

# Les enjeux industriels, économiques et académiques de la filière micro-électronique

Olivier Bonnaud<sup>1</sup>

Olivier.bonnaud@univ-rennes1.fr  
GIP-CNFM Minatec-Grenoble-INP, France

**RESUME :** L'arrivée des objets connectés et de l'internet des choses (IoT) associé, ainsi que la perspective d'une nouvelle révolution industrielle (industrie 4.0.) conduisent à revoir l'ensemble de la formation des techniciens, ingénieurs, diplômés de masters, et des docteurs tout particulièrement du domaine de la microélectronique et des nanotechnologies qui sont au cœur de tous les outils et dispositifs mis en œuvre. Si le développement apparaît fulgurant et souvent très utile pour les applications sociétales, cette évolution amène de nouveaux défis qui sont liés à l'intégration des circuits et systèmes, à la pluridisciplinarité des dispositifs, au transport des flux de données et à la consommation d'énergie associée. Si l'industrie envisage de répondre à ces défis en recentrant au niveau français cette activité, il faut tout particulièrement revoir la conception, l'architecture et la technologie de ces objets, ce qui nécessite des compétences et du savoir-faire, et donc un vivier de formés préparé à relever ces nouveaux défis. Cette présentation aborde les enjeux et les limitations de l'évolution actuelle, propose un certain nombre d'approches du domaine de la microélectronique destinées à surmonter les défis et enfin détaille la stratégie actuelle du réseau national de formation à la microélectronique (CNFM) pour préparer les futures générations à contribuer à la pérennisation de la filière.

**Mots clés :** Filière électronique française, enjeux économiques, formation en microélectronique, connaissance et savoir-faire.

## 1 INTRODUCTION

La multiplication des objets connectés et de l'internet des choses (IoT) associé, et la perspective d'une nouvelle révolution industrielle (industrie 4.0.) constituent une véritable révolution sociétale et industrielle. La croissance de ces objets est exponentielle au niveau mondial. Elle implique à la fois une augmentation fabuleuse de la complexité avec une grande diversité des domaines d'application et une maîtrise de transfert des données dont les flux sont nécessairement de plus en plus denses et de plus en plus rapides. Cette révolution se traduit par une évolution extrêmement rapide des objets physiques et donc de leurs technologies de conception et fabrication permettant de répondre aux exigences. Ces objets physiques sont essentiellement à base de composants, circuits et systèmes microélectroniques qui malgré une augmentation des performances fabuleuses durant les soixante dernières années [1] font preuve de limites quant aux applications. La figure 1 montre cette évolution exponentielle. Cela crée de nouveaux défis, qu'ils soient liés à l'intégration des composants élémentaires, à leurs performances propres, à l'architecture des circuits et systèmes, mais également, compte tenu de leur forte densité d'intégration, à leur miniaturisation à l'échelle atomique qui induit des effets quantiques de fuites électriques (type effet tunnel), et enfin à des limitations de consommation d'énergie. Pour relever ces défis, il faut des compétences et du savoir-faire. Il faut ainsi revoir l'ensemble de la formation des techniciens, ingénieurs, diplômés de masters, et des docteurs tout particulièrement du domaine de la microélectronique et des nanotechnologies qui sont au cœur de tous les outils et dispositifs mis en œuvre, dans tous leurs compartiments : conception et technologie des composants élémentaires, conception et architec-

ture des circuits, nouvelles conception et technologies d'assemblage [2], nouvelles technologies de capteurs et d'actionneurs [3], nouvelles architectures des communications.

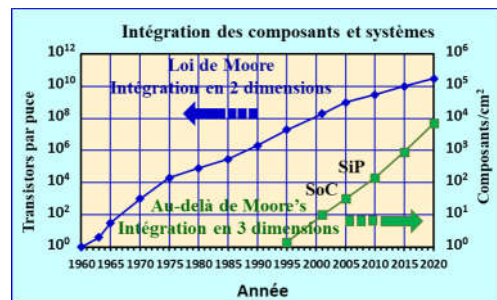


fig 1 : Evolution de l'intégration des circuits et des systèmes durant les 60 dernières années. Depuis 1995, une nouvelle loi exponentielle impliquant la 3<sup>ème</sup> dimension permet de continuer cette évolution.

## 2 LA FILIÈRE ELECTRONIQUE DANS LE CONTEXTE D'UNE SOCIÉTÉ CONNECTÉE

### 2.1 Société connectée : objets connectés, internet des choses, intelligence artificielle et industrie 4.0

Cette révolution des objets intelligents et connectés couplée à la transition énergétique touche tous les secteurs de l'industrie et la croissance des prochaines décennies appartiendra à ceux qui sauront bénéficier de ces innovations technologiques qui reposent sur l'électronique [4]. L'électronique est le socle industriel incontournable pour la production des équipements et systèmes numériques. Les industries de l'électronique occupent ainsi une place centrale dans le paysage industriel français et sont au cœur de la transformation

numérique [5]. Après plusieurs années de réflexion et de consultation, la filière électronique a été créée le 15 mars 2019 par la Direction Générale des Entreprises au sein du Ministère de l'Économie, des finances et de l'industrie [6]. Le 3 mars 2021, cette filière et son importance stratégique au niveau national voire européen, ont été confirmées par la ministre déléguée à l'industrie, Mme Pannier-Runacher, sur le site de la société SOITEC [7], le premier fournisseur mondial de substrats sur isolants (SOI), à Bernin (banlieue grenobloise).

La « filière électronique » est donc au cœur de l'évolution sociétale vers le numérique et les objets connectés (IoT, Internet of Things, Internet of Everything!). Elle représente en France 1.100 entreprises et 230.000 emplois pour un chiffre d'affaire de 15 milliards d'Euros [8]. Afin de répondre aux enjeux, cette filière doit maîtriser les 4 piliers complémentaires que sont :

- les technologies et les composants électroniques incluant les capteurs intelligents pour créer les données,
- les objets connectés pour les traiter, les transmettre et développer les services associés,
- l'électronique de puissance pour accompagner la transition énergétique et le développement des mobilités électriques,
- la cybersécurité pour bâtir la confiance nécessaire au développement des technologies électroniques dans l'industrie (systèmes cyber-physiques).

## 2.2 Rôle de la microélectronique dans le développement d'une société connectée

Au sein de cette filière, la microélectronique occupe une place centrale puisque tous les objets impliqués dans cette filière sont constitués de composants, circuits et systèmes électroniques, très majoritairement intégrés et porteurs de logiciels embarqués qui apportent l'intelligence des dispositifs applicatifs [9]. Ces derniers sont en priorité constitués d'objets connectés composés de multiples fonctions de la microélectronique, des microtechnologies et des communications [4]. La part de la microélectronique au sens large, représentée par l'ACSIEL Alliance électronique représente environ 200 entreprises en France et 100.000 emplois [10].

## 2.3 Architecture des objets connectés

Les objets connectés doivent remplir des fonctions de détection d'un signal analogique physique, chimique ou biologique, de transformation en signaux numériques, de mémorisation et de transmission par l'intermédiaire de protocoles de communication, de réception dans des bases de données et des centres d'analyse et de traitement et effectuer la chaîne retour vers un actionneur pouvant contrôler le phénomène applicatif. Ainsi, tous ces objets ont une architecture commune qui comprend des capteurs et des actionneurs, des modules électroniques de traitement du signal, d'émission et de transmission, mais aussi de surveillance, de visualisation, d'alarmes, de mémoires, de processeurs, de récupéra-

tion et de stockage de l'énergie, etc. [9], comme présenté figure 2. Selon la littérature, il devrait y avoir en 2030 plus de 200 milliards d'objets connectés, y compris les systèmes de communication et informatiques tels que les ordinateurs portables, les tablettes, les iPads, les téléphones portables, les haut-parleurs connectés mais aussi tous les outils et objets impliqués dans la maintenance, le contrôle de la santé et de la sécurité, la surveillance de l'énergie, le contrôle des véhicules de transport, la production assistée par robot, si l'on limite la liste aux produits les plus connus.

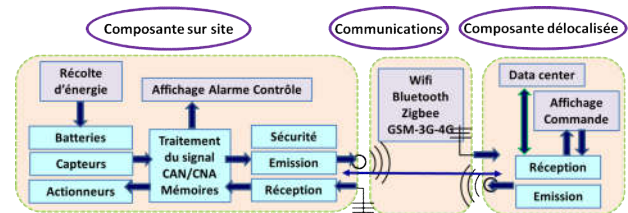


fig 2 : Architecture simplifiée d'un objet connecté.

Trois zones sont à considérer : la composante sur site, les communications et la composante délocalisée.

Si l'on prend en compte l'arrivée des usines intelligentes s'inscrivant dans ce qui est appelé « industrie 4.0 », la croissance devrait être voisine de 20% par an jusqu'en 2030 [11], ce qui signifie une loi exponentielle, à l'instar de la loi de G. Moore consacrée à la croissance de l'intégration dans le domaine de la microélectronique [1]. Tous les secteurs économiques sont concernés : la santé, l'environnement, les transports, les communications, la sécurité des biens et personnes, l'énergie, le bâtiment et le génie civil, etc. [3].

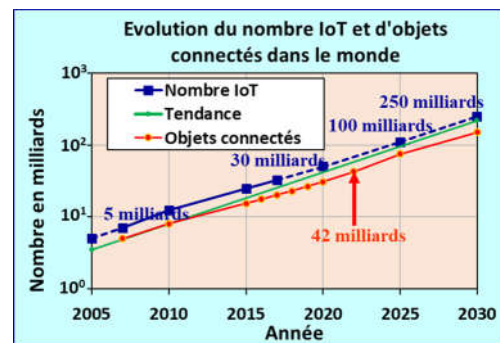


fig 3 : Prédiction de l'évolution du nombre d'objets connectés. La croissance est exponentielle, d'un facteur de 2 tous les 4 ans.

## 3 SOCIÉTÉ NUMÉRIQUE : LIMITATIONS, ENJEUX ET NOUVEAUX DÉFIS

### 3.1 Influence de l'industrie sur la conception et la fabrication des objets connectés

Bien entendu, l'industrie devient de plus en plus compétitive sur le marché. Ainsi, la conception et la fabrication de nouveaux objets connectés doivent être réalisées dans un délai de plus en plus court. Grâce aux mo-

dules de propriété intellectuelle (IP ou intellectual properties), les nouveaux produits sont conçus plus rapidement mais ne sont pas optimisés en termes de taille de circuit et de mémoires, de fréquence d'horloge et de propriétés analogiques. En conséquence, la taille des objets et la consommation associée sont très éloignées des nouvelles exigences en termes de consommation de ressources naturelles et d'énergie pour la fabrication et l'exploitation. Par ailleurs, les grands opérateurs mondiaux souhaitent garder la maîtrise des données et leur exploitation, source de revenu énorme, et font transiter tous les échanges de données au niveau mondial par leurs centres de stockage et traitement (data centers). Cette stratégie des grands opérateurs allonge les parcours des données qui deviennent ainsi extrêmement longs même pour des échanges et pilotages locaux. C'est dans leurs centres qu'ils mettent en jeu l'intelligence artificielle (IA), qui est à ce jour un moyen performant de classification des données mais pour lequel l'intelligence est encore très limitée. En effet, un circuit d'un million de neurones (contenu équivalent au cerveau d'une abeille) consomme autour de 350 kW, soit deux milliards de fois plus qu'une intelligence biologique de même capacité, ce qui se traduirait par une consommation de 40 GW pour un seul cerveau humain !!

### 3.2 Influence sociétale sur la consommation globale d'énergie et enjeux

La conséquence de cette évolution en croissance exponentielle est que l'énergie consommée par les objets connectés suit également une croissance exponentielle et devient prépondérante [12] comme le montre la figure 4 (multiplication par 2 tous les 4 ans). En effet, un gigaoctet de données téléchargées sur Internet consomme 5,12 kWh [13] ; le chargement en ligne d'un DVD de 5Go consomme 25 kWh ! Selon la littérature récente, la contribution à cette consommation se répartit comme suit :

- 48% par les centres de données (serveurs, routeurs, transferts intercontinentaux par fibres optique ou satellites),
- 38% par l'utilisateur final (ordinateur, smartphone, affichages, Livebox, charge des batteries),
- 14% pour les communications (câbles et fibres optiques vers usagers, amplificateurs, transmissions hertziennes).

Comme le montre la figure 3, en 2018, l'énergie électrique consommée par la mise en œuvre des objets connectés a atteint 2 900 TWh, ce qui correspond à une production permanente de 320 GW et représente 11 % de l'énergie électrique mondiale consommée [14]. En 2021, la consommation équivaut à environ 4 fois la consommation d'énergie du trafic aérien mondial (en le considérant redevenu équivalent à celui de 2019).

En faisant l'hypothèse que les technologies actuelles soient maintenues, cette consommation globale d'énergie pourrait atteindre 124 600 TWh en 2040, ce qui représente une production permanente de 15 000 GW ou de 13 000 réacteurs nucléaires.

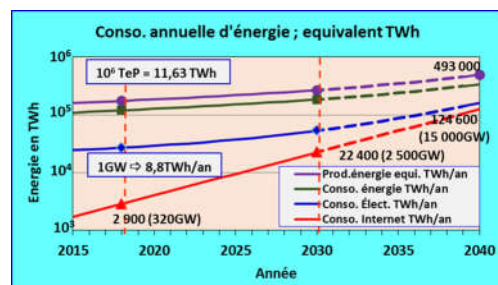


fig 4 : Evolution de la consommation annuelle des énergies. La part dédiée à Internet et IoT devient prépondérante. Elle ne sera plus tolérable au-delà de 2030.

Cette consommation d'énergie est également équivalente à la production mondiale d'énergie de 2018, quelle que soit sa source et sa forme. Il est clair que cette situation deviendra irréaliste et que des transformations importantes devront être apportées dans la conception, la technologie, la consommation d'énergie des objets connectés, l'organisation de la fabrication (industrie 4.0.) et le transfert et le stockage des données.

Dans le même temps, la consommation d'énergie pour la fabrication de composants, de dispositifs et de systèmes doit être limitée, mais aussi l'utilisation d'éléments naturels rares, qui nécessitent généralement une forte consommation d'énergie pour leur extraction et leur purification. Cela correspond à des enjeux sociétaux prioritaires et à des défis considérables dans plusieurs domaines de la recherche, du développement et de la formation.

## 4 FORMATION AUX COMPÉTENCES ET SAVOIR-FAIRE : LE RESEAU CNFM

### 4.1 Défi technique : intégration et consommation d'énergie

Toute une série de fonctions électroniques sont ainsi implémentées dans des objets connectés. Par conséquent, les défis de la discipline apparaissent à différents niveaux [15] :

- la poursuite de la miniaturisation des composants élémentaires afin de minimiser leur consommation à la fois en état de marche et au repos, - l'amélioration des performances des composants de puissance afin de réduire les pertes de commutation mais aussi les pertes statiques,
- l'utilisation de la troisième dimension pour améliorer l'intégration des circuits afin de minimiser les pertes d'interconnexion et d'améliorer la fiabilité,
- la modification de l'architecture des circuits afin de séparer les zones actives utiles des zones pouvant être mises en veille,
- la généralisation du contrôle asynchrone qui devrait minimiser les pertes importantes liées à l'alimentation synchrone par les horloges de toutes les électrodes de commande des transistors,



- la mise en œuvre de nouvelles technologies à basse température et/ou à grande surface,
- le développement de capteurs et d'actionneurs dans des technologies spécifiques de faible puissance,
- l'optimisation des dispositifs et des protocoles de communication pour limiter l'occupation des bandes de fréquence et le flux de données afin de ne garder que celles qui sont utiles en fonction du profil de la mission.

#### 4.2 Le défi des ressources humaines

Les défis techniques et technologiques ne pourront être relevés que si les futurs techniciens, ingénieurs, maîtres et docteurs sont capables de traiter les sujets mentionnés et d'apporter des solutions répondant aux exigences [16]. Il est donc nécessaire d'assurer une formation initiale et continue adaptée à cette évolution et permettant d'acquérir une bonne connaissance de base de la technique mais aussi du savoir-faire. En raison de la complexité croissante de la discipline, la formation doit pouvoir couvrir une bonne partie des connaissances de base mais aussi un secteur très spécialisé. Cela nécessite à la fois l'adaptation du contenu des études par l'introduction de nouveaux concepts et l'approche pédagogique, qui comprend un apprentissage plus pratique, une forte sensibilisation à la multidisciplinarité par rapport aux domaines d'application [17], un apprentissage par projet et la capacité de travailler et d'innover dans une équipe pluridisciplinaire.

#### 4.3 Le réseau national : GIP-CNFM

C'est dans cette stratégie qui devrait permettre de relever ces deux défis que le réseau français de formation en microélectronique et nanotechnologies (CNFM) [18] s'est positionné depuis plusieurs années. Cette structure nationale est composée des 12 institutions académiques membres du réseau porteurs de 12 centres interuniversitaires et du syndicat professionnel du domaine [19]. Grâce à leurs plates-formes communes et donc à la mutualisation des équipements et outils (notamment de conception pilotée par les services nationaux du réseau) et aux frais de fonctionnement, ce réseau de 12 centres interuniversitaires permet d'offrir à un coût raisonnable à la centaine d'institutions universitaires utilisatrices toute une gamme de travaux pratiques innovants dans le domaine du développement d'objets connectés et de leur faible consommation d'énergie [20-21].

Cette stratégie a été renforcée en 2012 dans le cadre d'un programme national de l'Initiative d'Excellence pour la Formation Innovante, IDEFI, et du projet FINMINA, intitulé "Formation Innovante en Microélectronique et Nanotechnologies", piloté par le réseau CNFM et financé pour huit ans [22] par le Commissariat aux Grands Investissements. Il a permis d'accélérer l'adaptation des activités pratiques des plateformes au nouveaux produits et aux besoins des partenaires industriels jusqu'en 2020 [23].

#### 4.4 Compétences et savoir-faire du réseau

Ainsi, depuis plus de 10 ans, la stratégie est basée sur l'innovation en liaison avec les partenaires industriels du réseau [19] qui sont au cœur de la filière électronique. Des exemples de réalisations de plateformes et travaux pratiques sont données ci-dessous. Ils touchent tous les volets mentionnés de l'évolution vers le numérique, sachant qu'une bonne technologie numérique doit résoudre de nombreux problèmes liés aux propriétés analogiques ! Elles concernent également la variété des domaines d'application ce qui suppose une mise en jeu des transducteurs physique/électronique, chimique/électronique, biologique/électronique, qui sont majoritairement miniaturisés et intégrés [24]. Les sujets vont ainsi de l'électronique classique, microélectronique et nanoélectronique, bas niveau et de puissance, à l'électronique rapide de communication et l'électronique embarquée, en passant par les systèmes sur puce, les laboratoires sur puces, et les systèmes de sécurité numérique. Ces techniques peuvent mettre en œuvre des outils de conception multiphysique, des technologies intégrées silicium, mais également les technologies à base de nouveaux matériaux inorganiques composés et organiques et les dispositifs de grande surface en couches minces pour affichage ou captage de l'énergie [25]. Plus de 80 plateformes d'apprentissage pratique ont été mises en place au sein du réseau. Seulement quelques exemples significatifs sont présentés dans la figure 5. Ils relatent les activités en conception et sécurité numérique, en technologies des composants et en réalisation de systèmes de 9 des 12 pôles. De nombreuses informations plus détaillées sur l'ensemble du réseau peuvent être obtenues sur le site du réseau (<http://www.cnfm.fr>).

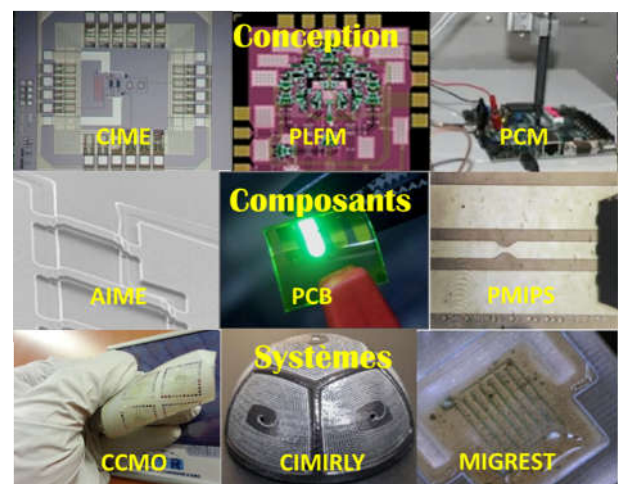


fig 5 : Exemples de réalisations sur les plateformes du réseau CNFM en conception, composants et systèmes s'intégrant dans des objets connectés. Le nom des pôles apparaît sur chacune des réalisations.

L'ensemble de ces plateformes innovantes a reçu depuis 2012 plus de 27.000 étudiants en formation initiale qui ont effectué près de 600.000 heures d'activités pra-

tiques. Ces plateformes sont aussi accessibles aux doctorants et à la formation continue afin de répondre aux besoins industriels [26]. A noter que des activités de sensibilisation de lycéens sont également menées par le réseau afin d'améliorer l'attractivité de la discipline qui va avoir besoin d'un plus grand nombre de compétences [27]. Au total, plus de 35.000 usagers ont acquis un savoir-faire correspondant à près de 1.800.000 heures passées sur les plateformes innovantes (fig. 5).

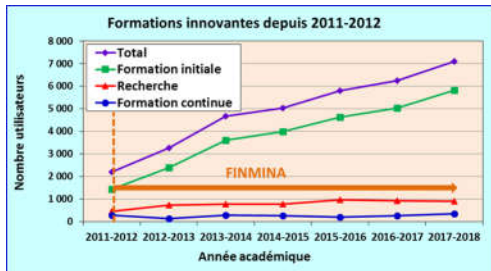


fig 6 : Activité de formation innovante du réseau au cours du projet IDEFI-FINMINA. 7000 usagers en ont bénéficié au cours de la dernière année académique.

Il est important de noter que ces plateformes innovantes sont mises en place par les enseignants-chercheurs, les techniciens et les ingénieurs de tous les pôles du réseau et que cette innovation est issue de travaux de recherche fréquemment réalisés en lien avec des partenaires industriels [28]. Cette stratégie est encouragée de façon consensuelle par le GIP-CNFM en lien avec la profession. Elle permet d'apporter un soutien financier, au moins partiel, à l'adaptation de la formation aux nouveaux défis.

Les formations utilisatrices des plateformes de travaux pratiques mutualisées se déplacent vers les plateformes avec leurs propres enseignants qui ont normalement suivi des formations de formateurs, organisées par les pôles, afin de les rendre opérationnels lors de leur venue sur des équipements spéciaux et onéreux.

De façon quasi-systématique, les étudiants et même les lycéens qui remplissent des fiches d'évaluation sont très satisfaits de leur implication pratique aussi bien sur les logiciels et outils industriels de conception que sur les plateformes techniques ou dans les salles blanches technologiques. Pour les étudiants, c'est un moment fort de leur formation qui leur permet d'assimiler leurs connaissances, d'acquérir un savoir-faire et enfin de lier leurs études à une future approche professionnelle.

## 5 CONCLUSION

Dans un environnement à évolution continue et fulgurante de la technologie depuis plus de 50 ans, le domaine de la microélectronique permet le développement d'objets connectés et l'avènement de l'industrie 4.0 appliqués à de nombreux domaines (IoT) qui ont une croissance exponentielle. Les enjeux sont considérables mais cette évolution rencontre des limitations et donc des défis à surmonter. En particulier, il faut tout faire pour limiter la consommation d'énergie des systèmes communicants. Ces défis seront relevés grâce à

la formation qui doit répondre à ces exigences économiques et sociétales et s'inscrire dans les priorités de la filière électronique. Elle doit également prendre en compte l'évolution des approches pédagogiques et notamment la présence de nouveaux outils [29]. Le GIP-CNFM, structure nationale mutualisée de formation, œuvre pour répondre aux enjeux en accroissant le vivier de formés et en préparant les futurs diplômés à surmonter les défis majeurs mentionnés.

## Remerciements

L'auteur tient à remercier l'ensemble des membres du réseau qui œuvrent en permanence pour l'amélioration des activités de formation et qui sont à l'origine des résultats présentés ; une attention particulière à L. Chagoya-Garzon, secrétaire du GIP-CNFM, pour son aide précieuse à la compilation des données et à la rédaction des documents et articles.

## Bibliographie

- [1] G.E. Moore, « Cramming more components onto integrated circuits », *Electronics Magazine*, 38 (8) (1965), pp.114-117.
- [2] Rao R. Tummala and M. Swaminathan, System on Package: Miniaturization of the Entire System, McGraw-Hill Education; 1<sup>st</sup> edition, May 2008.
- [3] O. Bonnaud and L. Fesquet, « Microelectronics at the heart of the digital society: technological and training challenges », *Proc of SBMicro2018 Oct. 2018, IEEEExplore (2018)*, pp. 1-4, 978-1-5386-8391-0/18.
- [4] O. Bonnaud and L. Fesquet, Microelectronics at the heart of the digital society: technological and training challenges, *Proc. of SBMicro2019, IEEEExplore*, 978-1-5386-8391-0/18, pp. 1-4, Sept. 2019.
- [5] G. Matheron, « Microelectronics evolution, *Keynote, European, Microelectronics Summit*, », Paris, France, November 2014.
- [6] <https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/la-filiere-industries-de-l-electronique>.
- [7] L. Galien, *Communiqué, France bleu Isère du 4 mars 2021*, <https://www.francebleu.fr/infos/economie-social/emplois-et-souverainete-technologique-au-coeur-d-une-visite-d-agnes-pannier-runacher-chez-soitec-en-1614880507>.
- [8] La filière Industries de l'électronique, Comité Stratégique de Filière, <https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/comites-strategiques-de-filiere/la-filiere-industries-de-l-electronique>.
- [9] O. Bonnaud, « New Approach for Sensors and Connecting Objects Involving Microelectronic Multidisciplinary for a Wide Spectrum of Applications », *International Journal of Plasma Environmental Science & Technology*, vol. 10, no. 2, (2016) pp. 115-120, ISSN 2415-0436.
- [10] ACSIEL Alliance électronique, « Les chiffres de la profession », <https://www.acsiel.fr/chiffres-profession/>, dernier accès, avril 2021
- [11] A. Schütze, N. Helwig, and T. Schneider, « Sensors 4.0-smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0 », *Journal of Sensors and Sensor Systems*, vol. 7, no. (1 May 2018), pp. 359-371.

- [12] J.C. Verset, Internet bientôt premier consommateur mondial d'électricité, [https://www.rtf.be/info/economie/detail\\_internet-bientot-premier-consommateur-mondial-d-electricite?id=9889099](https://www.rtf.be/info/economie/detail_internet-bientot-premier-consommateur-mondial-d-electricite?id=9889099) (2018).
- [13] <https://fr.statista.com/statistiques/584481/internet-des-objets-nombre-d-appareils-connectes-dans-le-monde-2020/>.
- [14] Source: International Energy Agency, <https://www.iea.org>, January 2019
- [15] O. Bonnaud, «Mandatory Matching Between Microelectronics Industry and Higher Education in Engineering Toward a Digital Society », *Smart Education and e-Learning 2019, part of Springer Nature Singapore Pte Ltd., Chap. 24, (2020), pp. 255-266.*
- [16] O. Bonnaud, «Innovative Strategy to Meet the Challenges of the Future Digital Society», *Adv. technol. innov., vol. 6, no. 2, (Apr. 2021) pp. 106-116.*
- [17] O. Bonnaud, L. Fesquet, « Innovative practice in the French microelectronics education targeting the industrial needs », *Proc. of IEEE Microelectronics System Education Conference, May 11th, Banff (Alberta-Canada), (2017), pp.15-18.*
- [18] O. Bonnaud, P. Gentil, A. Bsiesy, S. Retailleau, E.D. Gergam, and J. M. Dorkel, GIP-CNFM: a French education network moving from microelectronics to nanotechnologies, *Proc. of EDUCON'11, Amman (Jordan) 3-6 April, (2011), pp 122-127, ISBN978-1-61284-641-5.*
- [19] «ACSIEL Alliance Electronique»: professional union bringing together all the actors involved in the electronics value chain, <https://www.acsiel.fr>, last accessed January 2019.
- [20] O. Bonnaud, « La stratégie de projets innovants au sein de la coordination nationale pour la formation en microélectronique et aux nanotechnologies », *10<sup>ème</sup> Colloque CETSIS, Caen (France), 20-22 mars 2013.*
- [21] O. Bonnaud, L. Fesquet, Innovation for Education on Internet of Things, *Proceedings of Engineering and Technology Innovation, PETI, vol. 9 (2018), pp. 01-08*
- [22] FINMINA: Formations Innovantes en Microélectronique et Nanotechnologies, cf. *site web du CNFM, IDEFI project: ANR-11-IDFI-0017, dernier accès Mars 2020.*
- [23] O. Bonnaud, «FINMINA: a French national project dedicated to educational innovation in microelectronics to meet the challenges of a digital society », © Springer International Publishing AG, part of *Smart Education and e-learning 2020, Smart Innovation Systems and Technologies 188, V. Uskov et al. (Eds.): Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2020, pp.31-44.*
- [24] O. Bonnaud, The technological challenges of microelectronics for the next generations of connected sensors, *Int. J. Plasma Environ. Sci. Technol. 14 (2020), pp. 1-8, DOI 10.34343/ijpest.2020.14.e01002*
- [25] O. Bonnaud, «The Challenges of Microelectronics for the Future Digital Society: The Roles of Thin Film Technologies and of the Higher Education », *Journal of Materials Science and Chemical Engineering (2019), 7, pp. 47-56*
- [26] B. Pradarelli, P. Nouet, P. Benoit et O. Bonnaud, « Actions de vulgarisation du guichet national de formation continue du GIP-CNFM », *J3eA, Vol 18, 1022 (2019), 13 pages DOI 10.1051/j3ea/20191022.*
- [27] O. Bonnaud, A. Bsiesy, L. Fesquet, B. Pradarelli, « IDEFI-FINMINA: a French educative project for the awareness, innovation and multidisciplinary in microelectronics », *Proc. of EAEEIE'2017 Conference, 7-9 June 2017, Grenoble (France)*
- [28] O. Bonnaud, ULSI and Thin Film Semiconductor Technologies: Evolution of Industry and Research Linked to Higher Education in France, *ECS Transactions, 90 (1), 2019, pp.3-18*
- [29] O. Bonnaud, «New Vision in Microelectronics Education: Smart e-Learning and Know-how, a Complementary Approach,» *International KES Conference on Smart Education and Smart E-Learning (2019), pp. 267-275,.*