livraisons mondiales de véhicules connectés pourraient atteindre 73 Ms d'unités en 2023 (vs 51 Ms en 2019, *source : Deloitte, 2018 d'après IDC*).

ILLUSTRATION D'APPLICATION :



[Valeo](#) commercialise un scanner LIDAR doté de capacités de perception et d'analyse permettant d'identifier et classer les objets environnants tout en mesurant et anticipant leurs déplacements.

LES APPLICATIONS DE DEMAIN

- Les systèmes de conseil et d'assistance à la conduite devraient se renforcer et progressivement se diriger vers des **véhicules totalement autonomes**.
- Le déploiement des véhicules autonomes repose sur le développement des **liaisons de communication sans fil** pour permettre l'échange d'informations entre les véhicules, leur environnement et les infrastructures routières.
- **L'électrification des véhicules** génère des besoins sur les systèmes embarqués en charge de la gestion et de la distribution de l'énergie.

LES ENJEUX DES SYSTÈMES EMBARQUÉS

- Le développement et l'intégration de **l'intelligence embarquée**
- Le développement des **systèmes d'analyse d'image**
- Le **renforcement de la connectivité** des véhicules et des systèmes embarqués et le développement de **standards de connexion**
- **L'intégration du edge computing** pour répondre aux besoins de temps réel impliqués par les véhicules autonomes
- La **sophistication des architectures** logicielles et systèmes
- Le renforcement de la **cybersécurité** des systèmes dans des véhicules plus connectés.
- La gestion du **coût** des systèmes embarqués dans la construction des véhicules et lors de leur exploitation.
- Le **renforcement des contraintes de consommation énergétique** du fait de la baisse de l'énergie disponible dans les véhicules électriques (au regard des véhicules thermiques) et de l'augmentation des capacités de calcul embarqué des systèmes.



LES APPLICATIONS DES SYSTÈMES EMBARQUÉS :

Les systèmes embarqués dans les applications industrielles sont notamment présents dans :

- **La gestion de la chaîne d'approvisionnement et la gestion des entrepôts :** suivi des commandes et demandes clients, suivi des traitements, gestion des flux et des stocks...
- **La gestion des lignes de production :** contrôle et optimisation des lignes de production en temps réel, collecte et gestion des données de production...
- **La maintenance des systèmes :** évaluation de l'état des équipements, développement de la maintenance prédictive et surveillance en temps réel équipements de production

LES DYNAMIQUES DE MARCHÉ :

L'utilisation des systèmes embarqués dans le secteur des systèmes industriels est soutenue par :

- **Le développement de l'industrie 4.0 :** les systèmes embarqués sont au cœur du développement de l'industrie 4.0 qui repose sur l'intégration de capteurs tout au long des chaînes de production et de la chaîne logistique pour contrôler en temps réel la production et optimiser cette dernière.
- **La robotisation :** l'automatisation et la robotisation de la production nécessitent d'intégrer des équipements industriels plus connectés leur permettant un certain degré d'autonomie dans l'exécution des tâches qui leur sont incombés.

ILLUSTRATION D'APPLICATION :



mirSense a développé et produit un système d'analyse multigaz permettant d'identifier et de mesurer en temps réel les gaz présents pour optimiser les procédés industriels, détecter d'éventuels rejets ou fuites et de garantir la qualité de l'air.

LES APPLICATIONS DE DEMAIN

Le développement de l'industrie 4.0 repose en partie sur :

- La multiplication de l'**internet des objets interconnectés** entre eux.
- Le **cloud manufacturing** permettant de collecter et traiter d'importantes quantités de données pour suivre et optimiser les processus de production.
- **L'intégration de l'intelligence artificielle** dans les systèmes embarqués afin d'optimiser en temps réel la production, la gestion des stocks ou encore pour planifier les opérations de maintenance.

LES ENJEUX DES SYSTÈMES EMBARQUÉS

- Le développement de **solutions intelligentes** reposant sur du *machine learning* et du *deep learning* permettant d'optimiser la production.
- La création d'**ERP communicants** permettant de superviser la production en temps réel et mettre en place une maintenance prédictive.



LES APPLICATIONS DES SYSTÈMES EMBARQUÉS :

Les systèmes embarqués dans les bâtiments sont notamment présents :

- **Le pilotage et le contrôle de certains équipements domestiques** à travers la commande des stores, les serrures à badge ou à code...
- **La gestion de l'énergie** à travers les systèmes de programmation de chauffage et les systèmes de gestion de l'éclairage (détection de mouvement, minuteur...).
- **La sécurité et la protection** à travers les systèmes d'alarmes et capteurs (détecteurs de fumée, détecteurs de mouvement...) et de vidéosurveillance.
- **La gestion technique des bâtiments** qui permet de superviser l'ensemble des équipements installés dans un bâtiment (éclairage, alarmes...).

LES DYNAMIQUES DE MARCHÉ :

L'utilisation des systèmes embarqués dans le bâtiment est soutenue par :

- **Le développement des bâtiments intelligents** (*smart home, smart cities...*) qui reposent sur l'enregistrement et le traitement de données pour optimiser le fonctionnement d'équipements. À une l'échelle de quartiers/villes, l'interconnexion entre équipements permet leur gestion efficace et coordonnée.
- **La nécessité d'une gestion efficace de l'énergie** qui entraîne le développement des bâtiments à haute efficacité énergétique. Ils requièrent un réseau de systèmes embarqués permettant d'optimiser la production et la consommation énergétique.
- **L'accompagnement des situations de handicap et de dépendance** repose en partie sur le développement d'équipements permettant de sécuriser et faciliter les déplacements des occupants (volets électriques, détecteurs de présence...).

ILLUSTRATION D'APPLICATION :



Intent Technologies a conçu une plateforme valorisant les données d'un patrimoine immobilier et permettant le suivi, l'interaction et le pilotage des équipements d'un bâtiment et/ou d'un territoire

LES APPLICATIONS DE DEMAIN

Le renforcement de la connectivité et de l'intelligence des bâtiments tout en permettant un passage à une échelle supérieure (quartiers, villes) se concrétisera notamment par :

- Le **développement de l'immo-tique** c'est-à-dire des systèmes de systèmes domotiques à l'échelle de grands ensembles.
- Le développement de solutions permettant une **adaptation en temps réel** en fonction des besoins des occupants.
- **L'intégration accrue de systèmes intelligents** dans l'ensemble des domaines de gestion et de maintenance des bâtiments et des équipements (gestion de l'éclairage, des déchets, maintenance prédictive multitechnique...).

LES ENJEUX DES SYSTÈMES EMBARQUÉS

- Le renforcement de la **modularité et de l'interopérabilité des systèmes** pour permettre leur interconnexion et le partage des données.
- L'intégration **d'applications intelligentes et en temps réel** dans les systèmes embarqués.
- L'intégration des **problématiques de cybersécurité** dans la conception et le développement des systèmes domotiques et immotiques.

Partie 3

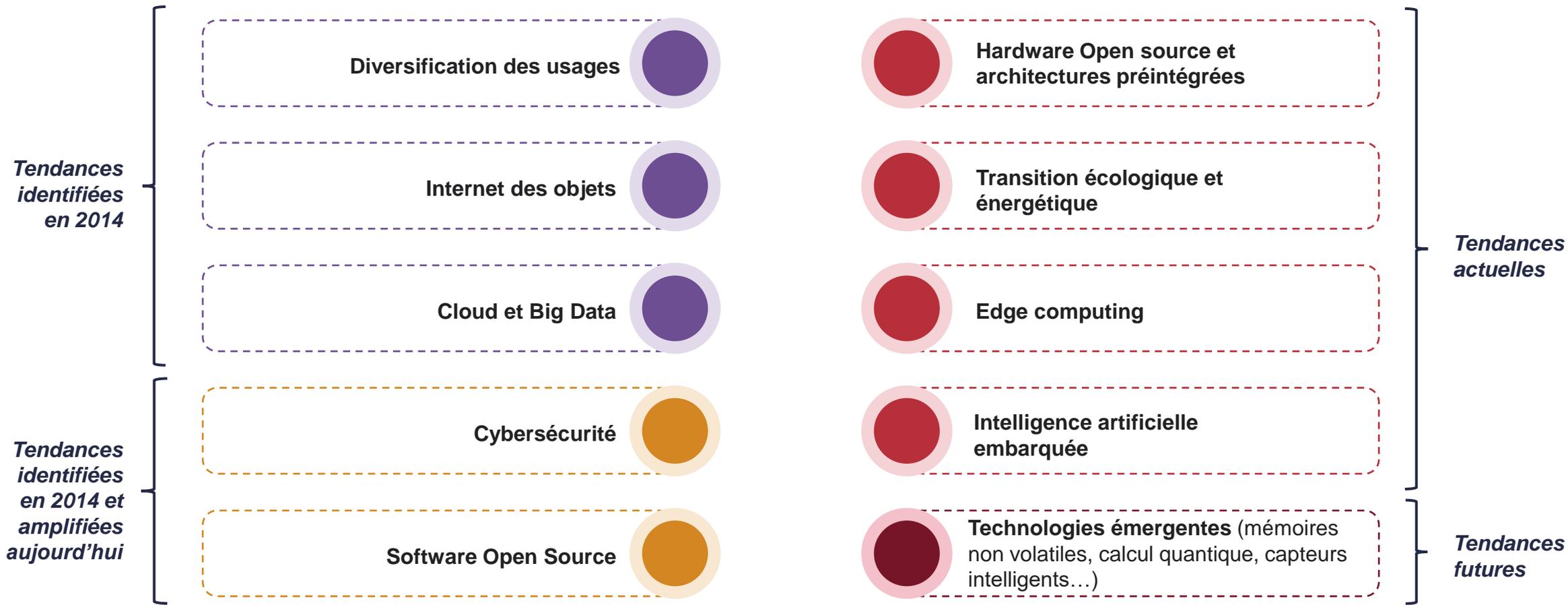
LES ÉVOLUTIONS DES SYSTÈMES ET LEURS IMPACTS SUR LES MÉTIERS ET LES COMPÉTENCES

- Les évolutions des systèmes embarqués depuis 2014
- Impacts sur les métiers et évolutions



Retour au
sommaire

Plusieurs évolutions majeures impactent le secteur depuis 2014. Parmi elles, se distinguent des tendances déjà identifiées en 2014 arrivées à maturité entre-temps (●), les tendances identifiées en 2014 qui se sont amplifiées depuis (●), les nouvelles tendances aux conséquences majeures (●), et enfin, de potentielles évolutions futures de nature à causer des évolutions métiers dans les prochaines années (●).





De 161 millions de terminaux équipés en 2018, l'Intelligence artificielle embarquée devrait croître très fortement pour atteindre 2,5 milliards de systèmes concernés en 2025 (source: *Tractica*). Alors que l'objectif de la France est de capter 15% du marché mondial de l'IA embarquée d'ici 2025 (Source: *Stratégie Nationale pour l'Intelligence artificielle, 2018-2025*) le marché mondial des puces électroniques pour l'IA embarquée pourrait tripler d'ici les 5 ans et avoisiner les 50 milliards de dollars (source: *Global Market Insights*).

L'IA EMBARQUÉE, UNE NOUVELLE GÉNÉRATION DE SYSTÈMES EMBARQUÉS...

L'augmentation de la capacité de calcul des processeurs et le développement des technologies d'intelligence artificielle permettent aujourd'hui d'intégrer de l'intelligence directement dans les systèmes embarqués. Trois niveaux d'intelligence embarquée répondant à différents besoins sont identifiables :

- **L'intelligence artificielle enfouie**, proche de l'algorithmie traditionnelle, mais capable d'augmenter ses capacités, permet d'améliorer les résultats des senseurs (traitement de signal, amélioration de contexte, amélioration d'image...).
- **L'intelligence artificielle pour la coopération** permettant d'assister l'homme dans la prise de décision à travers la sélection d'un optimum global (analyse et comparaison d'image, comparaison d'image, identification de points de référence...).
- **L'intelligence artificielle collaborative**, en interaction avec l'homme, permettant de prendre directement des décisions.

Ces différentes briques sont indispensables à de nombreuses applications, au premier rang desquelles la **voiture autonome** qui intègre l'IA embarquée toutes les étapes de son fonctionnement (freinage, détection de mouvements, changement de trajectoire...).

QUI FAIT ÉVOLUER L'ENSEMBLE DES COMPOSANTS NÉCESSAIRES À CES SYSTÈMES

Cette nouvelle révolution de l'intelligence artificielle nécessite d'adapter à la fois la partie hardware (avec notamment des processeurs spécialisés dans l'intelligence artificielle), la partie software (machine learning, data science...) ainsi que l'architecture de ces systèmes (évolution de l'interface entre homme et système, architectures plus sophistiquées...).



BESOINS EN MÉTIERS

- Le métier **d'ingénieur expert en intelligence artificielle embarquée** a récemment émergé et se développe fortement
- Les métiers liés à **l'expertise du traitement des données** se développent : *data scientist, data engineer*

BESOINS EN COMPÉTENCES

- **Les ingénieurs SE** doivent acquérir des compétences en *machine learning*, en traitement automatique du langage naturel, en *data science* pour développer des solutions d'IA embarquée. Ils doivent disposer d'une connaissance des hardwares en IA pour intégrer, sélectionner et programmer des processeurs spécialisés IA.
- Alors que l'IA enfouie génère des besoins en compétences en **algorithmie IA**, l'IA de coopération et de collaboration génère des besoins en compétences en interface homme-machine et homme-système (**IHM-IHS**) et en **IA de confiance** permettant d'évaluer le niveau de confiance dans les décisions de l'IA.
- **Les architectes SE** doivent pouvoir intervenir sur de nouvelles architectures de traitement plus adaptées à l'IA.
- **Les ingénieurs hardware** doivent maîtriser les bases de l'IA (optimisation du système, apports de l'IA...) pour anticiper son intégration dans les SE dès la conception du hardware.
- L'IA fait évoluer les compétences de **vérification, de test et de certification** pour les adapter à ces nouveaux systèmes et optimiser les opérations de vérification et validation.

IOIO
IOIO

La Commission européenne estime qu'aujourd'hui 80% des flux de données sont traités dans le cloud, contre 20% localement. Un rapport qui pourrait s'inverser d'ici 2026 (source : *Stratégie nationale pour l'IA*). Le marché des puces IA spécialisées pour l'edge pourrait progresser de 30% par an d'ici à 2026 (source : L'Embarqué, 2021).

UNE CONCENTRATION DES PUISSANCES DE CALCUL AU PLUS PRÈS DES SYSTÈMES

La multiplication des données à collecter et analyser par les systèmes embarqués (notamment du fait du développement de l'intelligence artificielle) ainsi que les exigences d'opérer en temps réel notamment pour les systèmes critiques imposent d'optimiser la gestion de ces données en les traitant **directement là où elle est produite au niveau des systèmes embarqués**. C'est cette relocalisation de la puissance de calcul au plus près de la donnée que permet l'*edge computing*.

En ramenant le calcul et le stockage des données à proximité des capteurs, **les délais de réponse sont réduits** libérant la bande passante pour les remontées de données réellement indispensables. Le premier tri des données permet également de **réduire les capacités de stockage nécessaires sur le cloud** ainsi que la consommation énergétique des serveurs.

Cette évolution est rendue possible par le développement de processeurs dédiés, qui :

- **Interceptent et traitent les données** en provenance des collecteurs
- **Analysent** ces données via des logiciels d'intelligence artificielle
- **Font l'interface** entre les systèmes embarqués et le cloud.

LES LEVIERS DE DÉVELOPPEMENT DE L'EDGE COMPUTING

La **complexité d'opérer des mises à jour « en edge »** est un frein majeur à son développement à grande échelle et pose notamment le problème d'une obsolescence accélérée des terminaux équipés. De même, sa généralisation suppose de répondre à plusieurs défis :

- Développer des procédés capables de supporter des flux de données très importants et des capacités d'IA embarquées consommant largement moins d'énergie qu'actuellement ;
- Améliorer l'efficacité de la partie logicielle des systèmes embarqués ;
- Trouver les moyens d'engager une baisse des coûts et du temps de développement des systèmes embarqués.



BESOINS EN MÉTIERS

- Le développement du *edge computing* a un impact transverse aux métiers existants dans les systèmes embarqués. Il **ne génère pas de nouveaux métiers**.

BESOINS EN COMPÉTENCES

- Les **architectes SE** doivent développer des compétences relatives à l'**architecture distribuée** et aux **processeurs manycore** pour intégrer la problématique de l'*edge* et de l'intégration de calculateurs plus puissants dans la conception des SE.
- Les métiers impliqués dans le **développement des logiciels** voient leurs **compétences en optimisation soft se renforcer** pour faire face aux contraintes plus fortes en termes de mémoire et de temps de traitement liées au edge.
- Les **ingénieurs SE** doivent également maîtriser la **distribution multicalculateurs** ainsi que les **calculateurs de dernière génération**.
- De manière générale la question de la définition de l'endroit où se réalise le calcul se renforce (cloud ou edge) ce qui requiert **davantage de compréhension du système et de son architecture, notamment dans l'étape de design des produits**. Disposer d'une **vision transverse** des systèmes devient indispensable pour l'ensemble des métiers SE afin de mettre en correspondance fonctions attendues et moyens techniques.
- La cybersécurité renforce également le **besoin en connaissance des normes** dans la conception des produits.



Déjà identifié comme facteur d'évolution majeur par l'étude de 2014, le besoin de cybersécurité des systèmes embarqués s'est renforcé. Ainsi, d'ici 2026, la sécurité de l'internet des objets pourrait générer près de 17 milliards de dollars de chiffre d'affaires dans le monde (source : L'Embarqué, 2021).

D'UN BESOIN DE SÛRETÉ À UN BESOIN DE SÛRETÉ ET DE CYBERSÉCURITÉ

Le passage des systèmes embarqués traditionnels aux systèmes communiquant et connectés à leur environnement démultiplie les échanges de données sur des circuits ouverts, qu'il s'agisse d'échanges avec le *cloud*, via le Wi-Fi ou sur tout autre réseau. En parallèle, la généralisation des systèmes embarqués dans des domaines applicatifs stratégiques (médical, défense...) a **renforcé la criticité des données échangées**.

Dans ce contexte, **l'opportunité et donc la probabilité d'actions malveillantes a considérablement augmenté**, rendant impératif le développement de moyens efficaces de détection et de lutte contre les cyberattaques. Ces différentes évolutions obligent les concepteurs de systèmes embarqués à **prendre en compte les risques cyber, en parallèle des exigences toujours plus prégnantes de sûreté de fonctionnement** (safety - fonctionnement normal et sûr d'un système). L'articulation entre les technologies cyber, qui mettent à jour les systèmes pour les protéger, et la sûreté, qui qualifie le système lors du design pour limiter ses modifications, devient un enjeu pour les SE.

DES ENJEUX TECHNOLOGIQUES ET NORMATIFS

Outre le renforcement de la sécurité des systèmes embarqués par le développement de nouvelles architectures réseau, plusieurs solutions technologiques sont actuellement en phase de développement ou d'opérationnalisation. Par exemple, la **cryptographie homomorphe** permet de traiter les données transmises par les systèmes embarqués sans les décrypter, les rendant plus difficilement piratables.

Autre enjeu majeur de la lutte contre la cybercriminalité, **l'édition et la diffusion de normes garantissant un niveau minimal de protection des données dans les systèmes embarqués** connaissent une vraie dynamique (par exemple, la norme européenne EN 303 645 sur la cybersécurité des objets connectés, adoptée en 2020). Le développement d'autres normes de certification (i.e. ISO 27001) voire de labels privés de certification peuvent également participer de cette priorisation générale des enjeux de cybersécurité.



BESOINS EN MÉTIERS

- Des profils **d'ingénieurs spécialisés en cybersécurité** peuvent intervenir dans la conception amont et le développement des systèmes embarqués.
- Le **rôle de safety manager logiciel** peut également se développer pour veiller à ce que les processus et les outils soient en place et pour contribuer à la diffusion d'une culture de la sûreté dans les équipes notamment dans la phase de conception.

BESOINS EN COMPÉTENCES

- **L'ensemble des métiers** des systèmes embarqués (architecte, ingénieur SE...) voient leurs **compétences en cybersécurité, en réseau et en sécurisation des données se renforcer** (évolution des réseaux, forces et faiblesses de ces derniers...).
- Les compétences en architecture réseau des **architectes SE en particulier** se renforcent pour intégrer les problématiques de sécurisation des réseaux et des communications entre systèmes.
- Les métiers de la **conception** doivent développer des **compétences en modélisation** permettant d'optimiser les modèles des systèmes embarqués et leur fiabilité en amont de leur fabrication et les métiers **du design hardware** doivent intégrer une réflexion en amont de la conception pour répondre à ces nouvelles contraintes sécuritaires.
- Dans certains cas des compétences en **cryptage de données** peuvent être requises pour protéger des données critiques.
- Les métiers des **tests et de la vérification** doivent intégrer cette nouvelle problématique dans leurs procédés.



Après la forte croissance de l'*Open source software* (marché français de 5 milliards d'€ en 2021, *source* : cabinet PAC), l'*Open hardware* tend à se développer à travers le déploiement de certains principes de l'IT (containerisation de l'information, technologies Kubernetes...). Il pourrait permettre de répondre en partie aux préoccupations de souveraineté des acteurs de la filière, et favoriser la réduction du temps de développement des futures générations de systèmes embarqués.

DE L'OPEN SOFTWARE À L'OPEN HARDWARE

Innovation en développement depuis des années, l'**open source pour la partie logicielle des systèmes embarqués** correspond au **partage du code source d'un programme informatique**, permettant le partage et la redistribution de ce logiciel. Identifié comme enjeu majeur dans l'étude de 2014, il s'agit aujourd'hui d'une pratique répandue.

Cette **méthode de partage sous licence libre** tend néanmoins à s'appliquer également à la **dimension hardware des systèmes embarqués**. L'*open hardware* se base sur **des architectures de jeu d'instruction ouvertes dédiées** (principalement Risc-V, mais également BeagleBoard, Arduino ou Raspberry Pi), par opposition aux technologies propriétaires comme celles du Britannique ARM.

LES BÉNÉFICES ET IMPLICATIONS DE L'OPEN HARDWARE

Combiner *Open software* et *Open hardware* permet de constituer des **briques technologiques entières « sur étagère »**, intégrables directement dans une architecture système en développement. Se faisant, les entreprises peuvent concevoir des systèmes embarqués modulaires tout en réduisant **leur temps de développement et leur coût**.

Bien qu'encore relativement peu utilisé, l'Open hardware présente ainsi des avantages significatifs :

- Permettre la **conception et le partage de briques technologiques génériques**, et donc réduire l'effort de recherche et développement des entreprises ;
- Renforcer la confiance entre les différents acteurs, et **favoriser ainsi la coopération** ;
- **Établir des standards et des normes** sur la partie hardware des systèmes facilitant leur interopérabilité, leur interconnexion et la mise en réseau des écosystèmes locaux ;
- Offrir une **meilleure garantie sur l'homologation finale** des systèmes ;
- Répondre aux **préoccupations de souveraineté** en réduisant la dépendance à quelques fournisseurs.



BESOINS EN MÉTIERS

- Le développement de l'*Open Hardware* et des architectures modulaires et préintégréées n'engendre pas de nouveaux besoins métiers.

BESOINS EN COMPÉTENCES

- L'*Open Hardware* nécessite une **maîtrise des technologies ouvertes** de jeu d'instruction et notamment Risc-V.
- Les métiers impliqués dans la partie **hardware** doivent travailler avec des **designs de référence** faisant évoluer leurs procédés de conception et de développement des équipements tout en ayant une capacité à faire du **double sourcing**.
- Les métiers des systèmes embarqués et de l'architecture doivent développer des compétences dans l'**architecture modulaire** des systèmes.



Si le développement notable des systèmes embarqués peut avoir un impact particulièrement important sur l'environnement, la transition écologique commence à poindre dans les préoccupations de la filière sans encore s'imposer comme un enjeu majeur.

DES SYSTÈMES EMBARQUÉS POUR CONTRIBUER À LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Les systèmes embarqués participent à la transition écologique de plusieurs manières :

- En contribuant à l'électrification des équipements et notamment des véhicules (voitures électriques et hybrides...)
- En participant à l'optimisation de la production, du transport, de la distribution et de la consommation de l'énergie (identification des réseaux défectueux, bâtiments intelligents et réduction de la consommation...)
- En identifiant à l'aide de capteurs les éventuels impacts des différentes activités sur l'environnement (systèmes de mesure de la qualité de l'air...)

MAIS UNE ATTENTION ENCORE MARGINALE SUR L'IMPACT DES SYSTÈMES SUR L'ENVIRONNEMENT

Le **poids environnemental des systèmes embarqués se retrouve sur l'ensemble de leur cycle de vie** : extractions des matières premières, assemblage des composants, collecte et traitement de données et gestion des déchets. À titre d'exemple, la consommation énergétique **liée à la connexion** des équipements de l'**Internet des objets était de 94 TWh/an en 2020 et pourrait plus que doubler pour atteindre 270 TWh/an en 2030** (source : Commission européenne d'après AIE (4E EDNA), Total Energy Model for Connected Devices, 2019).

Si certaines formations initiales de l'embarqué prennent en compte la dimension environnementale dans leurs enseignements et qu'il s'agit d'une préoccupation pour une grande partie des étudiants, l'impact des systèmes embarqués sur l'environnement n'est intégré que de manière indirecte par la filière.

Ce sont ainsi essentiellement des considérations de développement de **systèmes économes en énergie pour accroître leur autonomie. L'écoconception n'est en revanche que peu déployée.**



BESOINS EN MÉTIERS

- L'électrification des équipements de transport génère des besoins sur des **profils d'électrotechniciens** intervenant sur des modules et des systèmes de puissance.

BESOINS EN COMPÉTENCES

- Le renforcement des problématiques de gestion de l'énergie induite par la transition écologique accroît le besoin en **compétences en hardware liées à l'intégration de la connectique au sein des matériaux, à la gestion de batteries hybrides...**
- L'intégration des contraintes environnementales dans les procédés de fabrication pourrait générer des **compétences en écoconception** parmi les ingénieurs méthodes et procédés.

Au-delà de ces cinq facteurs d'évolutions, d'autres **technologies émergentes** pourraient à moyen terme **faire évoluer la filière des systèmes embarqués**. Toutefois l'impact sur les métiers et les compétences demeure difficilement mesurable.

Robot-operating systems

Plateforme Open Source dédiée à la robotique, le ROS est de plus en plus utilisée dans les mondes académiques et industriels, et particulièrement dans le domaine militaire.

More Moore & more than Moore

Face à la fin programmée de la véracité de la loi de Moore (une fois atteint l'horizon indépassable des transistors de 1 ou 2 nm), plusieurs pistes de recherche sont à l'œuvre parmi lesquelles le changement des matériaux, des architectures de circuit ou encore de méthodes de conception.

Calcul quantique

Prochaine révolution industrielle, le calcul quantique utilise les propriétés de la matière pour résoudre des problèmes infirmement plus rapidement que les ordinateurs traditionnels. Son développement devrait avoir des conséquences majeures sur l'informatique et la sécurité, mais aussi sur les systèmes embarqués (*quantum sensing* notamment).



Mémoires non-volatiles

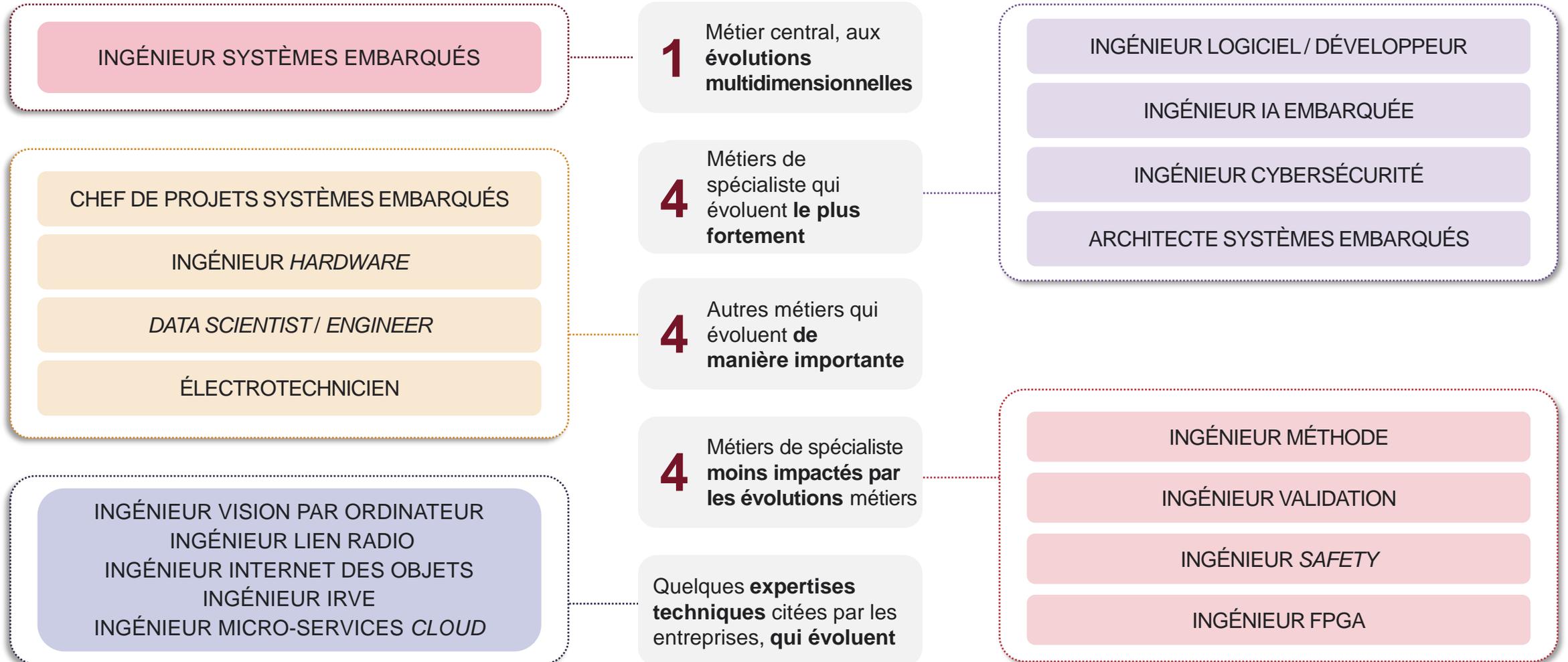
Le développement des appareils électroniques nomades et le renforcement de leurs capacités s'accompagnent de besoins importants en capacité de stockage en mémoire non-volatile programmable. De nouvelles technologies comme les mémoires MRAM, PCM ou ReRAM pourrait à terme remplacer les mémoires classiques dans de nombreuses applications liées à l'embarqué comme l'IoT.

Advanced Packaging

De nouvelles avancées technologiques permettent d'améliorer les performances et la fiabilité des circuits intégrés, en centralisant dans le même habillage électronique des circuits aux fonctions multiples. Plusieurs technologies sont concernées : System in package (SIP), Fan-in, Puce retournée...

Informatique neuromorphique

L'intégration de composants neuromorphiques pourrait à terme révolutionner les systèmes embarqués, en augmentant considérablement les capacités des traitements d'intelligence embarquée.



UN MÉTIER, PLUSIEURS DOMAINES DE COMPÉTENCES EN ÉVOLUTION

INGÉNIEUR
SYSTÈMES
EMBARQUÉS*

CONCEPTION ET ARCHITECTURE DES SYSTÈMES

- *Maîtrise de la distribution multicœurs et des calculateurs dernière génération*
- *Maîtrise des architectures modulaires et systèmes de systèmes*
- *Renforcement des compétences en connectivité sans fil des SE*
- *Maîtrise de l'électronique numérique*
- *Renforcement des besoins en compétences en FPGA (field programmable gate array) liés à la modularité croissante des systèmes embarqués*
- *Développement des compétences en langage adapted for parallel processing*

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

- *Nouvelles compétences en machine learning, traitement automatique du langage naturel, data science et algorithmie pour développer des solutions d'IA embarquée*
- *Maîtrise des hardware IA (intégration de processeurs spécialisés)*

MANAGEMENT – GESTION DE PROJETS

- *Gestion des systèmes complexes (systèmes de systèmes) et des architectures modulaires*
- *Renforcement des compétences en cybersécurité*

CYBERSÉCURITÉ

- *Développement des compétences en cryptographie des données ;*
- *Intégration des problématiques cyber dès la phase de conception des systèmes embarqués et de ses composants.*

*Les entreprises de la filière opèrent généralement une distinction entre le métier d'ingénieur logiciel embarqué et celui d'ingénieur en électronique embarquée, ici regroupés sous l'appellation générique « ingénieur systèmes embarqués ».

Le métier central de la filière des systèmes embarqués mêlant compétences en hardware et software

Métier central à l'activité de la filière, le rôle de l'**ingénieur systèmes embarqués** peut varier considérablement d'une entreprise à l'autre.

Ce métier se caractérise par la nécessité de maîtriser un ensemble de compétences allant de la connaissance des principes et composants électroniques (électronique analogique et numérique) jusqu'à la partie logiciel des systèmes embarqués (langages informatiques...).

Plusieurs **plusieurs domaines de compétences évoluent sur ce métier** : conception et architecture des systèmes, gestion de projets, FPGA et intelligence artificielle embarquée. Quelle que soit sa spécialité, l'ingénieur systèmes embarqués **doit également disposer de compétences sur la cybersécurité** des systèmes qu'il conçoit.

Des compétences en mutation

L'ensemble de ces domaines de compétences connaissent des **évolutions d'activités et de compétences significatives**. Selon le profil de l'ingénieur systèmes embarqués, **l'importance de ces évolutions peut varier** (par exemple, un profil expert en intelligence artificielle sera davantage impacté par les nouvelles technologies de *machine learning* qu'un profil plus généraliste).

Des différences marquées en fonction de la taille des entreprises

La **taille de la structure à laquelle l'ingénieur est rattaché a une importance particulière** : dans les *start-ups* et les petites et moyennes entreprises, il s'agit la plupart du temps de **profils polyvalents** maîtrisant plusieurs domaines de compétences différents.

Les plus grands groupes ont en revanche tendance à chercher des ingénieurs davantage spécialisés, avec des **profils d'expert** dans un domaine de compétence particulier.

Quatre métiers de spécialistes évoluent très fortement

Au-delà du métier central d'ingénieur systèmes embarqués, les **métiers de spécialistes connaissent également des évolutions importantes** de leurs activités et de leurs compétences. Parmi eux, quatre métiers se distinguent par des évolutions particulièrement marquées (*source : enquête et traitement KYU*) : ceux d'**ingénieur logiciel / développeur**, d'**ingénieur spécialisé en IA embarquée**, d'**ingénieur cybersécurité** et d'**architecte systèmes embarqués**.

Certains types d'entreprises sont plus sensibles aux évolutions métiers

Sur l'évolution des compétences et des métiers, les **fournisseurs logiciel** et les **sociétés de service en ingénierie** se singularisent par des proportions de réponses nettement supérieures à la moyenne. Il semble donc que ces deux types d'entreprises des systèmes embarqués soient **davantage sensibles aux évolutions de leurs métiers** que les autres.

1

INGÉNIEUR LOGICIEL / DÉVELOPPEUR

- Un renforcement des compétences en optimisation *software* pour faire face aux contraintes de mémoire et de temps de traitement liées au *edge computing* ;
- Un renforcement des besoins en méthodologie de développement ;
- Un développement du besoin avec des architectures logicielles plus sophistiquées ;
- Le développement du rôle de *safety manager* logiciel pour la diffusion d'une culture de la sûreté dans les équipes, notamment lors de la phase de conception.

2

INGÉNIEUR SPÉCIALISÉ INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EMBARQUÉE

- De nouvelles compétences en interface homme-machine et homme-système (IHM-IHS) et en IA de confiance pour l'IA de coopération et l'IA de collaboration ;
- La nécessité d'un développement des compétences permanent sur des technologies d'IA qui évoluent très rapidement (*machine learning*, vision par ordinateur...).

3

INGÉNIEUR CYBERSÉCURITÉ

- Développement du métier avec le renforcement des problématiques de cybersécurité et de connectivité des systèmes embarqués ;
- Développement des compétences en cryptographie des données ;
- Intégration des problématiques cyber dès la phase de conception des systèmes embarqués et de ses composants.

4

ARCHITECTE SYSTÈMES EMBARQUÉS

- Le développement d'architectures plus sophistiquées pour des systèmes de systèmes, des plateformes et des architectures modulaires (CPS) ;
- De nouvelles architectures de traitement adaptées à l'IA ;
- Une architecture distribuée et l'intégration de processeurs manycore pour le *edge computing* ;
- Un renforcement des compétences réseaux pour la cybersécurité ;
- Le développement du *model based design*.

D'autres métiers de spécialiste connaissent des évolutions importantes

Les facteurs d'évolution identifiés *supra* impactent la quasi-totalité des métiers de l'embarqué, quoiqu'à des degrés divers. Les métiers de **chef de projet systèmes embarqués**, d'**ingénieur hardware**, les **métiers de la donnée** (*data scientist* et *data engineer*) et celui d'**électrotechnicien** sont concernés.



CHEF DE PROJETS SYSTÈMES EMBARQUÉS

- Comme pour les architectes, les chefs de projets sont de plus en plus amenés à devoir gérer des systèmes complexes (systèmes de systèmes) et des architectures modulaires ;
- Ses missions supposent un renforcement des compétences en cybersécurité.
- Renforcement des méthodes de travail agiles.



INGÉNIEUR HARDWARE

- Maîtrise des bases d'IA pour faciliter son intégration dans les systèmes dès la conception de la partie matérielle ;
- Intégration en amont les problématiques de cybersécurité dans l'architecture et la conception du *hardware* ;
- Maîtrise des technologies ouvertes de jeu d'instruction (*open hardware*) comme Risc-V ;
- Développement des méthodes de travail agiles.



ÉLECTROTECHNICIEN

- Croissance contextuelle : développement du métier pour accompagner l'électrification des véhicules et les besoins en systèmes embarqués impliqués dans la gestion de la puissance.



MÉTIERS DE LA DONNÉE : DATA SCIENTIST / ENGINEER

- Développement accéléré de ces métiers avec la croissance des problématiques liées à l'IA et la volonté de certaines entreprises d'exploiter davantage les données produites ;
- Apparition de nouvelles activités (préparation, nettoyage et *tagging* de données...).

Les autres métiers de l'embarqué évoluent marginalement

Les changements d'activités et de compétences apparaissent plus marginaux pour les métiers **d'ingénieur safety**, **d'ingénieur validation**, **d'ingénieur méthode**, et **d'ingénieur FPGA**.

Certaines expertises spécifiques connaissent aussi des évolutions

Les entreprises interrogées mentionnent notamment les métiers : **d'ingénieur vision par ordinateur**, **d'ingénieur lien radio** (les compétences en analogique étant par ailleurs particulièrement difficiles à trouver pour les entreprises), **d'ingénieur** spécialisé sur **l'internet des objets** (IoT – avec le développement de nouveaux protocoles de communication LwM2M, CoAP, MQTT, NB-IoT, LTE...), les métiers du **développement de micro-services cloud**, d'ingénieur spécialisé sur le **déploiement des systèmes embarqués à grande échelle**, **d'ingénieur IRVE** (infrastructure de recharge de véhicules électriques - un métier émerge du fait de l'électrification progressive des modes de transports individuels).

L'activité de prototypage évolue également :

- Le développement des compétences en modélisation pour optimiser les modèles des systèmes embarqués et leur fiabilité en amont de leur fabrication ;
- La nécessité de maîtriser certaines technologies ouvertes comme Risc-V ;
- L'intégration des problématiques d'IA et de cybersécurité dans les modèles ;
- Le développement de la conception modulaire des systèmes embarqués.



INGÉNIEUR MÉTHODE

- Développement du *model based design*
- Développement des méthodes de travail agiles sur la partie conception et développement hardware des systèmes embarqués.



INGÉNIEUR SAFETY & INGÉNIEUR VALIDATION

- Adaptation des compétences de vérification et de validation aux nouveaux systèmes dotés d'IA ;
- Intégration de la problématique de cybersécurité dans les procédés de vérification et de validation des systèmes embarqués.



INGÉNIEUR FPGA

- Renforcement des besoins métiers liés à la modularité croissante des systèmes embarqués.
- Compétences en *language adapted for parallel processing*.

Partie 4

LES IMPACTS DE CES ÉVOLUTIONS SUR LE RECRUTEMENT

- Les pratiques de recrutement des entreprises
- L'évolution des besoins en main-d'œuvre
- Les tensions au recrutement dans le secteur des systèmes embarqués



Retour au
sommaire

Des recrutements principalement concentrés sur des profils de niveau Bac+5

- Les **entreprises** impliquées dans la chaîne de valeur **des systèmes embarqués recrutent en majorité des profils ingénieurs ou titulaires de master**. 50% des entreprises recrutent souvent sur ce niveau et plus de 20% recruter exclusivement sur ce niveau. Les entreprises de 100 salariés et plus recrutent davantage sur ce niveau.
- Les **recrutements de niveau Bac+8 sont aussi nombreux**. 49% des entreprises recrutent parfois, souvent ou exclusivement ces profils. Ces profils sont recherchés pour des postes d'encadrement ou de grande expertise technique notamment sur des technologies émergentes (IA, edge...). Les docteurs sont de plus en plus mobilisés notamment par les sociétés d'ingénierie, dont la culture de recrutement évolue.
- Il existe des **différences en fonction de l'activité des entreprises**. Les sociétés de conseil, d'ingénierie et de services numériques recrutent moins de Bac +8 (44% vs 57% en moyenne) et les équipementiers recrutent plus de Bac +2 (80% vs 66%).
- En proportion, les entreprises de moins de 10 salariés et celles de 100 salariés et plus sont moins nombreuses à recruter sur des niveaux de Bac+2 et Bac+3. A l'inverse elles sont plus nombreuses à recruter sur des niveaux Bac+8.

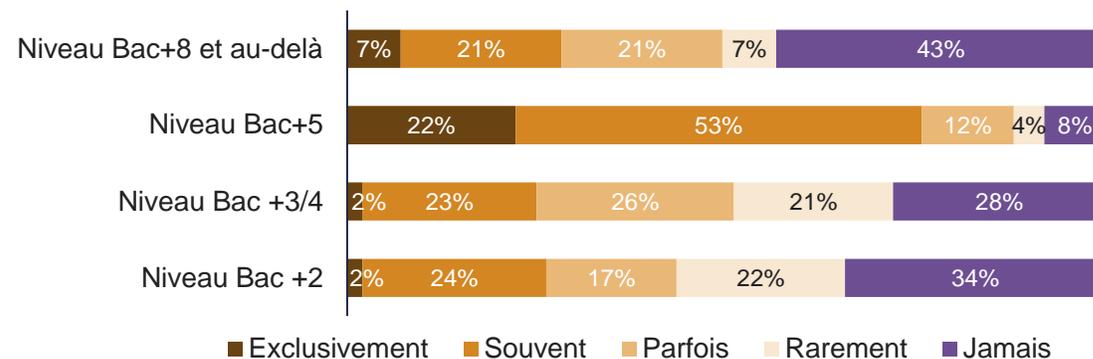
Les métiers recrutés par les entreprises, par niveau d'études

Source : Enquête et traitement KYU, 2022

Bac +2	Commercial, Chef de projet installation, Développeur junior, Fonctions support, Technicien...
Bac +3/4	Commercial, Développeur consultant, <i>Data analyst</i> , Technico-commercial, Dessinateur projeteur, Électrotechnicien...
Bac +5	Ingénieur systèmes embarqués, Ingénieur R&D, Web master, Développeur, Administrateur réseau, Architecte SE, Ingénieur cyber, Ingénieur Full Stack, Ingénieur validation, Chef de projet SE...
Bac +8	Expert technique, Ingénieur développement, Directeur technique, Chef de service électronique embarquée, Directeur R&D., Architecte logiciels managers...

Répartition des entreprises selon la fréquence de recrutement par niveau d'études

Source : Enquête et traitement KYU, 2022



Le métier d'ingénieur système embarqué, métier le plus recruté par les entreprises

- Le métier **d'ingénieur systèmes embarqués** et ses différents domaines d'expertise (ingénieur recherche, architecte systèmes, ingénieur *full stack*, ingénieur logiciel, d'ingénieur validation, d'ingénieur FPGA, de testeur, d'ingénieur méthode et d'ingénieur *hardware*) est le métier le plus recruté par les entreprises du secteur.
- Les **métiers de niveau Bac +8** correspondent quant à eux en entrée dans le secteur à des **métiers d'expert notamment sur la R&D, puis à la suite d'évolution de carrière** à des métiers **d'encadrement ou de gestion de projet** (architecte logiciels manager, chef de service électronique embarquée...) et **direction** (direction générale, direction technique, direction R&D...).
- Les **profils de niveau technicien et technicien supérieur** ne sont pas présents dans toutes les entreprises de la filière. Ces profils occupent majoritairement des métiers du **commerce** (commercial, technico-commercial...) ou de la **technique** (électrotechniciens notamment). Ces profils sont **principalement présents dans les plus grandes entreprises**, ou dans celles disposant d'activités *hardware* importantes.

Les métiers pour lesquels la croissance des besoins est la plus forte

Source : Enquête et traitement KYU, 2022

Ingénieur logiciel / développeur	73%
Ingénieur cybersécurité	41%
Architecte systèmes embarqués	39%
Chef de projet systèmes embarqués	37%
Data engineer / scientist	35%
Ingénieur IA embarquée	35%
Ingénieur validation	25%
Ingénieur FPGA	18%
Électrotechnicien	16%
Testeur	16%

Note de lecture:
73% des entreprises interrogées placent le métier d'ingénieur logiciel / développeur parmi les métiers ayant les besoins les plus en croissance.

Les pourcentages exprimés ont trait aux entreprises, ils ne permettent pas d'identifier les volumes relatifs à ces besoins.

Une forte hausse des besoins sur le métier d'ingénieur logiciel

- Conformément à l'évolution générale de la filière des systèmes embarqués, qui voit la part du *software* se développer très fortement au sein des systèmes à mesure que ces derniers deviennent **plus connectés et sophistiqués** (systèmes cyberphysiques, systèmes de systèmes...), le métier d'ingénieur logiciel / développeur est celui dont les besoins augmentent le plus. 73% des entreprises interrogées qui placent ces métiers parmi ceux dont les besoins augmentent le plus.

Une croissance des besoins sur certains métiers pour répondre à l'évolution des systèmes embarqués

- Le développement des systèmes interconnectés et du cloud computing intensifie les besoins sur des **experts en cybersécurité**.
- Avec la sophistication des architectures et du développement de systèmes de systèmes, les métiers d'architecte systèmes embarqués et de chef de projet systèmes embarqués connaissent une forte croissance. Ils nécessitent une forte expérience et des compétences excédant celles d'un ingénieur en début de carrière.
- Le développement de l'intelligence embarquée génère à la fois des besoins sur des profils spécialisés en IA embarquée et en métiers de la donnée. Plusieurs entreprises interrogées ont souligné l'émergence de besoins en la matière alors que leur production de données semble vouée à augmenter fortement.

Enfin, le métier d'ingénieur validation (25%) apparaît aussi en croissance, bien que dans une moindre mesure. Les métiers d'ingénieur FPGA, d'électrotechnicien et de testeur sont eux caractérisés par une relative stabilité des besoins – hors cas particuliers.



Les plus petites structures (moins de 10 salariés) se caractérisent par des besoins renforcés en architecte systèmes embarqués (pour 57% d'entre elles, contre 39% en moyenne) et en *data scientist* (43% contre 35%)



Les entreprises de 100 salariés et plus recherchent davantage d'ingénieurs spécialisés en IA embarquée (71% contre 37%), en cybersécurité (57% contre 41%) et plutôt moins de profils d'architectes et de chef de projets (29% dans chaque cas), du fait de structures managériales déjà bien établies.

Des tensions généralisées parmi les entreprises du secteur

- La quasi-totalité des entreprises de la filière des systèmes embarqués rencontre des difficultés de recrutement sur certains voire sur l'ensemble de leurs métiers. Au total, plus de **75% des entreprises interrogées rencontrent des difficultés sur au moins un de leurs métiers.**
- Indicateur de ces tensions, de nombreuses entreprises interrogées déclarent recevoir plus de candidatures étrangères que françaises.

Des disparités de difficultés au recrutement entre les métiers du secteur

- Les professionnels interrogés soulignent que la **majorité des métiers du secteur sont en tension**. Toutefois, au regard des volumes de recrutement nécessaires certains apparaissent plus critiques que d'autres.
- En cohérence avec la forte hausse des besoins, le **métier d'ingénieur logiciel / développeur** est celui pour lequel **les tensions de recrutement sont les plus fortes** et les plus **généralisées** : 57% des entreprises interrogées l'identifient tout particulièrement, en le plaçant souvent en tête des métiers les plus en tensions.
- Le métier **d'ingénieur cybersécurité** est également particulièrement concerné par les tensions au recrutement. Elles concernent **un tiers des entreprises** interrogées, et la tendance devrait continuer de se renforcer sur les prochaines années.
- Parmi les autres métiers en tension, l'on retrouve les métiers **d'architecte systèmes embarqués** (30% des entreprises sont concernées), les **métiers de la donnée** (*data engineer* et *scientist*, pour 24% des entreprises), ainsi que les métiers **d'ingénieur IA embarquée** (24% également) et de **chef de projet systèmes embarqués** (20%).

Les autres métiers, s'ils peuvent aussi faire l'objet de difficultés ponctuelles, apparaissent moins en tension.

Il y a une forte tension sur tous les métiers, dont développeur et testeur en logiciel, mais encore plus sur des profils expérimentés capables de prendre un poste d'architecture ou de chef de projet. Les experts safety sont aussi difficiles à trouver.

DRH d'un fournisseur software dans le domaine aéronautique

Métiers dont les tensions sont les plus critiques – pourcentage des entreprises interrogées

Source : Enquête et traitement KYU, 2022

Ingénieur logiciel / développeur	57%
Ingénieur cybersécurité	33%
Architecte systèmes embarqués	30%
Data engineer / scientist	24%
Ingénieur IA embarquée	24%
Chef de projet systèmes embarqués	20%
Ingénieur hardware	17%
Ingénieur FPGA	17%
Ingénieur validation	15%
Testeur	15%
Ingénieur safety	13%
Électrotechnicien	13%

75%

Des entreprises des systèmes embarqués rencontrent des difficultés de recrutement

Les profils polyvalents architectes et développeurs, formés à la cybersécurité, sont particulièrement difficiles à trouver.

CEO d'un fournisseur software (logiciels applicatifs)

Des tensions propres à certaines tailles d'entreprise

- **Les entreprises de moins de 10 salariés** rencontrent ainsi des difficultés particulières pour recruter des architectes et des *data scientist* (40% à chaque fois). Celles-ci éprouvent par ailleurs davantage de difficultés au recrutement puisqu'elles recherchent des profils à la fois très polyvalents et capables d'appréhender des domaines de compétences pluriels (cyber, architecture réseau, IA...) et des profils avec une forte expertise capables d'intervenir sur des domaines de niche.
- **Les structures de 100 salariés et plus** se caractérisent par des tensions plus importantes pour les profils d'ingénieur FPGA et d'ingénieur *hardware*.

Des spécificités selon le secteur d'activité des entreprises

- Si tous les types d'entreprises sont concernés par les tensions, ces dernières peuvent l'être à des degrés divers. Ainsi les **équipementiers et intégrateurs** se singularisent par une proportion renforcée d'entreprises affectées par les tensions, tout comme les **constructeurs et donneurs d'ordres** – qui semblent également rencontrer des difficultés particulières sur le recrutement des ingénieurs validation.
- **Les entreprises spécialisées sur la partie hardware** rencontrent elles de très fortes tensions sur les ingénieurs IA embarquée et sur les développeurs (80% des entreprises concernées dans les deux cas) – des fonctions apparemment moins cœur de métier pour elles, pour lesquelles la force de leur marque employeur est moindre.
- Enfin, les différents types de **sociétés de services** (ingénierie, conseil, IT) tout comme les **fournisseurs software** présentent des difficultés renforcées lors du recrutement des ingénieurs logiciel / développeur, et, dans une moindre mesure, à l'embauche de *data scientists* et de *data engineers*.

Nous sommes sur un secteur d'activité où plusieurs grands groupes sont très présents. Heureusement étant aussi professeur dans une école d'ingénieur j'arrive par le biais de la recherche et de bonnes conditions de travail à capter des pointures...

CEO d'un fournisseur software dans le domaine aéronautique

Lorsque nous postons une annonce, nous ne recevons que des CVs de candidats étrangers. Et lorsque nous recevons des CVs de candidats français, ils n'ont pas les bonnes compétences. Les étudiants en stage que nous prenons chaque année n'ont parfois jamais vu ou entendu parler des technologies sur lesquelles nous travaillons. En 2015 alors que nous commençons à aborder les sujets d'IoT, la majorité des étudiants que nous rencontrons en entretien en dernière année d'école d'ingénieur n'avaient jamais entendu parler de l'IoT !

Directeur d'un fournisseur software dans le domaine automobile

Nous sommes en concurrence avec de grandes sociétés qui peuvent plus facilement proposer immédiatement des packages intéressants.

Responsable RH d'un équipementier / intégrateur

Il y a une pénurie globale de profils ingénieurs, plus encore dans l'embarqué. La petite taille et la faible notoriété de notre structure compliquent la donne.

Directeur d'un fournisseur software (systèmes et réseaux)

Il y a très peu de développeurs sur le marché, les salaires explosent et les concurrents offrent des conditions de salaire que l'on ne peut suivre.

DRH d'un fournisseur software (logiciels applicatifs)

Les principales sources des tensions de recrutement selon les entreprises interrogées

Source : enquête et traitement KYU



Une pénurie de compétences et de candidats comme principales sources de tension au recrutement

- Pour plus de la moitié des entreprises interrogées (54%), ces tensions de recrutement sont le fait d'un **manque de compétences des candidats**. Celui-ci n'est pas tant lié à une problématique de contenu des formations initiales en systèmes embarqués mais plutôt au manque de diplômés spécialisés dans les systèmes embarqués notamment sur le niveau ingénieur/master.
- **Certaines compétences semblent particulièrement difficiles à trouver** sur le marché du travail : développement java, architecture dans l'espace, modélisation animée 3D, micro-services et *cloud*, langage C, FPGA, maîtrise des protocoles de communication IoT, développement *symfony*, expertise *safety*...
- Les **profils polyvalents** (architecte, développeur, cybersécurité...), indispensables aux PME, sont également très rares et font l'objet d'une concurrence importante des recruteurs.
- Au-delà des difficultés sur certaines compétences, 50% des entreprises de la filière mettent en avant un **manque général d'ingénieurs en France**.

Des tensions intensifiées par une concurrence au recrutement

- Dans ce contexte de pénurie de candidats et de forts besoins, la **concurrence des autres entreprises des systèmes embarqués et d'autres secteurs** intensifie ces difficultés est aussi largement désignée comme une explication des tensions, dans un contexte où les ingénieurs spécialisés sont souvent courtisés par plusieurs entreprises en même temps.
- Si les **PME déplorent la concurrence d'acteurs plus importants**, les grands groupes pointent la difficulté de se retrouver en **compétition** avec de **grandes entreprises étrangères** pour les meilleurs profils.
- **Compte tenu de la concurrence au recrutement, le manque de visibilité des entreprises peut également amplifier ces tensions**. Cela concerne plus particulièrement les petites entreprises qui peuvent rencontrer des difficultés pour accroître leur visibilité face à des grands groupes particulièrement connus auprès des professionnels et des jeunes diplômés.

L'amélioration de l'attractivité des postes, première stratégie des entreprises

- Près de **6 entreprises sur 10** ont entrepris de mettre en place des avantages autres que l'amélioration des salaires pour attirer davantage de candidats et faire face à la concurrence au recrutement. La possibilité de faire du télétravail ou encore l'amélioration de la QVT (mutuelles avantageuses, événements collectifs...) sont ainsi des stratégies déployées par les entreprises.
- **Un tiers des entreprises** ont quant à elles entrepris d'augmenter l'attractivité de leurs postes par **une hausse des salaires proposés**.

Une évolution des pratiques de recrutement

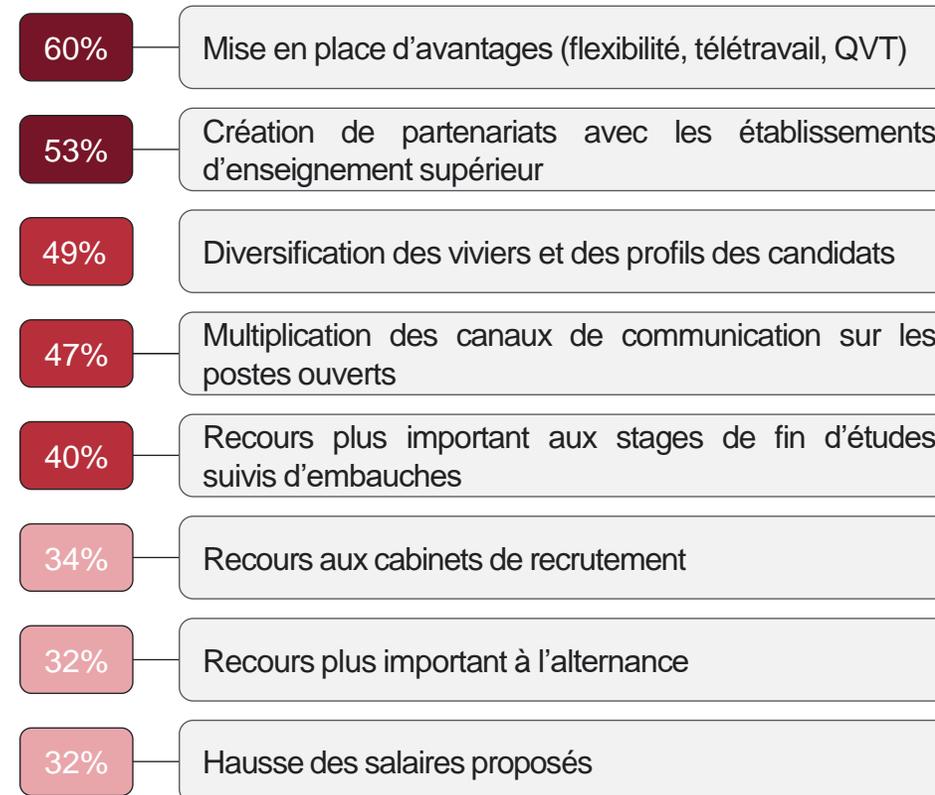
- Deuxième piste privilégiée, le **développement des liens avec les établissements de formation** : ces derniers peuvent prendre la forme de partenariats (53%), mais aussi d'un recours plus important aux stages de fin d'études (40%) ou à l'alternance (32%).
- Les entreprises de la filière cherchent enfin à **agir directement sur la visibilité de leur recherche et sur le nombre de candidats**, en diversifiant les viviers de recrutement (49%), en multipliant les canaux de communication sur les postes ouverts (47%) voir dans certains cas et sous couvert de ressources suffisantes, en faisant appel à des cabinets de recrutement (34%).

Un recours à des travailleurs étrangers notamment dans les grandes entreprises

- Si dans la majorité des cas elle reste une solution de dernier recours, **l'embauche de candidats étrangers** est parfois utilisée par les entreprises de la filière pour pallier les difficultés de recrutement. Cette option reste cependant principalement mobilisée par les grandes entreprises, qui disposent des moyens humains et financiers nécessaires au suivi administratif de ces profils (visas...).
- Difficulté supplémentaire, le recours à ces profils étrangers n'est pas possible dans tous les secteurs et pour tous les clients, avec notamment des **problématiques de confidentialité particulières dans les secteurs de la défense** et de l'aérospatial.

Les principales stratégies déployées par les entreprises pour faire face aux tensions au recrutement

Source : enquête et traitement KYU



	ÉVOLUTION DES BESOINS	ÉVOLUTION DES COMPÉTENCES	MÉTIER EN FORTE TENSION
Ingénieur systèmes embarqués			
Ingénieur logiciel / développeur			
Ingénieur spécialisé IA embarquée			
Ingénieur cybersécurité			
Architecte systèmes embarqués			
Chef de projet systèmes embarqués			
Électrotechnicien			
Data scientist / data engineer			
Ingénieur safety			
Ingénieur validation			
Ingénieur méthode			
Ingénieur FPGA			
Ingénieur hardware			
Testeur			
Prototypiste			

Légende



Forte hausse/évolution (plus de 40% des entreprises interrogées concernées)



Hausse/évolution moyenne (plus de 30% des entreprises interrogées concernées)



Hausse/évolution limitée (moins de 30% des entreprises interrogées concernées)

Source : analyses KYU

Partie 5

ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION ET MISE EN RELATION AVEC LES BESOINS IDENTIFIÉS

- Analyse de l'offre de formation initiale et continue
- Mise en évidence des besoins en formation



Retour au
sommaire

Sources mobilisées pour le recensement des formations initiales

Le recensement et l'analyse de l'offre de formations initiales sont fondés sur la mobilisation et le croisement de différentes sources de données :

- **France Compétences** : identification des certifications relatives aux systèmes embarqués et analyse du contenu des certifications et de leurs modalités
- **Recherche documentaire** : identification des formations et certifications relatives aux systèmes embarqués et analyse du contenu de ces formations et de leurs modalités
- **Entretiens et enquête en ligne** : identification des viviers de recrutement des entreprises des systèmes embarqués
- **ONISEP** : identification des établissements proposant des formations menant aux certifications identifiées en amont

Constitution de bases de données compilant les résultats

ACT ID	ACT ID	CNIS	Secteur d'activité	Perimètre	FOR ID	Niveau de
1	14	30384	121	OUI	8462	7
2	16	30381	121	OUI	8462	7
3	18	30372	121	OUI	8462	7
4	36	30344	331	OUI	8411	7
5	36	30344	331	OUI	8411	7

Sources mobilisées pour le recensement des formations continues

Le recensement et l'analyse de l'offre de formations initiales sont fondés sur la mobilisation et le croisement de différentes sources de données.

Pour les formations certifiantes :

- **France Compétences** : identification des certifications relatives aux systèmes embarqués et analyse du contenu des certifications et de leurs modalités
- **Base des formations financées par Atlas** : identification des certifications relatives aux systèmes embarqués
- **Carif-Oref** : identification des certifications relatives aux systèmes embarqués

Pour les formations non certifiantes :

- **Recherche documentaire** : identification des formations et certifications relatives aux systèmes embarqués et analyse du contenu de ces formations et de leurs modalités
- **Entretiens et enquête en ligne** : identification des organismes de formation mobilisés par les entreprises des systèmes embarqués

Réalisation d'une cartographie dynamique d'analyse de la formation initiale et continue par type et niveau de diplôme et par territoire



LES FORMATIONS NON SPÉCIFIQUES AUX SYSTÈMES EMBARQUÉS MAIS POUVANT MENER À CES MÉTIERS

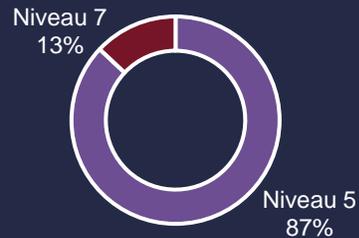


64 certifications et spécialités en lien avec le secteur des systèmes embarqués



479 formations permettant d'accéder à ces certifications

Répartition des formations selon le niveau de certification visée
Source : recensement et analyse KYU



Plus de 600 formations pouvant mener aux systèmes embarqués

Parmi ces formations se trouve le **BTS en électrotechnique** qui est à la fois un vivier de recrutement pour les entreprises, mais également **une passerelle vers les formations de niveau supérieur**. Ces formations sont la majorité des formations non spécifiques aux SE pouvant mener à ce secteur.

Parmi les formations de **niveau 7** on trouve à la fois **des masters et des formations d'ingénieurs** sur des thématiques comprenant notamment la mécanique, les télécommunications, les systèmes communicants ou encore des formations spécialisées sur des secteurs d'applications des SE (ferroviaire, automobile...) comprenant du contenu en lien avec les SE.

Plus d'une centaine de formations préparant spécifiquement aux métiers et au secteur des systèmes embarqués

La majorité des formations et spécialités spécifiques aux systèmes embarqués sont de niveau 7 (équivalent master 2 ou diplôme d'ingénieur, représentent environ 80 formations).

Les **universités et les écoles d'ingénieurs** sont ainsi nombreuses à proposer des majeures ou des spécialisations en fin de formation dans les systèmes embarqués. Environ 40 écoles et universités proposant des diplômes d'ingénieurs et une vingtaine proposant des masters spécifiques aux systèmes embarqués.

Parmi les formations de niveau 6 se trouvent notamment le **BUT Génie Électrique, Informatique Industrielle** qui dispose d'une **spécialité Électronique et Systèmes embarqués** ainsi qu'une **licence professionnelle métiers de l'électronique, communication, systèmes embarqués** proposée par une quinzaine d'universités.

De nombreuses formations adressant spécifiquement les métiers de la partie logicielle des systèmes embarqués

Si les formations liées au numérique (développement, architecture réseau...) n'ont pas été recensées (car trop transverses à d'autres secteurs d'activité), celles-ci sont **relativement nombreuses, quel que soit le niveau de formation adressé**.

LES FORMATIONS SPÉCIFIQUES AUX SYSTÈMES EMBARQUÉS

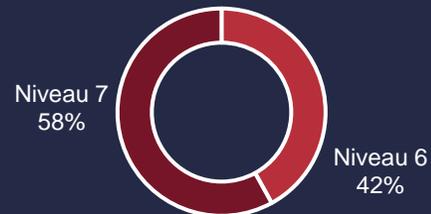


83 certifications et spécialités spécifiques au secteur des systèmes embarqués



135 formations permettant d'accéder à ces certifications

Répartition des formations spécifiques aux SE selon le niveau de certification visée
Source : recensement et analyse KYU



L'ÉVOLUTION DE L'OFFRE DE FORMATION INITIALE DEPUIS 2014

Une croissance du nombre de formations

Parmi les formations non spécifiques aux systèmes embarqués

- 84 formations en 2014 contre 479 aujourd'hui (multiplié par 5)
- Augmentation liée à l'intégration des BTS Electrotechnique et des BTS Systèmes numériques option informatique et réseau dans la liste des formations recensées

Parmi les formations spécifiques aux systèmes embarqués

- 93 formations contre 135 aujourd'hui (multiplié par 1,5)
- Augmentation surtout liée à la hausse du nombre de formations d'ingénieurs (+10) et dans une moindre mesure à l'augmentation du nombre de formations dans les établissements universitaires (licences, licences pro, master)

Une rationalisation de l'offre de certifications

Parmi les certifications non spécifiques aux systèmes embarqués

- 77 certifications formations contre 64 aujourd'hui
- Rationalisation sur les niveaux 5 de certifications (disparition des formations de niveau Bac Pro et BTS alors que les DUT ont été convertis en BUT) et sur les niveaux 7 (un peu moins de diplômes d'ingénieur et de master) du fait d'une spécialisation de ces certifications

Parmi les certifications spécifiques aux systèmes embarqués

- 85 certifications recensées contre 83 aujourd'hui.
- Disparition des certifications de niveau 5 et l'apparition du BUT GE2I spécialité électronique et systèmes embarqués
- Diversification des parcours en master et diplôme d'ingénieur (intelligence embarquée, IoT...)

Une problématique majeure de nombre d'étudiants diplômés

Plus de la moitié des professionnels interrogés mettent en avant le nombre insuffisant de diplômés issus de formations spécifiques aux systèmes embarqués. Toutefois ce n'est pas tant le manque de formations qui est mis en avant que les difficultés à remplir les filières dédiées aux systèmes embarqués. Les acteurs de l'enseignement mettent ainsi en avant :

- **Le manque d'attractivité des formations spécialisées** en systèmes embarqués face à des formations plus « en vogue » comme la cybersécurité ou l'intelligence artificielle ;
- **Le faible taux de féminisation** des formations de l'embarqué (ex : 2 femmes sur 25 dans la formation d'un responsable de formation interrogé) ;
- **Des salaires en sortie d'école moins rémunérateurs** que dans d'autres filières et spécialités (ex : 38k annuels à la sortie de formation en systèmes embarqués en Île-de-France contre 42k dans une filière de BI).

En outre, certains enseignants interrogés mettent également en avant que **parmi les étudiants diplômés d'une filière des systèmes embarqués, certains d'entre eux ne se dirigeaient pas vers un emploi dans ce secteur**, mais vers la finance ou encore l'intelligence artificielle. Ce phénomène réduit encore plus le vivier potentiel de recrutement.

« On a du mal à faire venir les étudiants sur la majeure systèmes embarqués. C'est moins à la mode que le cyber ou l'IA. »

Enseignant-chercheur dans une école d'ingénieur

« Le nombre de places en formation est trop faible, mais ce n'est que la conséquence d'un manque de profils intéressés en amont. »

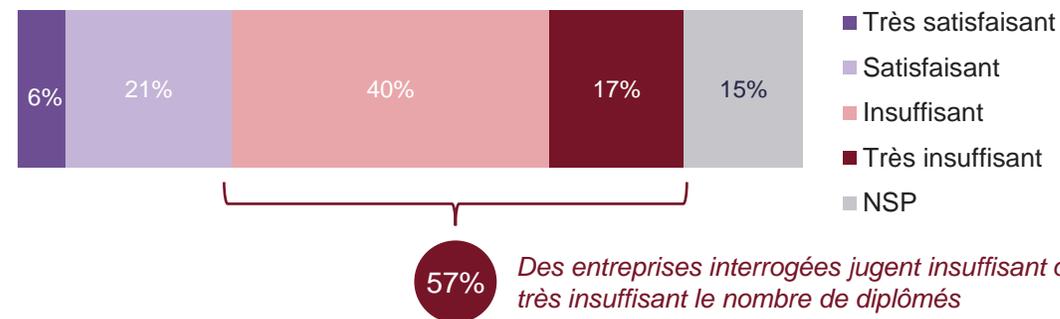
COE Lead au sein d'un grand groupe d'ingénierie

« On développe notre activité cloud et service. On a voulu recruter des jeunes, mais on a du mal à trouver les bons profils en devOps. »

Assistante de direction au sein d'une TPE

Évaluation du nombre de diplômés des formations spécialisées en systèmes embarqués par les entreprises

Source : Enquête et traitement KYU, 2022



Des formations sur les thématiques connexes aux systèmes embarqués qui ne constituent pas un vivier de recrutement

Les professionnels de l'enseignement interrogés mettent en avant la relative **étanchéité des formations et des parcours** des étudiants en fonction de leur spécialité. Ainsi, alors que les formations en intelligence artificielle ou en cybersécurité pourraient constituer en théorie des viviers de recrutement pour les entreprises, les étudiants diplômés ne se dirigent pas vers les entreprises des systèmes embarqués.

Des leviers d'attractivité des formations possibles

Les acteurs de l'enseignement soulignent que si les **étudiants** choisissant les systèmes embarqués sont peu nombreux, ceux-ci sont **passionnés**. Par ailleurs, ils expliquent que si ces filières souffraient des débouchés dans le secteur de la défense, la **croissance des applications dans la santé et le bâtiment sont des leviers** pour ces formations.

Un contenu des formations globalement satisfaisant

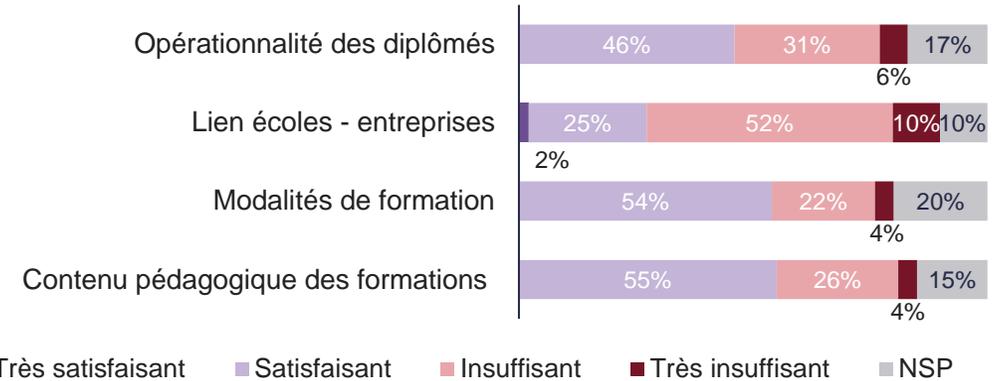
- La **majorité des entreprises** interrogées jugent le **contenu des formations initiales** ainsi que le niveau des diplômés **satisfaisants**. Elles sont ainsi plus de 50% à considérer les modalités et le contenu pédagogique des formations satisfaisants.
- Les **entreprises de taille importante sont en proportion plus nombreuse** à juger satisfaisante le contenu des formations. Celles-ci mettent en avant leur préférence pour recruter des ingénieurs généralistes afin de les former sur des thématiques et expertises précises ensuite.
- À l'inverse, **les plus petites entreprises sont plus nombreuses à être moins satisfaites** de l'offre de formation initiale et de son contenu. Plus exposées à des contraintes opérationnelles et plus souvent orientées autour d'une technologie ou d'un secteur d'activité précis, celles-ci peinent à trouver des diplômés opérationnels disposant de compétences techniques pointues.
- Parmi les sujets sur lesquels les professionnels jugent la **formation insuffisante** se trouvent les **dispositifs critiques et la sûreté dans les secteurs applicatifs**, la **programmation** (notamment Linux embarqué), ainsi que les formations sur la **partie électronique**. Outre ces compétences techniques, des professionnels du secteur mettent également en avant **un manque de softskills** (curiosité, autonomie, prise de recul, capacité d'abstraction et de conceptualisation, etc.).

Malgré un lien entre écoles et entreprises pouvant être renforcé

- **Plus de la moitié des entreprises** interrogées mettent en avant un **lien écoles-entreprises encore insuffisantes**, et ce quelle que soit leur taille. Toutefois, ce **constat est nuancé** par un certain nombre de professionnels interrogés qui soulignent la capacité des établissements à adapter le contenu de leur formation aux évolutions techniques des systèmes embarqués.
- Les **acteurs de l'enseignement mettent aussi en avant ces liens** avec le monde professionnel par la constitution de chaires universitaires attribuées à des professionnels, la mobilisation de professionnels parmi les enseignants.

Évaluation des formations spécialisées en systèmes embarqués par les entreprises sur les aspects suivants

Source : Enquête et traitement KYU, 2022



« La connaissance des dispositifs critiques manque. Les profils qui sortent juste de formation initiale ne connaissent pas assez les contraintes des secteurs applicatifs des SE. »

Directeur de département au sein d'une PME

« L'université est un gros paquebot, mais on voit que l'orientation emmenée par les industriels est suivie par le domaine académique et on sent bien que ce que les industriels prônent est bien pris en compte. Après il y a un délai de réaction, mais c'est normal. »

Directeur scientifique au sein d'un équipementier

TOUTES LES FORMATIONS POUVANT MENER AUX SYSTÈMES EMBARQUÉS

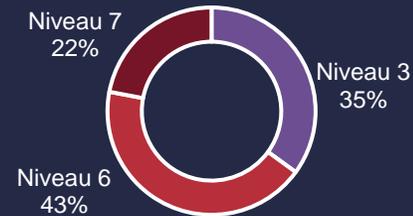


~60 certifications et spécialités en lien avec le secteur des systèmes embarqués



214 formations permettant d'accéder à ces certifications

Répartition des formations selon le niveau de certification visée
Source : recensement et analyse KYU



Une offre de formation continue centrée autour des formations certifiantes également accessibles en formation initiale (diplôme d'ingénieur, master...)

Une partie importante de l'offre de formation initiale est également accessible en formation continue. Parmi les **formations de niveau 7 se trouvent ainsi une majorité des diplômes d'ingénieurs et des masters** accessibles en formation initiale ainsi que la certification « Chef de projet systèmes embarqués » de l'organisme Ynov. De la même manière se trouve parmi les **certifications de niveau 6 une part importante des certifications accessibles en formation initiale** telles que les licences professionnelles métiers de l'électronique : communication, systèmes embarqués et le BUT GE2I : électronique et systèmes embarqués. La formation continue certifiante intègre également la **mention complémentaire Maintenance des systèmes embarqués** de niveau 3.

Une offre de formation non certifiante concentrée autour de quelques OF

Près de **160 formations non certifiantes ont été recensées**. Parmi elles se trouvent de nombreuses formations autour de Linux embarqué, de la programmation (C++ embarqué, programmation en temps réel...) et des Raspberry Pi (nano ordinateur monocarte).

5 organismes de formation concentrent à eux seuls près de 90% de l'offre de formation non certifiante recensée : Ac6-training, Cynetis Embedded, Noble Prog, ORSYS Formation et le groupe INSA qui propose notamment des parcours de formation en format MOOC.

Outre les formations sur catalogue recensées, ces organismes de formation et les établissements de formation initiale proposent aussi des formations sur-mesure pour répondre aux besoins en formation spécifiques de certaines entreprises.

Des formations plus générales couvrant des thématiques proches des SE

Outre les formations recensées spécifiques aux SE, de nombreuses formations existent également sur des thématiques proches des systèmes embarqués et notamment sur le cloud computing, l'edge computing, l'architecture réseau ou encore l'intelligence artificielle. Ces formations sont notamment proposées par les organismes de formation Orsys, Ac6-Training ou encore Noble Prog.

LES FORMATIONS SPÉCIFIQUES AUX SYSTÈMES EMBARQUÉS



~160 formations non certifiantes spécifiques au secteur des systèmes embarqués*



~20 établissements proposant des formations non certifiantes

Principaux organismes de formation proposant des formations non certifiantes

Source : recensement et analyse KYU

- Ac6-Training
- Cynetis Embedded
- Groupe INSA
- Noble Prog
- ORSYS Formation

L'ÉVOLUTION DE L'OFFRE DE FORMATION CONTINUE DEPUIS 2014

Une augmentation du nombre d'établissements dans la formation continue

Une augmentation du nombre d'établissements dans la formation continue

- 45 organismes de formation contre plus de 130 aujourd'hui
- Augmentation liée à l'accessibilité accrue des diplômes accessibles en formation initiale par le biais de la formation continue en particulier en ce qui concerne les diplômes d'ingénieurs
- Mais une offre de formation non certifiante davantage concentrée autour de certains organismes de formation

Toujours peu de certifications hors diplôme

En 2014, une offre centrée autour de la formation non certifiante

- Quelques formations potentiellement certifiantes proposées par les écoles d'ingénieurs

En 2022, une offre plus équilibrée entre certifiant et non certifiant

- Environ 50% de la formation est certifiante
- La quasi-intégralité de l'offre de formation certifiante est composée de certifications également accessibles en formation initiale mis à part le titre de chef de projet système embarqué d'YNOV Campus

Une auto-organisation de la formation comme principale pratique des salariés et des entreprises

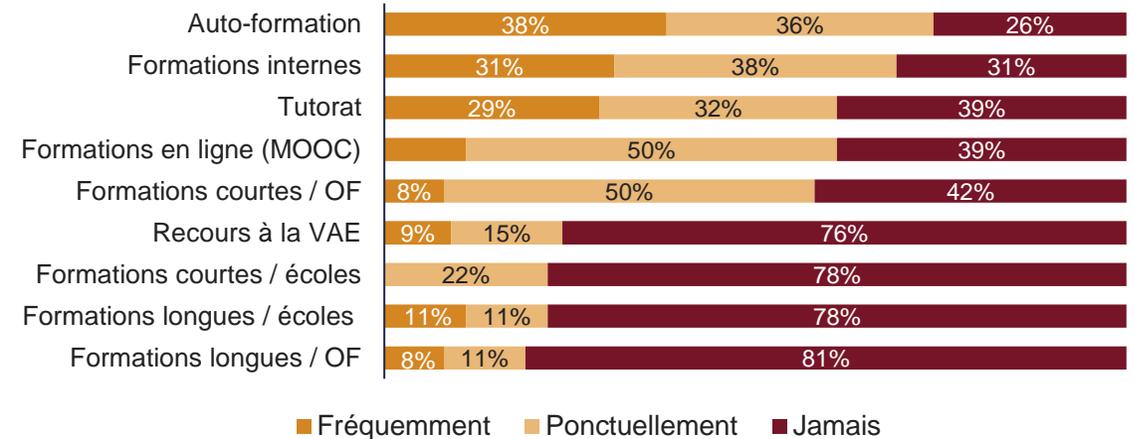
- En matière de formation continue, les entreprises de la filière privilégient d'abord les **modalités individuelles** : 74% s'appuient sur l'auto-formation de leurs salariés (tutoriel, conférences...).
- **Près de 7 entreprises sur 10 organisent également des sessions de formation en interne** pour répondre aux besoins spécifiques de certains salariés. Elles s'appuient ainsi fortement sur leurs expertises internes pour faire monter en compétence l'ensemble de leurs salariés. Le tutorat est également mis en place par près d'une entreprise sur deux.

Un recours plus limité à des organismes de formation et à des contenus externes

- **61% des entreprises ont recours à la formation en ligne**, via des modules de type MOOC. Cette modalité présente le double avantage d'une très grande diversité des thématiques de formation disponibles et d'un coût modéré, avec des possibilités d'organisation facilitées par rapport à des sessions longues immobilisant plusieurs salariés en même temps.
- Les **formations externes restent mobilisées** par les acteurs de la filière, mais **principalement pour des formats courts, et de manière ponctuelle (50%)**. Les formations longues des organismes externes, souvent très onéreuses et moins évidentes à mettre en place, ne sont utilisées que par moins d'une entreprise sur cinq (19%) – légèrement moins que leurs équivalents proposés par les établissements d'enseignement supérieur (22%).
- Enfin, la **validation des acquis par l'expérience (VAE)** est mobilisée par un peu moins d'un quart des entreprises de la filière.

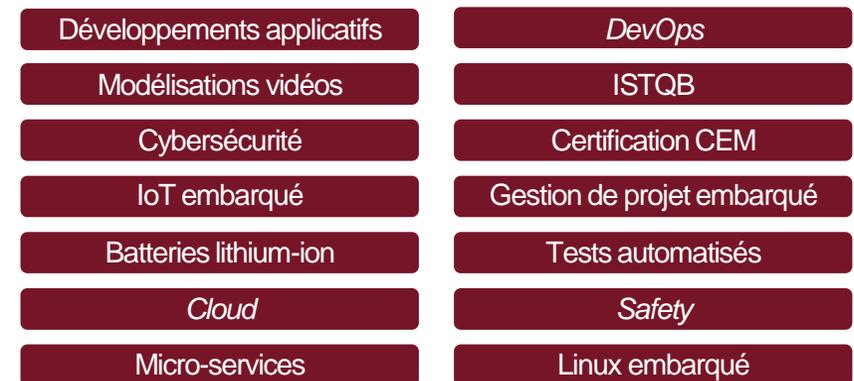
Répartition des entreprises selon leurs pratiques de formation

Source : Enquête et traitement KYU, 2022



Les principales thématiques de formation mobilisées par les entreprises

Source : Enquête et traitement KYU, 2022



Des entreprises d'abord retenues par le coût des formations et le manque d'information

- Près de la moitié (49%) des entreprises interrogées mentionnent le **prix des formations** externes comme **une des difficultés principales du développement des politiques de formation continue**. Dans le secteur des systèmes embarqués, ces dernières peuvent être d'autant plus onéreuses que la forte spécificité des sujets techniques limite fortement la concurrence entre organismes de formation.
- Les entreprises de la filière sont également très nombreuses (46%) à souligner **ne pas disposer d'une information suffisante** et de qualité en matière de formation continue, soulignant ainsi la nécessité de continuer à proposer aux entreprises des dispositifs d'accompagnement sur le sujet.
- Parmi les autres freins à la formation identifiés, le **manque de disponibilité des salariés**, la **durée des formations** et la **moindre qualité** des formations proposées sont cités par respectivement 39%, 17% et 7% des entreprises interrogées.

Certains types de formations manquent aux entreprises de la filière

Près du tiers (32%) des entreprises de la filière déplorent également le manque de formations suffisamment spécialisées sur leurs sujets. Plusieurs types de formations semblent ainsi faire défaut :

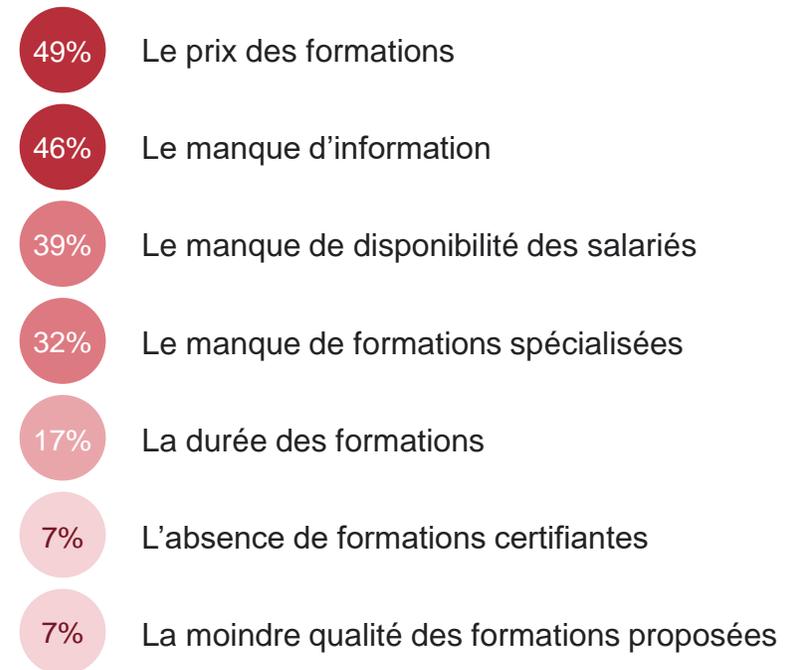
- **Certaines formations techniques** : formation protocole radio, formation comptabilité électromagnétique, formation au développement de systèmes embarqués complexes et critiques, formation mémoire embarquée, formation en tests automatisés*...
- **Des formations transverses** de développement des compétences : formations chef de projet en systèmes embarqués, formations en management spécialisées*...

*Source : Enquête et traitement KYU, Entretiens de l'enquête qualitative, 2022.



Classement des principaux freins à la formation continue*

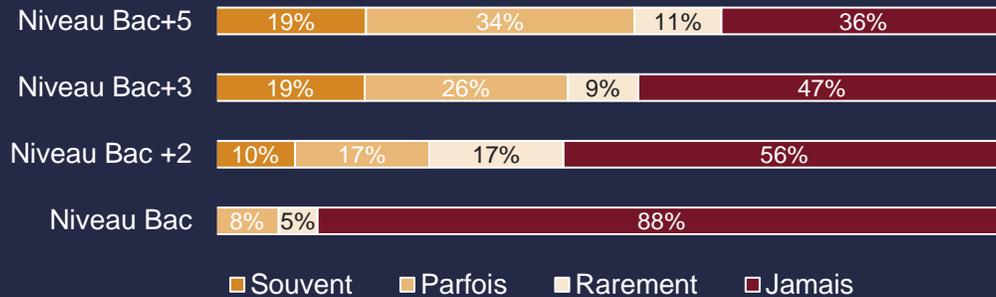
Source : Enquête et traitement KYU, 2022



*en pourcentage des entreprises répondantes

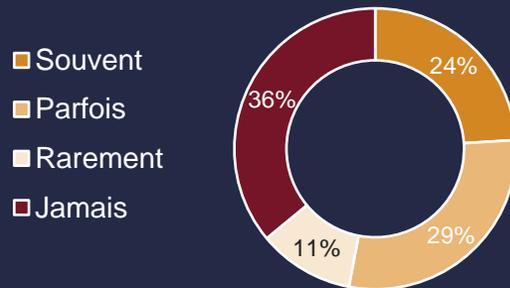
Répartition des entreprises en fonction de leur recours à l'alternance par niveau d'étude

Source : enquête et traitement KYU



Répartition des entreprises selon la fréquence des embauches à l'issue des contrats d'alternance

Source : enquête et traitement KYU



L'alternance, un moyen de former et de lutter contre les tensions de recrutement

- Les acteurs de la filière de l'embarqué ont recours à l'alternance comme moyen de **lutter contre les tensions de recrutement** : c'est une modalité qui permet en effet de former précisément un apprenant en interne et sur un poste réel, souvent à moindre coût pour des entreprises qui ne pourraient pas nécessairement ouvrir un poste en contrat à durée indéterminée.
- L'alternance est largement utilisée par les acteurs de la filière : plus de la moitié des entreprises interrogées **déclarent embaucher « parfois » ou « souvent » les alternants** à l'issue de leur contrat. Elles ne sont que 36% à déclarer ne jamais le faire.

Un recours à l'alternance important, mais qui demeure hétérogène

- Tous niveaux confondus, **environ une entreprise de la filière sur deux déclare avoir recours à l'alternance**, un taux important qui cache néanmoins de profondes disparités.
- Le **recours à l'alternance est ainsi corrélé au niveau d'études** : 88% des entreprises n'y ont jamais recours sur des postes de niveau Bac, contre 56% pour les postes de niveau Bac+2, 47% pour le niveau Bac+3 et seulement 36% pour les postes de niveau master. La grande **majorité des alternants en systèmes embarqués sont dès lors des élèves ingénieurs ou en master**, en cohérence avec la sociologie des salariés de la filière.
- Il apparaît par ailleurs que les entreprises les plus grandes sont également celles qui mobilisent le plus l'alternance.

Ces divergences, qui se retrouvent également selon l'activité des entreprises étudiées, s'expliquent par la **difficulté de mettre en place de l'alternance dans certaines situations**. Les entreprises interrogées ont notamment souligné que le suivi des projets dans certains secteurs d'activité (automobile, spatial...) n'était guère envisageable à temps partiel, du fait des successions rapprochées d'échéances et des **délais fortement contraints par le donneur d'ordre**. Certaines alternances sont également rendues impossibles par la **situation géographique des entreprises hôtes**, éloignées des centres de formation spécialisés proposant cette modalité.

Partie 6

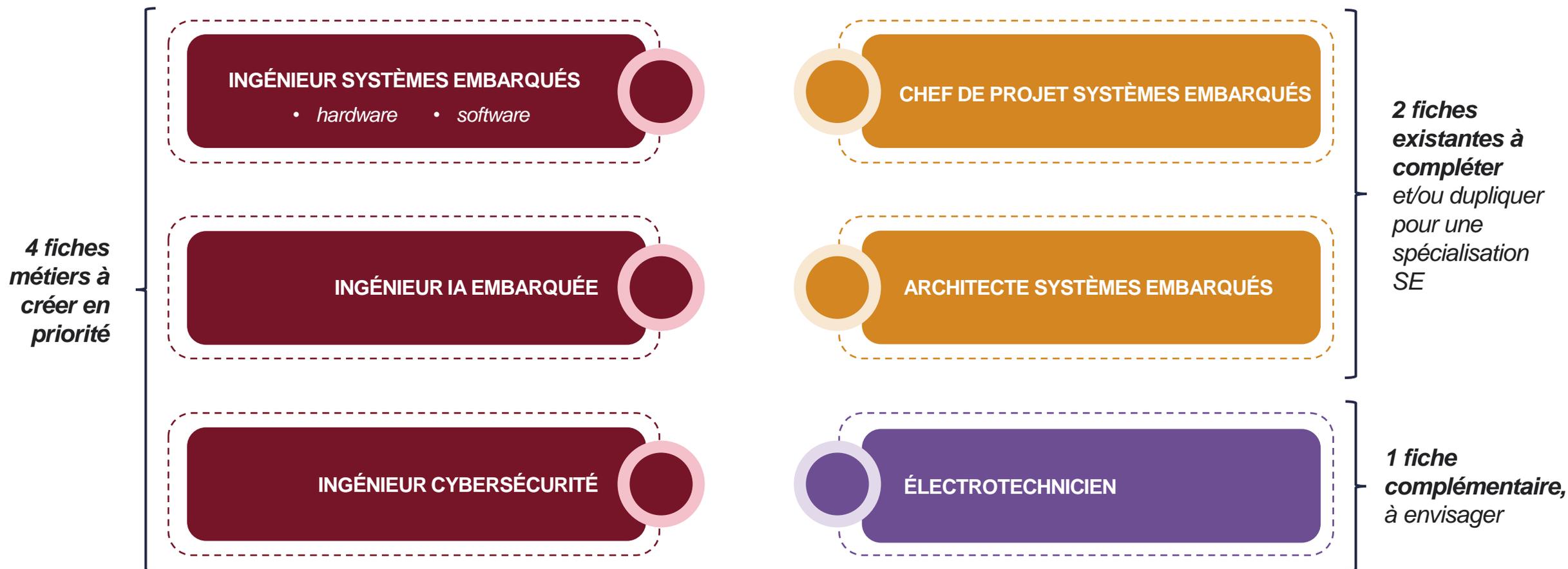
FICHES MÉTIERS ET PROFILS DE CARRIÈRE

- **Présentation des fiches métiers**
- **Profils de carrière**



Retour au
sommaire

En reprenant la synthèse des évolutions métiers (besoins et compétences) et en prenant en compte l'inventaire des métiers le plus en tension dans l'embarqué, **quatre métiers centraux qui ne font pas encore l'objet de fiches métiers se dégagent** (●). Deux autres métiers, déjà répertoriés, devraient eux faire l'objet de fiches spécifiques à la filière des systèmes embarqués (●). Enfin, un dernier métier, de niveau technicien, pourrait faire l'objet d'une fiche métier complémentaire (●).



Fiches réalisées

1 | NUMÉRIQUE | FICHES MÉTIERS SYSTEMES EMBARQUÉS

INGÉNIEUR LOGICIEL EMBARQUÉ

Appellations anglaises : Embedded system engineer, embedded software engineer, embedded digital technology development engineer
Code OPIEC : MET22 - Équipe et support en systèmes d'information

Familles de métiers
Architecture et conception de la solution / Développement et test de la solution

Finalité
L'ingénieur logiciel embarqué participe à la conception et au développement de la part logicielle (partielle ou systématique) de divers systèmes embarqués, en intégrant les contraintes techniques, économiques et physiques (consommation, gestion du temps réel, ...) du projet. Selon les situations, l'ingénieur logiciel embarqué peut être spécialisé dans un domaine de compétence particulier.

Missions principales

- Trouver techniquement le besoin fonctionnel
- L'ingénieur logiciel embarqué participe à la définition du projet en comprenant les besoins fonctionnels et les contraintes d'un projet et en travaillant en fonctionnalité et capacités techniques.
- Concevoir et développer un logiciel embarqué
- L'ingénieur logiciel embarqué participe en parallèle à la définition et au développement des programmes logiciels du système permettant de répondre aux besoins exprimés, à grand en compte les contraintes de fiabilité, de sécurité et encore de coût dans les logiciels qui le développent.
- Réaliser les tests et la validation du système
- L'ingénieur logiciel embarqué participe à la réalisation des tests unitaires et d'intégration du système pour garantir sa fiabilité, son respect des normes réglementaires et sa sécurité.

Variables spécifiques au métier
L'ingénieur logiciel embarqué peut disposer d'expertises :

- Secteur
- Contraintes liées à la criticité de certains systèmes et de la diversité des normes et réglementations existantes. L'ingénieur logiciel embarqué doit maîtriser un environnement de contraintes variable en fonction du secteur applicatif des systèmes qu'il conçoit.
- Technologiques
- En fonction des projets, l'ingénieur logiciel embarqué peut intervenir sur des systèmes simples ou des systèmes de systèmes ou systèmes cyberphysiques nécessitant des compétences en intelligence artificielle, fonctionnement en temps réel, connectés et fonctionnant en cloud ou en edge computing, systèmes de systèmes et nécessitant des protections cyber.

Contextes organisationnels

- Taille et type d'entreprise
- Dans les OPIIEC, les missions sont davantage tournées vers des profils polyvalents participant à l'ensemble des missions vœu vers des profils disposant d'une expertise forte dans l'un des domaines technologiques ou sectoriels. Dans les grands groupes les missions plus restreintes autour de l'une des activités du métier avant d'évoluer vers d'autres missions.
- Taille et type de projet
- En parallèle de certains les ingénieurs logiciels embarqués interviennent sur des petits projets ou des missions de test et validation, ou à la mise à jour de leur champ d'action initial et de garantir l'interopérabilité d'un système de systèmes ou de systèmes de systèmes interconnectés et de systèmes de systèmes nécessitant une compréhension globale et systémique d'équipements multiconnectés.

KYU pour l'OPIIEC - 2022
Formations et compétences sur les systèmes embarqués

OPIIEC

Description du métier et des missions principales

Variables spécifiques au métier

Contextes organisationnels

Compétences transverses (référentiel OPIIEC)

Compétences spécifiques systèmes embarqués

2 | NUMÉRIQUE | FICHES MÉTIERS SYSTEMES EMBARQUÉS

INGÉNIEUR LOGICIEL EMBARQUÉ

Compétences

Comportementales

- Accueillir ses connaissances et s'adapter - Niveau de maturité 2
- Communiquer efficacement - Niveau de maturité 2
- Créer et maintenir une relation client favorable - Niveau de maturité 3
- Faciliter les projets et transformations - Niveau de maturité 1
- Développer son autonomie - Niveau de maturité 3
- Influencer et convaincre - Niveau de maturité 2
- Innover et animer un processus d'innovation - Niveau de maturité 2
- Participer et animer un travail d'équipe - Niveau de maturité 1
- Suivre un cadre d'intervention défini - Niveau de maturité 2
- Utiliser l'anglais en contexte professionnel - Niveau de maturité 2

Organisationnelles

- Animer une démarche agile et innovante - Niveau de maturité 1
- Gérer un projet - Niveau de maturité 2
- Gérer une proposition commerciale - Niveau de maturité 2
- Présenter et transactionner son activité - Niveau de maturité 3
- Se conformer aux normes et à la réglementation - Niveau de maturité 3

Techniques

- Animer une concertation - Niveau de maturité 1
- Assister la maîtrise d'ouvrage en cadrage projet - Niveau de maturité 1
- Collecter et exploiter les informations liées au projet - Niveau de maturité 3
- Développer une solution digitale - Niveau de maturité 4
- Gérer et exploiter les données massives - Niveau de maturité 2
- Gérer une architecture fondamentale (SI) - Niveau de maturité 4
- Gérer une architecture technique - Niveau de maturité 3
- Intégrer des outils IoT/Big Data/Science - Niveau de maturité 3
- Mettre un diagnostic ou un test/essai technique - Niveau de maturité 3
- Mettre en processus de test en cybersécurité - Niveau de maturité 2

Techniques spécifiques aux systèmes embarqués

- Concevoir l'architecture embarquée d'un système en prenant en compte les exigences de fiabilité, sécurité, poids, volume, coût - distributeur, fabricant, architectes, mécaniciens et systèmes de systèmes, connectivité sans fil, interface et interaction entre la système, architecture middleware.
- Développer une solution digitale en utilisant les langages de programmation des systèmes embarqués - Linux, C, C++.
- Concevoir des systèmes informatiques Temps réel - RTLinux.
- Intégrer les contraintes de cybersécurité dans la conception de la solution logicielle - cybersécurité des données, sélection des composants électroniques.
- Intégrer les solutions d'intelligence artificielle au sein des équipements embarqués - machine learning, traitement automatique du langage naturel, data science, algorithmes.

KYU pour l'OPIIEC - 2022
Formations et compétences sur les systèmes embarqués

OPIIEC

3 | NUMÉRIQUE | FICHES MÉTIERS SYSTEMES EMBARQUÉS

INGÉNIEUR EN ÉLECTRONIQUE EMBARQUÉE

Appellations anglaises : Embedded hardware engineer, embedded hardware design engineer
Code OPIEC : MET22 - Équipe et support en systèmes d'information

Familles de métiers
Architecture et conception de la solution / Développement et test de la solution

Finalité
L'ingénieur en électronique embarquée participe à la conception et au développement de la part matérielle (partielle ou systématique) de divers systèmes embarqués, en intégrant les contraintes techniques, économiques et physiques (consommation, gestion du temps réel, ...) du projet. Selon les situations, l'ingénieur en électronique embarquée peut être spécialisé dans un domaine de compétence particulier.

Missions principales

- Trouver techniquement le besoin fonctionnel
- L'ingénieur en électronique embarquée participe à la définition du projet en comprenant les besoins fonctionnels et les contraintes d'un projet et en travaillant en fonctionnalité et capacités techniques.
- Concevoir et développer un matériel embarqué
- L'ingénieur en électronique embarquée participe en parallèle à la définition et au développement des programmes logiciels du système permettant de répondre aux besoins exprimés, à grand en compte les contraintes de fiabilité, de sécurité et encore de coût dans les logiciels qui le développent.
- Réaliser les tests et la validation du système
- L'ingénieur en électronique embarquée participe à la réalisation des tests unitaires et d'intégration du système pour garantir sa fiabilité, son respect des normes réglementaires et sa sécurité.

Variables spécifiques au métier
L'ingénieur en électronique embarquée peut disposer d'expertises :

- Secteur
- Contraintes liées à la criticité de certains systèmes et de la diversité des normes et réglementations existantes. L'ingénieur en électronique embarquée doit maîtriser un environnement de contraintes variable en fonction du secteur applicatif des systèmes qu'il conçoit.
- Technologiques
- En fonction des projets, l'ingénieur en électronique embarquée peut intervenir sur des systèmes simples ou des systèmes de systèmes ou systèmes cyberphysiques nécessitant des compétences en intelligence artificielle, fonctionnement en temps réel, connectés et fonctionnant en cloud ou en edge computing, systèmes de systèmes et nécessitant des protections cyber.

Contextes organisationnels

- Taille et type d'entreprise
- Dans les OPIIEC, les missions sont davantage tournées vers des profils polyvalents participant à l'ensemble des missions vœu vers des profils disposant d'une expertise forte dans l'un des domaines technologiques ou sectoriels. Dans les grands groupes les missions plus restreintes autour de l'une des activités du métier avant d'évoluer vers d'autres missions.
- Taille et type de projet
- En parallèle de certains les ingénieurs électroniques embarqués interviennent sur des petits projets ou des missions de test et validation, ou à la mise à jour de leur champ d'action initial et de garantir l'interopérabilité d'un système de systèmes ou de systèmes de systèmes interconnectés et de systèmes de systèmes nécessitant une compréhension globale et systémique d'équipements multiconnectés.

KYU pour l'OPIIEC - 2022
Formations et compétences sur les systèmes embarqués

OPIIEC

4 | NUMÉRIQUE | FICHES MÉTIERS SYSTEMES EMBARQUÉS

ARCHITECTE DE SYSTEMES EMBARQUÉS

Appellations anglaises : Embedded system architect, embedded system design engineer
Code OPIEC : MET22 - Équipe et support en systèmes d'information

Familles de métiers
Architecture et conception de la solution / Développement et test de la solution

Finalité
L'architecte de systèmes embarqués participe à la conception et au développement de la part logicielle (partielle ou systématique) de divers systèmes embarqués, en intégrant les contraintes techniques, économiques et physiques (consommation, gestion du temps réel, ...) du projet. Selon les situations, l'architecte de systèmes embarqués peut être spécialisé dans un domaine de compétence particulier.

Missions principales

- Trouver techniquement le besoin fonctionnel
- L'architecte de systèmes embarqués participe à la définition du projet en comprenant les besoins fonctionnels et les contraintes d'un projet et en travaillant en fonctionnalité et capacités techniques.
- Concevoir et développer un logiciel embarqué
- L'architecte de systèmes embarqués participe en parallèle à la définition et au développement des programmes logiciels du système permettant de répondre aux besoins exprimés, à grand en compte les contraintes de fiabilité, de sécurité et encore de coût dans les logiciels qui le développent.
- Réaliser les tests et la validation du système
- L'architecte de systèmes embarqués participe à la réalisation des tests unitaires et d'intégration du système pour garantir sa fiabilité, son respect des normes réglementaires et sa sécurité.

Variables spécifiques au métier
L'architecte de systèmes embarqués peut disposer d'expertises :

- Secteur
- Contraintes liées à la criticité de certains systèmes et de la diversité des normes et réglementations existantes. L'architecte de systèmes embarqués doit maîtriser un environnement de contraintes variable en fonction du secteur applicatif des systèmes qu'il conçoit.
- Technologiques
- En fonction des projets, l'architecte de systèmes embarqués peut intervenir sur des systèmes simples ou des systèmes de systèmes ou systèmes cyberphysiques nécessitant des compétences en intelligence artificielle, fonctionnement en temps réel, connectés et fonctionnant en cloud ou en edge computing, systèmes de systèmes et nécessitant des protections cyber.

Contextes organisationnels

- Taille et type d'entreprise
- Dans les OPIIEC, les missions sont davantage tournées vers des profils polyvalents participant à l'ensemble des missions vœu vers des profils disposant d'une expertise forte dans l'un des domaines technologiques ou sectoriels. Dans les grands groupes les missions plus restreintes autour de l'une des activités du métier avant d'évoluer vers d'autres missions.
- Taille et type de projet
- En parallèle de certains les architectes de systèmes embarqués interviennent sur des petits projets ou des missions de test et validation, ou à la mise à jour de leur champ d'action initial et de garantir l'interopérabilité d'un système de systèmes ou de systèmes de systèmes interconnectés et de systèmes de systèmes nécessitant une compréhension globale et systémique d'équipements multiconnectés.

KYU pour l'OPIIEC - 2022
Formations et compétences sur les systèmes embarqués

OPIIEC

5 | NUMÉRIQUE | FICHES MÉTIERS SYSTEMES EMBARQUÉS

CHIEF DE PROJET SYSTEMES EMBARQUÉS

Appellations anglaises : Embedded system project manager, embedded system design manager
Code OPIEC : MET22 - Équipe et support en systèmes d'information

Familles de métiers
Architecture et conception de la solution / Développement et test de la solution

Finalité
Le chef de projet systèmes embarqués participe à la conception et au développement de la part logicielle (partielle ou systématique) de divers systèmes embarqués, en intégrant les contraintes techniques, économiques et physiques (consommation, gestion du temps réel, ...) du projet. Selon les situations, le chef de projet systèmes embarqués peut être spécialisé dans un domaine de compétence particulier.

Missions principales

- Trouver techniquement le besoin fonctionnel
- Le chef de projet systèmes embarqués participe à la définition du projet en comprenant les besoins fonctionnels et les contraintes d'un projet et en travaillant en fonctionnalité et capacités techniques.
- Concevoir et développer un logiciel embarqué
- Le chef de projet systèmes embarqués participe en parallèle à la définition et au développement des programmes logiciels du système permettant de répondre aux besoins exprimés, à grand en compte les contraintes de fiabilité, de sécurité et encore de coût dans les logiciels qui le développent.
- Réaliser les tests et la validation du système
- Le chef de projet systèmes embarqués participe à la réalisation des tests unitaires et d'intégration du système pour garantir sa fiabilité, son respect des normes réglementaires et sa sécurité.

Variables spécifiques au métier
Le chef de projet systèmes embarqués peut disposer d'expertises :

- Secteur
- Contraintes liées à la criticité de certains systèmes et de la diversité des normes et réglementations existantes. Le chef de projet systèmes embarqués doit maîtriser un environnement de contraintes variable en fonction du secteur applicatif des systèmes qu'il conçoit.
- Technologiques
- En fonction des projets, le chef de projet systèmes embarqués peut intervenir sur des systèmes simples ou des systèmes de systèmes ou systèmes cyberphysiques nécessitant des compétences en intelligence artificielle, fonctionnement en temps réel, connectés et fonctionnant en cloud ou en edge computing, systèmes de systèmes et nécessitant des protections cyber.

Contextes organisationnels

- Taille et type d'entreprise
- Dans les OPIIEC, les missions sont davantage tournées vers des profils polyvalents participant à l'ensemble des missions vœu vers des profils disposant d'une expertise forte dans l'un des domaines technologiques ou sectoriels. Dans les grands groupes les missions plus restreintes autour de l'une des activités du métier avant d'évoluer vers d'autres missions.
- Taille et type de projet
- En parallèle de certains les chefs de projet systèmes embarqués interviennent sur des petits projets ou des missions de test et validation, ou à la mise à jour de leur champ d'action initial et de garantir l'interopérabilité d'un système de systèmes ou de systèmes de systèmes interconnectés et de systèmes de systèmes nécessitant une compréhension globale et systémique d'équipements multiconnectés.

KYU pour l'OPIIEC - 2022
Formations et compétences sur les systèmes embarqués

OPIIEC

6 | NUMÉRIQUE | FICHES MÉTIERS SYSTEMES EMBARQUÉS

INGÉNIEUR EN ÉLECTRONIQUE EMBARQUÉE

Appellations anglaises : Embedded hardware engineer, embedded hardware design engineer
Code OPIEC : MET22 - Équipe et support en systèmes d'information

Familles de métiers
Architecture et conception de la solution / Développement et test de la solution

Finalité
L'ingénieur en électronique embarquée participe à la conception et au développement de la part matérielle (partielle ou systématique) de divers systèmes embarqués, en intégrant les contraintes techniques, économiques et physiques (consommation, gestion du temps réel, ...) du projet. Selon les situations, l'ingénieur en électronique embarquée peut être spécialisé dans un domaine de compétence particulier.

Missions principales

- Trouver techniquement le besoin fonctionnel
- L'ingénieur en électronique embarquée participe à la définition du projet en comprenant les besoins fonctionnels et les contraintes d'un projet et en travaillant en fonctionnalité et capacités techniques.
- Concevoir et développer un matériel embarqué
- L'ingénieur en électronique embarquée participe en parallèle à la définition et au développement des programmes logiciels du système permettant de répondre aux besoins exprimés, à grand en compte les contraintes de fiabilité, de sécurité et encore de coût dans les logiciels qui le développent.
- Réaliser les tests et la validation du système
- L'ingénieur en électronique embarquée participe à la réalisation des tests unitaires et d'intégration du système pour garantir sa fiabilité, son respect des normes réglementaires et sa sécurité.

Variables spécifiques au métier
L'ingénieur en électronique embarquée peut disposer d'expertises :

- Secteur
- Contraintes liées à la criticité de certains systèmes et de la diversité des normes et réglementations existantes. L'ingénieur en électronique embarquée doit maîtriser un environnement de contraintes variable en fonction du secteur applicatif des systèmes qu'il conçoit.
- Technologiques
- En fonction des projets, l'ingénieur en électronique embarquée peut intervenir sur des systèmes simples ou des systèmes de systèmes ou systèmes cyberphysiques nécessitant des compétences en intelligence artificielle, fonctionnement en temps réel, connectés et fonctionnant en cloud ou en edge computing, systèmes de systèmes et nécessitant des protections cyber.

Contextes organisationnels

- Taille et type d'entreprise
- Dans les OPIIEC, les missions sont davantage tournées vers des profils polyvalents participant à l'ensemble des missions vœu vers des profils disposant d'une expertise forte dans l'un des domaines technologiques ou sectoriels. Dans les grands groupes les missions plus restreintes autour de l'une des activités du métier avant d'évoluer vers d'autres missions.
- Taille et type de projet
- En parallèle de certains les ingénieurs électroniques embarqués interviennent sur des petits projets ou des missions de test et validation, ou à la mise à jour de leur champ d'action initial et de garantir l'interopérabilité d'un système de systèmes ou de systèmes de systèmes interconnectés et de systèmes de systèmes nécessitant une compréhension globale et systémique d'équipements multiconnectés.

KYU pour l'OPIIEC - 2022
Formations et compétences sur les systèmes embarqués

OPIIEC

7 | NUMÉRIQUE | FICHES MÉTIERS SYSTEMES EMBARQUÉS

INGÉNIEUR CYBERSÉCURITÉ POUR SYSTEMES EMBARQUÉS

Appellations anglaises : Embedded system security engineer, embedded system security design engineer
Code OPIEC : MET22 - Équipe et support en systèmes d'information

Familles de métiers
Architecture et conception de la solution / Développement et test de la solution

Finalité
L'ingénieur cybersécurité pour systèmes embarqués participe à la conception et au développement de la part logicielle (partielle ou systématique) de divers systèmes embarqués, en intégrant les contraintes techniques, économiques et physiques (consommation, gestion du temps réel, ...) du projet. Selon les situations, l'ingénieur cybersécurité pour systèmes embarqués peut être spécialisé dans un domaine de compétence particulier.

Missions principales

- Trouver techniquement le besoin fonctionnel
- L'ingénieur cybersécurité pour systèmes embarqués participe à la définition du projet en comprenant les besoins fonctionnels et les contraintes d'un projet et en travaillant en fonctionnalité et capacités techniques.
- Concevoir et développer un logiciel embarqué
- L'ingénieur cybersécurité pour systèmes embarqués participe en parallèle à la définition et au développement des programmes logiciels du système permettant de répondre aux besoins exprimés, à grand en compte les contraintes de fiabilité, de sécurité et encore de coût dans les logiciels qui le développent.
- Réaliser les tests et la validation du système
- L'ingénieur cybersécurité pour systèmes embarqués participe à la réalisation des tests unitaires et d'intégration du système pour garantir sa fiabilité, son respect des normes réglementaires et sa sécurité.

Variables spécifiques au métier
L'ingénieur cybersécurité pour systèmes embarqués peut disposer d'expertises :

- Secteur
- Contraintes liées à la criticité de certains systèmes et de la diversité des normes et réglementations existantes. L'ingénieur cybersécurité pour systèmes embarqués doit maîtriser un environnement de contraintes variable en fonction du secteur applicatif des systèmes qu'il conçoit.
- Technologiques
- En fonction des projets, l'ingénieur cybersécurité pour systèmes embarqués peut intervenir sur des systèmes simples ou des systèmes de systèmes ou systèmes cyberphysiques nécessitant des compétences en intelligence artificielle, fonctionnement en temps réel, connectés et fonctionnant en cloud ou en edge computing, systèmes de systèmes et nécessitant des protections cyber.

Contextes organisationnels

- Taille et type d'entreprise
- Dans les OPIIEC, les missions sont davantage tournées vers des profils polyvalents participant à l'ensemble des missions vœu vers des profils disposant d'une expertise forte dans l'un des domaines technologiques ou sectoriels. Dans les grands groupes les missions plus restreintes autour de l'une des activités du métier avant d'évoluer vers d'autres missions.
- Taille et type de projet
- En parallèle de certains les ingénieurs cybersécurité pour systèmes embarqués interviennent sur des petits projets ou des missions de test et validation, ou à la mise à jour de leur champ d'action initial et de garantir l'interopérabilité d'un système de systèmes ou de systèmes de systèmes interconnectés et de systèmes de systèmes nécessitant une compréhension globale et systémique d'équipements multiconnectés.

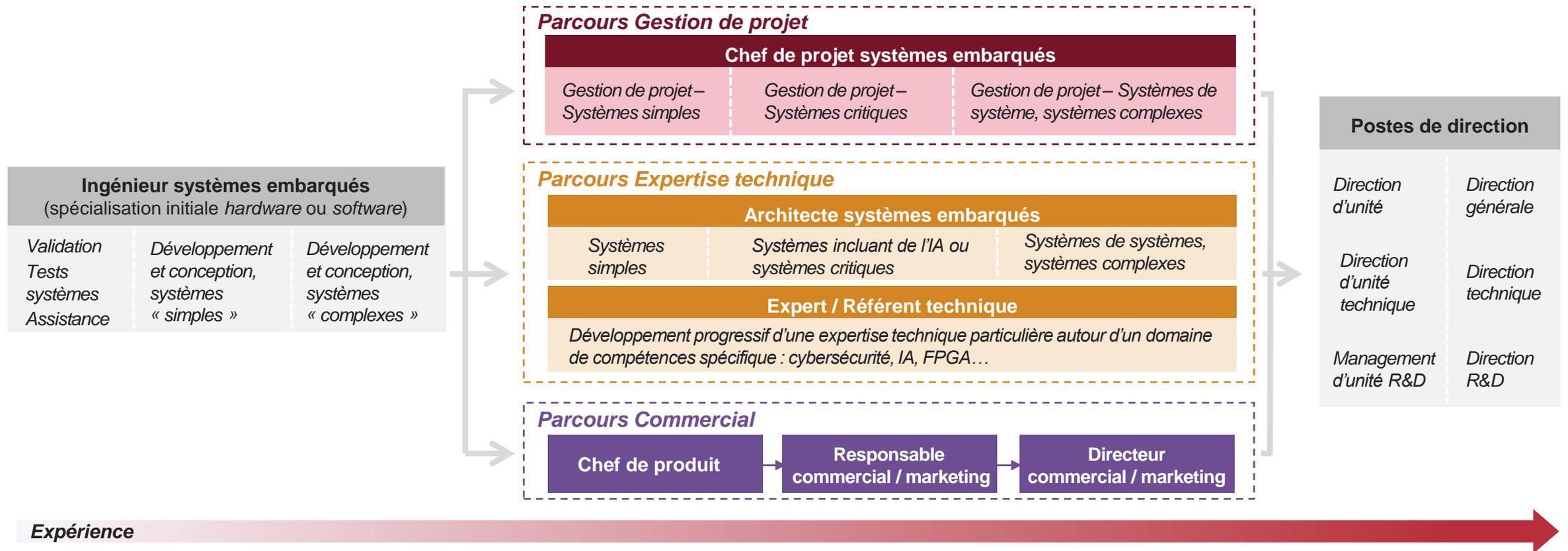
KYU pour l'OPIIEC - 2022
Formations et compétences sur les systèmes embarqués

OPIIEC

- Ingénieur IA embarquée
- Architecte systèmes embarqués
- Ingénieur en électronique embarquée
- Ingénieur logiciel embarqué
- Électrotechnicien
- Chef de projet systèmes embarqués
- Ingénieur cybersécurité pour systèmes embarqués

Au travers de l'enquête en ligne et des entretiens réalisés, deux profils-types de carrière se dessinent dans la filière : un profil « **gestions de projet** » pour les ingénieurs ayant une appétence particulière en la matière et un profil « **expertise technique** » où l'ingénieur systèmes développe au fil de ses postes une expertise technique avancée – à travers de laquelle il reste impliqué dans la conception des systèmes tout au long de sa carrière. Un troisième **parcours orienté « commercial** » est également possible.

Remarques : Bien que correspondant à des types de carrières bien réels, ces profils restent toutefois indicatifs, et des passerelles existent entre les métiers des différents parcours. Dans les petites et moyennes entreprises, la taille réduite de l'effectif peut se traduire par une plus grande porosité entre les métiers d'ingénieur, de chef de projet et d'architecte systèmes embarqués. De plus, sur certains types de projet, des compétences spécifiques propres au secteur d'intégration du systèmes embarqués (automobile, spatial...) peuvent être nécessaires.



Partie 7

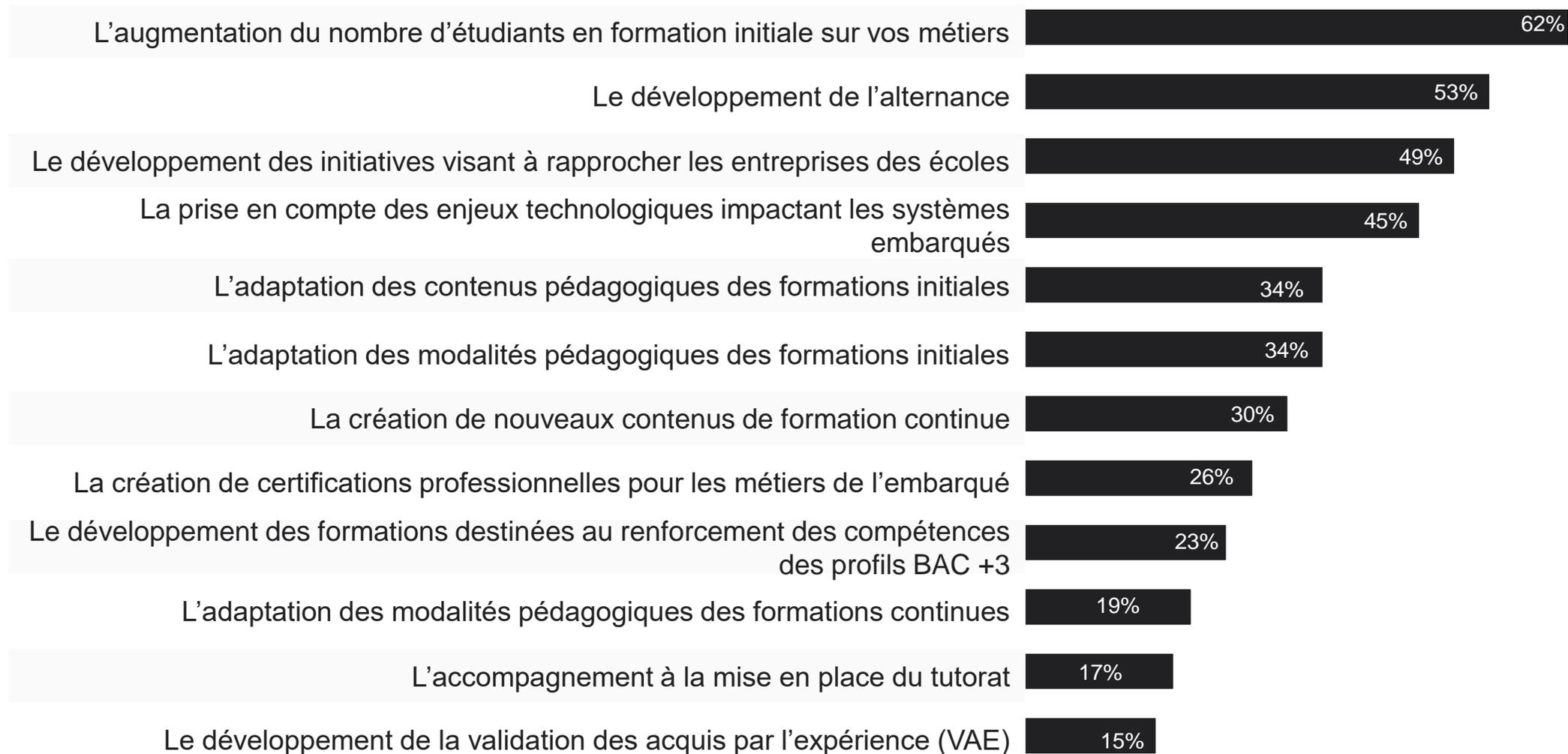
RECOMMANDATIONS OPÉRATIONNELLES

- Enjeux relatifs à l'emploi et à la formation dans le secteur des systèmes embarqués
- Recommandations opérationnelles



Retour au
sommaire

Les pistes d'action jugées prioritaires par les entreprises – Sondage et traitement KYU



1

Réduire les tensions au recrutement

- **Augmenter le nombre d'étudiants** dans les formations existantes ————— *50% des entreprises citent le manque d'ingénieurs comme une des raisons principales des tensions de recrutement*
- **Améliorer la connaissance et les liens entre les PME/TPE et les établissements de formation** ————— *49% des entreprises jugent prioritaire le renforcement de leurs contacts avec les établissements de formation*
- **Attirer des profils venant d'autres spécialisations** (ingénieur logiciel, IA, cyber) dans le secteur ————— *De nombreuses passerelles sont possibles depuis d'autres spécialités, mais elles restent peu utilisées à l'heure actuelle*
- **Développer la VAE** pour les profils de techniciens et techniciens supérieurs ————— *66% des entreprises recrutent au niveau Bac +2, 72% au niveau Bac+3, ce qui en fait des viviers de recrutement clés*

2

Accompagner l'évolution des métiers

- **Renforcer le poids de l'électronique** dans la formation initiale ————— *Le manque de compétences des étudiants en électronique a été fréquemment souligné par les entreprises interrogées*
- **Accompagner les salariés sur les nouveaux domaines de compétence** par la création de certifications en IA, cyber et systèmes de système ————— *32% des entreprises déplorent le manque de formations spécialisées dans leurs domaines de compétences*

3

Encourager la féminisation du secteur

- **Augmenter le nombre d'étudiantes** dans les formations ————— *Les étudiantes sont sous-représentées dans les formations spécialisées en SE par rapport aux autres formations d'ingénieur*

4

Accompagner les fins de carrière

- **Favoriser le recours au tutorat** dans la filière ————— *Seules 29% des entreprises interrogées ont fréquemment recours au tutorat.*
- **Renforcer l'implication des seniors dans les actions de promotion** de la filière et de ses métiers ————— *La mobilisation de salariés seniors dans le cadre de la promotion des métiers pourrait offrir des possibilités d'évolution.*

5

**pistes d'action
prioritaires, faisant
l'objet de fiches
détaillées**

Action n°	Intitulé de la piste d'action	Enjeux associés
1	Déployer des actions de présentation ciblées des métiers, des formations et des perspectives de la filière des systèmes embarqués à destination d'un public d'étudiants	1
2	Lancer une étude d'opportunité sur des certifications spécifiques aux nouveaux domaines de compétences de l'embarqué	2
3	Structurer et animer un réseau d'ambassadrices des carrières de l'embarqué et mettre en place une banque de portraits professionnels afin de valoriser les parcours des femmes de la filière	3
4	Créer une boîte à outils des dispositifs existants afin d'encourager et de certifier le développement des compétences des techniciens et techniciens supérieurs de la filière	1
5	Diffuser et alimenter la cartographie des formations initiales et continues des systèmes embarqués auprès des acteurs de la filière	1 & 2

7

**pistes d'action
complémentaires
à étudier**

6	Co-construire, avec les petites et moyennes entreprises de la filière, des concours et challenge « clés en main » sur des thématiques de l'embarqué à destination des étudiants en formation initiale	1
7	Valoriser l' <i>open source</i> comme une porte d'entrée vers l'électronique et créer des partenariats pour mener ce travail de mise en valeur	1
8	Mettre en œuvre un plan de communication ciblé et multi-niveaux sur les femmes dans les métiers des systèmes embarqués	3
9	Créer des outils de communication et de présentation (vidéos, fiches...) à destination des conseillers d'orientation des lycées sur les carrières et métiers des systèmes embarqués	1
10	Cibler les spécialisations proches des systèmes embarqués, notamment en intelligence artificielle, en cybersécurité et en électronique afin d'y présenter les différentes opportunités de l'embarqué	1
11	Déployer des actions de communication autour du tutorat à destination des entreprises et des salariés, en accordant une importance particulière à l'implication des seniors	4
12	Sur le modèle des prêts / mises à disposition de main d'œuvre, favoriser la « banalisation » de journées de travail des salariés seniors consacrées à des actions de présentation et de promotion des carrières de l'embarqué.	4

5 fiches action détaillées et priorisées

OPIIEC

Piste d'action 2 - Lancer une étude d'opportunité sur des certifications spécifiques aux nouveaux domaines de compétences de l'embarqué

Branche BETIC	Étude Formation et compétences sur les systèmes embarqués – dont la mise à jour de la cartographie des formations	Chef de projet Julie Devineau
Numéro de l'action 2	Domaine / enjeux de l'action Accompagner l'évolution des métiers	Niveau de priorité 1

Constat de l'étude

En 2022, la quasi-intégralité des formations certifiantes disponibles dans le domaine de systèmes embarqués est composée de diplômes également accessibles par la formation initiale. Cela limite grandement le nombre de formations courtes certifiantes, ce qui semble en décalage avec les attentes et les pratiques des entreprises de la filière. Ces dernières ne sont en effet que 22% à faire appel à des formations longues dispensées par des établissements de formation initiale (19% pour les formations longues des organismes de formation), alors qu'elles sont plus de la moitié à mobiliser les formations courtes proposées par les organismes de formation.

L'opportunité de diversifier l'offre de certifications spécifiques aux systèmes embarqués est également soulignée par la part significative des entreprises interrogées (26%) qui déplorent l'inadéquation des modalités des formations existantes avec leurs besoins réels.

Situation souhaitée à MLT

- Réponse à la difficulté des entreprises à trouver des candidats disposant de certaines compétences spécifiques aux systèmes embarqués
- Facilitation de la formation aux compétences-clés de développement des systèmes embarqués, y compris pour les ingénieurs déjà en poste.

Description de l'action pour atteindre cet objectif

Il s'agit de lancer une étude dédiée afin d'évaluer l'opportunité de créer, en partenariat avec des organismes de formation, de nouvelles certifications spécifiques aux domaines de l'embarqué, notamment sur le sujet de l'intelligence artificielle embarquée, de la cybersécurité des systèmes, du model-based design appliqué aux systèmes embarqués ou en encore de la sûreté dans les systèmes embarqués.

Intitulé de l'action
Lancer une étude d'opportunité sur des certifications spécifiques aux nouveaux domaines de compétences de l'embarqué

Description de l'action

D2I / Département Prospective et projets innovants

Identification de l'étude et de l'action

Constat de l'étude - Contexte

Situation souhaitée à moyen et long terme

Description de l'action

OPIIEC

Il s'agit de lancer une étude dédiée afin d'évaluer l'opportunité de créer, en partenariat avec les organismes de formation, de nouvelles certifications spécifiques aux domaines de l'embarqué, notamment sur le sujet de l'intelligence artificielle embarquée, de la cybersécurité des systèmes, du model-based design appliqué aux systèmes embarqués ou en encore de la sûreté dans les systèmes embarqués.

Cibles de l'action Ingénieurs systèmes embarqués, développeurs, ingénieur en électronique, ingénieur sûreté en systèmes embarqués, ingénieurs en reconversion dans les systèmes embarqués, techniciens et techniciens supérieurs de l'embarqué (électronique).	Acteurs impliqués • OPIIEC • ATLAS • Fédérations et associations professionnelles	Rôle • Pilote • Financier • Contributeurs et porteurs des dossiers de dépôt de certification, le cas échéant
--	---	--

Modalités de mise en œuvre

Avec l'ensemble des parties prenantes (OPCO, OPMQ, Branche), élaborer un cahier des charges pour l'étude d'opportunité sur la création de nouvelles certifications dans le domaine de l'embarqué.

- Rappeler le contexte de la prestation en reprenant les principaux éléments de la présente étude, établir les attendus méthodologiques et un premier cadre budgétaire.
- Identifier une première liste de domaines de compétences susceptibles de faire l'objet de certification : intelligence artificielle embarquée, model-based design appliqué à l'embarqué, cybersécurité des systèmes, sûreté des systèmes
- Développer tout particulièrement la nécessité d'évaluer l'opportunité du développement de la validation des acquis par l'expérience (VAE) par la création de ces nouvelles certifications.

Lancer l'appel d'offres public pour l'étude d'opportunité, et sélectionner un prestataire.

Identifier une sélection d'entreprises de la branche pouvant participer aux différentes phases de l'étude (entretiens, enquête quantitative, atelier...)

Superviser les différentes étapes de l'étude d'opportunité :

- Première phase : évaluation de la couverture des besoins en compétences de l'offre de certification (analyse des besoins en certification des entreprises et des salariés, reprise de l'analyse de l'offre de certifications existantes faite dans la présente étude, diagnostic du niveau de couverture des besoins par les certifications existantes)
- Seconde phase : proposition d'un positionnement de la branche sur les CCP / CCP (identification des opportunités de création / rénovation des certifications, élaboration d'une stratégie de dépôt des certifications)

Conclure l'étude d'opportunité et dresser la liste des certifications devant faire l'objet d'une création.

Lancer un appel d'offres auprès des organismes de formation pour la création de formations dédiées.

Construire une demande de création des certifications identifiées auprès de France Compétences. Une fois les certifications inscrites au RNCP / RS, lancer une communication spécifique à destination des entreprises de la filière, en s'appuyant notamment sur le réseau Embedded France.

Durée estimée de mise en œuvre (en mois)	4-6 mois	Budget estimé	40 000
---	----------	----------------------	--------

D2I / Département Prospective et projets innovants

Identification des cibles, des acteurs et de leur rôle

Modalités de mises en œuvre de l'action – Déroulé par étapes

Estimation des délais et du budget



SYSTÈMES EMBARQUÉS

Formations et compétences sur les systèmes embarqués – dont la mise à jour de la cartographie des formations

Contact

—
Devineau Julie
Chef de projets Prospective
OPIIEC
25, quai Panhard et
Levassor
75013 PARIS
opiiec@opiiec.fr

Réalisation

—
KYU Associés
136 Boulevard Haussmann
75 008 Paris
www.kyu.fr



Etude réalisée avec le soutien de l'OPCO Atlas



www.opiiec.fr