

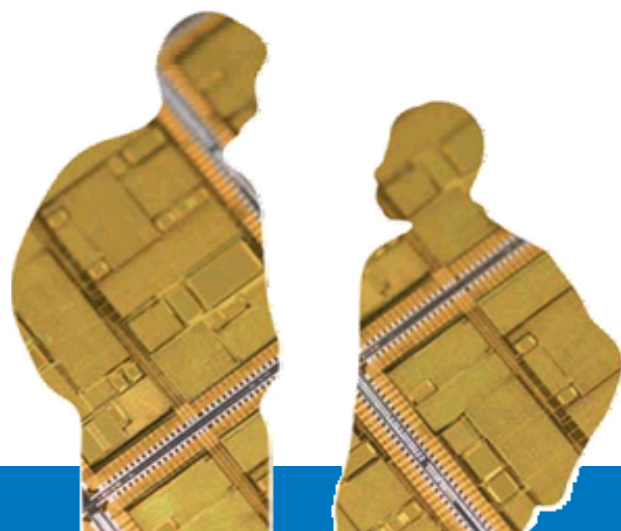


ENQUETE CNFM-SITELESC 2006

Les métiers et les besoins en formation
des ingénieurs micro et nano électroniciens

P. Gentil, CNFM
J. M. Mélique, SITELESC
J. Degauque, CNFM Toulouse
O. Bonnaud, CNFM Rennes
P. Fouillat, CNFM Bordeaux
S. Retailleau, CNFM Orsay

PG/EB 19 décembre 2006



SOMMAIRE

I. Motivation de l'enquête par visites des entreprises.....	5
II. Conditions de réalisation de l'enquête.....	5
III. Les entreprises visitées - effectifs et emplois.....	7
IV. Formations souhaitées pour les ingénieurs microélectroniciens	8
4.1. Technologie de fabrication	9
4.2. Conception numérique	10
4.3. Conception analogique	12
4.4. La formation pratique sur les moyens communs du CNFM.....	13
4.5. Origines et niveaux des recrutements des jeunes diplômés	16
4.6. Forces, faiblesses et lacunes de la formation des ingénieurs.....	17
4.7. Les emplois ingénieurs difficiles à pourvoir	19
V. Conclusions et perspectives sur les emplois.	20
5.1. Effectifs	20
5.2. Nouvelles orientations	20
ANNEXE : Formulaire guide utilisé pour les visites	23

I. MOTIVATION DE L'ENQUETE PAR VISITES DES ENTREPRISES

Les industriels du SITELESC et les universitaires du CNFM ont depuis longtemps le souci constant d'assurer la meilleure adéquation possible entre les emplois offerts par les entreprises et les profils de formation des jeunes diplômés ingénieurs.

L'adéquation Emploi/Formation est une mission essentielle du Groupement d'Intérêt Public pour la Coordination Nationale de la Formation en Micro et nano électronique (GIP-CNFM) constitué par le SITELESC et les universités du CNFM.

Le SITELESC et le CNFM ont déjà mené diverses actions afin de cerner les métiers de la microélectronique et de définir les connaissances et compétences qu'ils impliquent. Des enquêtes écrites ont permis d'obtenir des informations quantitatives de la plupart des entreprises mais ont donné des résultats très limités pour les aspects qualitatifs. Des réunions nationales, regroupant industriels et universitaires, ont également montré leur limite par l'impossibilité de mobiliser pour une durée suffisante une majorité des principaux acteurs à des dates précises.

Devant ce constat, le SITELESC et le CNFM ont proposé, pour la première fois en 2002, de mettre en place une série de missions dans les principaux sites géographiques où sont implantées des entreprises de la microélectronique. Cette formule ayant donné pleinement satisfaction, il a été décidé de la reconduire en 2006.


Cette enquête, réalisée par des visites, a pour objectif de définir les connaissances et compétences nécessaires aux métiers actuels et futurs de la microélectronique. Elle concerne essentiellement les emplois techniques, de niveau ingénieur, du cœur de la microélectronique : fabrication des composants et circuits intégrés, conception et test de ces circuits qu'ils soient analogiques, numériques ou mixtes.

Les résultats de cette enquête en apportant des informations et des recommandations argumentées peuvent contribuer à faire évoluer les programmes de formation dans les écoles d'ingénieurs et les universités.

En outre, cette enquête permet d'obtenir une évaluation des actions du CNFM par les entreprises et contribue à la définition des nouvelles orientations des moyens expérimentaux des pôles et services du CNFM mis à disposition des écoles et universités pour la réalisation des travaux pratiques des étudiants.

II. CONDITIONS DE REALISATION DE L'ENQUETE

Pour mener à bien cette enquête, le GIP a constitué un groupe de travail composé du délégué général du SITELESC (Jean-Marc Mélique) et de cinq responsables universitaires du CNFM (Pierre Gentil, directeur général du GIP, Jacques Degauque de Toulouse, Pascal Fouillat de Bordeaux, Olivier Bonnaud de Rennes, Sylvie Retailleau d'Orsay. Henri Happy de Lille a également participé à la visite de Minatec-LETI. Rachid Bouchakour, Gilles Jacquemod et Christian Schaeffer responsables des pôles CNFM les plus proches des sites industriels visités ont participé à des réunions concernant leur pôle. Trois à six membres du GIP-CNFM ont ainsi participé à chaque visite.



Préalablement à chaque visite, un formulaire (joint en annexe) a été envoyé aux entreprises. Il a permis à ces entreprises de préparer les visites, notamment en faisant appel aux meilleurs interlocuteurs pour répondre aux questions soulevées. L'existence d'un même formulaire-guide pour toutes les réunions permet aussi de disposer d'un ensemble de réponses autorisant la synthèse et les grandes tendances présentées dans ce rapport.

Chaque visite a permis de rencontrer, pendant une durée de 2 à 3 heures, des membres de l'entreprise occupant des postes à responsabilités : direction générale, ressources humaines, relations avec les universités et grandes écoles, formation interne, stages dans l'entreprise, responsables des secteurs de production, de test et validation, de conception, de recherche et développement, cadres en relation avec les clients, ...

Au total, 40 responsables des entreprises ont été rencontrés. Ils ont fait preuve d'une grande disponibilité et ont montré un grand intérêt pour les questions posées. Ils nous ont fait part de leur expérience et de leur jugement concernant la formation dispensée dans les écoles et les universités, avec ses points forts mais également ses faiblesses et ses lacunes, telle qu'ils ont pu la percevoir en observant les réactions des jeunes ingénieurs confrontés aux exigences des métiers de la microélectronique.

Les éléments de synthèse donnés dans ce rapport, sans être exhaustifs, sont représentatifs des entreprises de la microélectronique implantées en France.

Le mode opératoire utilisé dans cette enquête a montré que les réunions des personnes sont indispensables. Les entretiens ont soulevé des questions importantes de compréhension (par exemple : qu'entend on quand on parle de « spécialisation en microélectronique » d'un ingénieur ?). Les discussions ont aussi montré que le questionnaire, rédigé par les universitaires du CNFM en fonction d'aspects importants pour la formation, posait des difficultés de compréhension aux interlocuteurs des entreprises : la séparation entre concepteur numérique et concepteur analogique n'existe pas nécessairement dans l'entreprise. Des classes de métiers (aux effectifs assez importants) tels que « ingénieur produit » ou « ingénieur application » peuvent être définies différemment selon les entreprises, et ne pas être aisément reliées aux grandes catégories des options de spécialisation des formations.

Tous les membres du groupe de travail CNFM-SITELESC ont trouvé ces visites intéressantes et instructives. Toutefois, les aspects essentiellement qualitatifs traités dans cette enquête ne facilitent pas la rédaction d'un rapport de synthèse. Par ailleurs, des questions de confidentialité interdisent la diffusion des réponses fournies par chaque entreprise.

Le groupe de travail espère que les éléments donnés dans la suite de ce rapport rendent compte des informations essentielles communiquées par les entreprises, et pourront être utiles aux partenaires du réseau CNFM.

Le groupe de travail du GIP-CNFM remercie tous les interlocuteurs rencontrés dans les entreprises pour la qualité de l'accueil, la disponibilité, la spontanéité et la richesse des propos.

III. LES ENTREPRISES VISITEES - EFFECTIFS ET EMPLOIS

Les entreprises visitées par la délégation du SITELESC et du CNFM entre mai et octobre 2006 sont, par ordre chronologique des visites :

- ALLIANCE à Crolles (38) avec les représentants de :
 - NXP (ex Philips Semiconducteurs)
 - ST Microelectronics
- Texas Instruments à Villeneuve Loubet (06)
- CADENCE Design Systems à Sophia Antipolis (06)
- NXP (ex Philips Semiconducteurs) à Caen (14)
- ST Microelectronics au Rousset (13)
- ATMEL au Rousset (13)
- DOLPHIN INTEGRATION à Meylan (38)
- FREESCALE à Toulouse (31)
- CEA-LETI-MINATEC à Grenoble (38)
- APPLIED MATERIALS à Meylan (38)

Les sites industriels visités concernent tous la microélectronique mais par des activités différentes : quatre sites regroupent à la fois une activité production et une activité conception, trois autres une activité essentiellement de conception, un site a une activité de service pour la production, une société est un fournisseur d'outils de conception pour la microélectronique et enfin un centre est dédié à la recherche appliquée en technologie comme en conception.

Les divisions des entreprises visitées représentent un effectif total de 13 795 emplois en France au moment de l'enquête.

Le nombre total d'ingénieurs et cadres est de 6 956, soit 50,4 % de l'effectif total. Cette proportion varie de 32 % à 97 % selon les divisions visitées de ces entreprises. Les proportions les plus faibles correspondent aux sites de production des circuits intégrés tandis que les proportions d'ingénieurs et cadres les plus élevées se trouvent dans les divisions dont l'activité est uniquement dédiée à la conception de circuits intégrés ou des outils de CAO.

Le nombre total d'ingénieurs est de 6 264 soit 45,4 % de l'effectif total. La proportion d'ingénieurs est nettement plus élevée que celle (33,4 %) de l'enquête menée en 2002. Toutefois les entreprises enquêtées ne sont pas exactement les mêmes. L'analyse des chiffres donnés par les entreprises communes aux deux enquêtes montre que cette tendance à l'augmentation de la proportion des ingénieurs est bien réelle.

L'effectif des ingénieurs microélectroniciens est de 5 470 soit 40 % de l'effectif total, proportion nettement supérieure à celle (27 %) de l'enquête 2002. Pour la présente enquête, les limites de la microélectronique ont été définies par l'ensemble des sciences et techniques directement liées à la fabrication, à la conception et au test des composants à semiconducteurs, circuits intégrés et micro(nano) systèmes incluant une partie micro(nano)électronique. Les métiers utilisant au moins partiellement les connaissances ou compétences de ces domaines sont classés dans la catégorie ingénieurs microélectroniciens.

Ces ingénieurs « microélectroniciens » se répartissent dans les grandes catégories suivantes :

- Technologie (fabrication) : 2 449 soit 45 % des microélectroniciens
- Conception numérique et analogique : 2 451 soit 45 % des microélectroniciens
- Autres : 570 soit 10 %

Plus de la moitié de l'effectif des ingénieurs technologues est localisée à Crolles. C'est ce site de Crolles qui explique en grande partie, d'une part l'évolution à la hausse de la proportion des technologues depuis 2002 et d'autre part, que cette enquête 2006 fasse état d'un effectif identique en technologie et en conception.

Les autres emplois d'ingénieurs microélectroniciens comprennent des ingénieurs application, des ingénieurs marketing et ventes, des ingénieurs maintenance des équipements, des ingénieurs informaticiens, des développeurs de logiciels, ...

Classer les ingénieurs utilisant (au moins partiellement) des connaissances de microélectronique dans les grandes catégories correspondant à des programmes de formation n'est pas facile.

Il existe en fait une très vaste palette de métiers et également une très grande variété de formations.

Tenter d'aboutir à une filière de formation parfaitement adaptée à un type d'emploi particulier d'une entreprise est illusoire. Les besoins des entreprises sont évolutifs et la diversité des formations constitue une richesse qu'il convient de préserver.

L'objectif de cette enquête est de transmettre aux responsables des formations les grandes caractéristiques des emplois techniques actuels et de leurs évolutions. C'est aussi une information précieuse pour les responsables du CNFM afin d'orienter les futures priorités d'achat pour les moyens communs des pôles et services du réseau CNFM.

Dans ce domaine de la microélectronique, de très haute technologie et très fortement évolutif, ce travail d'enquête doit être mené régulièrement.

IV. FORMATIONS SOUHAITEES POUR LES INGENIEURS MICROELECTRONICIENS

L'objectif principal de l'enquête était d'identifier les besoins en formations théoriques et pratiques ayant trait aux grandes catégories de métiers techniques du cœur de la microélectronique : technologie de fabrication d'une part, et conception d'autre part, avec pour cette dernière deux orientations : numérique et analogique.

Les formations souhaitées par les entreprises et décrites dans ce paragraphe concernent essentiellement les connaissances scientifiques et techniques. Les connaissances plus générales (langues, économie, gestion, ...) sont également abordées bien que le questionnaire n'explicitait pas ces questions a priori.

4.1. Technologie de fabrication

La fabrication concerne directement huit entreprises ou divisions visitées.

Les ingénieurs technologues en charge des procédés élémentaires de fabrication en salle blanche sont principalement des physiciens et des chimistes possédant une solide formation généraliste orientée vers les matériaux : physique du solide, physico-chimie des matériaux et des semiconducteurs, physique des couches minces. Une bonne formation sur les procédés élémentaires de fabrication et les technologies silicium est fortement appréciée.

Globalement en 2006 les entreprises citent plus souvent (pour cette enquête comparée à celle de 2002) la chimie et les matériaux comme spécialités importantes pour les procédés de fabrication élémentaires.

Pour les ingénieurs concernés par l'intégration des procédés, une formation en électronique et en conception des circuits est également nécessaire ; elle facilite la communication dans l'entreprise, notamment avec les ingénieurs concepteurs.

Pour les ingénieurs en charge des moyens de production, des formations diverses, plus générales, sont appréciées : électricité, électronique, mécanique,... Une entreprise estime qu'il y a aussi des emplois pour mathématiciens-statisticiens pour résoudre de nombreux problèmes croissants de dispersion de caractéristiques, statistiques, gestion des données, ...


Outre les caractéristiques générales données ci-dessus, communiquées par l'ensemble des entreprises, certaines remarques et précisions, bien que n'ayant pas un caractère systématique, méritent d'être rapportées.

Les connaissances spécialisées données ci-dessous sont considérées importantes, par une ou plusieurs entreprises, pour les métiers liés à la technologie de fabrication des circuits intégrés :

- La technologie de fabrication des procédés MOS et bipolaires, y compris le « back-end »,
- La physique des composants,
- La caractérisation électrique et la modélisation,
- La chimie (importance croissante dans un grand nombre de procédés),
- Les plasmas, les basses pressions.

Si les connaissances relatives à la conception des circuits n'apparaissent pas en général indispensables pour les ingénieurs en charge des procédés, plusieurs interlocuteurs considèrent qu'elles sont utiles. Une sensibilisation à la conception est le plus souvent suffisante, il n'est pas nécessaire de rechercher une double compétence. Plusieurs entreprises considèrent qu'une connaissance de la conception de circuit est importante pour les ingénieurs développant les nouvelles technologies et les nouveaux composants. Il en est de même pour certains métiers liés au test pour lesquels il apparaît souhaitable d'avoir une formation large, de la technologie à la conception des circuits et des produits.

La formation à la technologie dans la formation initiale est globalement jugée importante pour orienter et initier les étudiants vers ce domaine. Les entreprises considèrent en général que les métiers des technologies de fabrication nécessitent une expérience de plusieurs années qui s'apprend dans l'industrie (par exemple au cours d'une thèse CIFRE). Un schéma idéal de formation initiale correspond au cursus : initiation à la technologie dans le réseau CNFM suivi d'un stage en entreprise et d'une première expérience par exemple pendant une thèse CIFRE.



Les formations les plus citées par les entreprises pour leurs recrutements en technologie sont (sans ordre de préférence) : les Écoles Centrales de Lyon et Marseille, ENSEE Grenoble, ENSEIHT Toulouse, ENSER Grenoble, ENSI Caen, ENSP Grenoble, ENSP Strasbourg, ESIEE, les INSA de Lyon, Rennes et Toulouse, Polytech Grenoble, Polytech Nantes, Supelec Rennes. Une entreprise déclare ne pas considérer de filières de formation en priorité. Certaines entreprises considèrent, a priori à égalité les filières d'ingénieurs et les filières de formation universitaires (DEA, DESS, Master, notamment dans les domaines de la physique des matériaux et la chimie) pour les emplois de la technologie.

Pour quelques entreprises qui nous ont fait part de leurs statistiques récentes de recrutement des jeunes diplômés, il apparaît que la proportion de diplômés ingénieurs est très importante. En outre il apparaît que la proximité géographique entre les entreprises et les écoles joue un rôle important.

Les docteurs et notamment ceux formés par une thèse fortement liée à la technologie (CEA, CIFRE, ...) sont appréciés et même recherchés par les laboratoires publics tels le LETI mais également pour des emplois de R & D dans les entreprises.

Aucune entreprise visitée n'a signalé de lacunes importantes relatives aux connaissances spécialisées de la microélectronique des jeunes diplômés recrutés. Néanmoins, les entreprises considèrent que la formation des jeunes comporte des faiblesses qui seront signalées plus loin dans ce rapport compte tenu qu'elles sont essentiellement indépendantes de la catégorie de métiers, technologue ou concepteur.

Les industriels s'expriment sur les évolutions à prévoir dans les formations en accord avec les évolutions en cours dans les technologies industrielles ou susceptibles d'être introduites à court terme. Il apparaît nécessaire d'envisager dès maintenant des formations (de spécialisation ou tout au moins de sensibilisation) sur :

- Les technologies des microsystèmes, MEMS, MOEMS.
- Les nanotechnologies et nanosystèmes, l'intégration des passifs, les capteurs d'images.
- Les nouveaux matériaux sous des formes très diverses et les contraintes des filières technologiques sur ces matériaux.
- Les nouveaux composants actifs, mémoires et interconnexions (classiques, optiques).

L'importance croissante de la RF, de la gestion de l'énergie (faible consommation), de la complexité et de la diversité des technologies (utilisées pour des applications également de plus en plus diversifiées) doit être traduite dans les programmes d'enseignement.

Sur le long terme (au-delà de trois ans), les entreprises sont prudentes. Elles se contentent d'insister sur la nécessité de disposer d'ingénieurs prêts à affronter des ruptures technologiques, imprévisibles aujourd'hui. Il faut former des ingénieurs avec des bases solides, polyvalents, aptes à se reconverter facilement, ...

4.2. Conception numérique

La meilleure formation de base d'un concepteur de circuits intégrés numériques, la plus citée par les entreprises, est celle d'un électronicien. Les connaissances générales de l'électronique sont jugées indispensables par toutes les entreprises. Une entreprise met en priorité la formation de base en informatique, tandis qu'une autre met en avant la formation en télécommunications.

L'algorithmique, les aspects matériels et logiciels des systèmes informatiques sont également des connaissances de base nécessaires. Globalement, le concepteur numérique doit maîtriser électronique et informatique (matérielle et logicielle, logiciels embarqués, temps réel, langages usuels). Toutefois, l'électronique est le plus souvent mise en avant par les entreprises (« *on apprend un langage informatique à un électronicien, on n'apprend pas l'électronique à un informaticien* », « *Plutôt un pur électronicien qu'un pur informaticien* »). L'ingénieur concepteur numérique doit être capable de faire le lien entre le langage utilisé et le produit matériel.

De très nombreuses formations spécialisées sont citées par les entreprises dans la définition des profils de concepteurs adaptés à leurs besoins :

- Architecture des circuits intégrés et des systèmes (ASIC, SOC), répartition matériel-logiciel,
- Synthèse logique, placement, routage, et flot de conception complet
- Méthodologie de conception, définition et compréhension d'une spécification
- Fonctions électroniques intégrées, connaissance des microprocesseurs, des microcontrôleurs, DSP, des circuits programmables,
- Vérification, validation, preuve formelle,
- Test, testabilité et « Design for Test »,
- Langages VHDL, C, C++, JAVA, Verilog, UNIX assembleur
- Composants virtuels, conception pour la réutilisation
- Simulation électrique, logique, fonctionnelle,
- Techniques de conception basse consommation
- Traitement du signal, connaissance des normes GSM, UMTS, ...

L'importance de la connaissance de la technologie de fabrication est jugée différemment selon les entreprises et dans une même entreprise selon l'emploi. On considère dans certaines entreprises que cette connaissance est indispensable pour certains emplois (Design For Test par exemple).

Pour une autre grande entreprise dans laquelle il n'y a pas de fabrication, on classe 12 % des effectifs en ingénieurs technologues (ceux qui définissent des paramètres, des modèles, les « design kits » étroitement liés à la fabrication).

Un minimum de connaissances sur le transistor, le « lay-out », le procédé de fabrication est souhaité, sans constituer une première exigence de formation. L'importance apparaît plus grande en R&D qu'en production. Elle est moindre pour les concepteurs logiciels, loin du matériel. Une entreprise estime que des connaissances en radio et hyperfréquences est un plus pour l'ingénieur concepteur en numérique.

Une autre entreprise estime qu'un ingénieur qui commence par un emploi en fabrication devient un bien meilleur concepteur.

Une véritable pratique des outils les plus proches possibles de ceux utilisés par l'industrie, destinés à l'architecture, l'intégration, la simulation, la vérification-validation et au test est fortement souhaitée.

La formation des concepteurs doit donner aux étudiants un véritable « sens physique » leur permettant d'avoir un recul critique, par exemple sur des résultats de simulation.

Des entreprises déclarent qu'il n'y a pas de véritable formation sur le test aujourd'hui mais elles ont des difficultés à estimer quantitativement leur besoin.

Les écoles préférées pour la formation des concepteurs sont essentiellement celles qui offrent des options de spécialisation en microélectronique.

Pour certains emplois, des écoles en électronique assez généralistes ou orientées vers des applications (telecom par exemple) sont appréciées.

Les écoles les plus citées sont (par ordre alphabétique): ENSEEIHT, ENSEIRB, ENSERG, ENSI Caen, ENSIMAG, ENST Bretagne, ENST Paris, ESEO, ESIEE, INSA Toulouse, INSA Rennes, INSA Lyon, ISEN, ISEP, Polytech Montpellier, Nice, Grenoble, Nantes, et Marseille, SUPELEC Paris et Rennes. Les formations des diplômes de Master ou de doctorat sont aussi citées quelquefois. A noter d'ailleurs qu'une société de conception étudie aussi les candidatures d'ingénieurs physiciens. Plusieurs entreprises déclarent ne pas avoir de formations dans lesquelles elles recrutent préférentiellement mais les citations des entreprises montrent clairement un fort effet de proximité géographique.

Pour le futur, la formation devra prendre en compte l'augmentation de la partie logicielle dans les circuits et systèmes intégrés. Mais certaines entreprises estiment dans l'avenir que la tendance à sous traiter à l'extérieur l'implémentation matérielle et logicielle va se poursuivre. Elles estiment que la France doit d'abord conserver son avantage en architecture matérielle et logicielle.

La formation devra également évoluer en accord avec l'évolution des systèmes sur puce : utilisation massive de composants virtuels, vérification de haut niveau (preuve formelle), etc... En outre, l'intégration de la radiofréquence, voire des hyperfréquences avec les technologies numériques devra être prise en compte. L'introduction de phénomènes de nature analogique est à considérer : retard, diaphonie, gradient thermique. D'autres aspects, telle la faible consommation, le test, l'analyse de défaillances, doivent également être renforcés dans la formation de certaines options d'école.

4.3. Conception analogique

Pour les métiers de la conception des circuits intégrés analogiques et mixtes, la meilleure formation de base est celle d'un électronicien. Certaines entreprises estiment que la conception analogique nécessite une culture large du type EEA (Electronique, Electrotechnique, Automatique). Pour d'autres la meilleure formation de base est celle d'un « microélectronicien » c'est à dire qui inclut tous les aspects de la microélectronique. Comme pour l'électronique numérique, une très bonne connaissance de l'électronique générale est indispensable. L'électronique générale inclut les composants, la radio et les hyperfréquences, l'électronique de puissance, les capteurs, les actionneurs, les asservissements, les mesures, le traitement du signal, le bruit, les statistiques, calculs d'erreur..., la conception de cartes électroniques (le prototypage en circuits imprimés est toujours une réalité dans la mise au point des circuits analogiques).

La conception de circuits intégrés analogiques et mixtes comporte de nombreux aspects spécifiques qui apportent des compléments aux connaissances de base. Une connaissance de la physique, de la modélisation, de l'intégration des composants est indispensable à une bonne compréhension des circuits analogiques.

De nombreux autres thèmes apparaissent importants :

- les fonctions analogiques intégrées,
- les simulations au niveau transistor, la simulation analogique en général et RF en particulier
- le flot de conception jusqu'au dessin des masques
- les technologies des circuits intégrés
- les convertisseurs CAN, CNA
- test, mesures relatives aux technologies, composants, circuits
- la basse consommation
- le fonctionnement des simulateurs analogiques et mixtes
- l'informatique pour les aspects spécifiques aux circuits mixtes

Une bonne connaissance de la technologie de fabrication des circuits intégrés est importante pour le concepteur en analogique. Elle est jugée beaucoup plus importante qu'en conception numérique et même essentielle par plusieurs entreprises. Le concepteur en analogique doit avoir un sens physique développé, connaître les contraintes de l'intégration microélectronique. Il doit également acquérir un recul critique sur les résultats de simulation et les mesures. Pour ce dernier aspect, l'utilisation de bancs de mesures non intégrés (voltmètres, oscilloscopes, analyseurs de spectres, ...) apparaît mieux adaptée à la formation. Le concepteur en analogique doit pouvoir faire le lien entre les paramètres des procédés de fabrication et les propriétés électriques des composants et circuits. Il doit avoir une connaissance de l'effet des paramètres sur le rendement (fluctuations, dispersion des paramètres,...) de l'effet des couplages par le substrat. Une entreprise cite un métier important (mais avec un effectif faible) pour la conception de démonstrateurs technologiques des nouvelles filières de fabrication.

Les filières de formation les plus citées pour la conception analogique sont (par ordre alphabétique) : ENSEEIHT, ENSEIRB, ENSERG, ENSIL, ESIEE, ENS Mines de St Etienne, INSA Lyon, ISEN, master recherche MNE et Pro. CSINA de Grenoble, Polytech Grenoble, Montpellier, Marseille, Lille et Nice.


Dans l'avenir, la formation doit prendre en compte l'importance croissante des circuits mixtes incluant des fonctions de plus en plus diversifiées : radiofréquence, puissance... La formation devra renforcer les capacités de travail en équipe comportant des spécialistes du numérique et de l'analogique. Il faut faire attention à l'utilisation abusive de la simulation : développer l'esprit critique, réfléchir sur la réalité des circuits.

4.4. La formation pratique sur les moyens communs du CNFM

Tous les interlocuteurs des entreprises estiment que la formation pratique spécialisée est très importante (93 %) ou importante (7 %).

L'utilisation des outils de CAO industriels dans la formation est jugée très importante, voire indispensable par l'ensemble des personnes rencontrées. Un de nos interlocuteurs insiste sur le fait que c'est d'abord la formation aux principes de la conception qui est importante et donc de veiller à ce qu'ils ne soient pas masqués par la mise en œuvre d'outils sophistiqués. Il convient de ne pas passer trop de temps sur la maîtrise des outils proprement dite.

L'enseignement du test est jugé important pour la majorité des entreprises. La mise en œuvre d'un testeur industriel unique utilisable à distance est jugée comme une initiative intéressante et la prochaine mise à disposition d'un testeur analogique et mixte comme importante. Certains interlocuteurs attirent l'attention sur la difficulté



d'enseigner les conditions réelles du test industriel ; d'autres insistent sur la difficulté du test et donc sur la nécessité de mettre en place une formation approfondie, de longue durée. Pour certains, le test à distance ne peut pas remplacer les travaux pratiques faits par l'étudiant sur un petit testeur notamment en analogique mais vient en complément utile.

Le **prototypage sur circuits programmables de type FPGA** (Altera, Xilinx) est très important pour les formations à la conception numérique, pour la validation d'architectures, et pour les ingénieurs d'application.

Le **prototypage de type ASIC** (offert par le CMP Grenoble par exemple) est jugé intéressant et même important pour certaines entreprises (une entreprise qualifie d'aberration une formation à la conception qui n'aboutit pas au test du circuit conçu). D'autres entreprises s'interrogent sur la faisabilité d'un projet complet conception - fabrication industrielle par CMP - test des prototypes par les mêmes étudiants dans un cursus de formation. Certains enfin considèrent que c'est complémentaire au prototypage avec des composants soudés sur un circuit imprimé.

La **formation pratique en salle blanche** est jugée importante par la grande majorité des entreprises pour les formations à la technologie. Un interlocuteur estime que c'est très important pour tous les microélectroniciens concepteurs comme technologues. Un autre interlocuteur s'interroge sur la possibilité d'une formation réaliste avec les équipements disponibles dans les salles blanches du CNFM tandis que d'autres insistent sur l'importance d'équipements manuels sur lesquels on peut approcher, voir, « toucher » la réalité des grands principes de la fabrication. Pour certains étudiants, il pourrait être expérimenté une formation complète du type : stage dans une salle blanche du CNFM + stage complémentaire sur une chaîne de production industrielle ou au LETI.

Le tableau ci-après présente le détail du degré d'importance accordé pour la formation des spécialistes, par les entreprises au sujet de l'enseignement pratique pour les trois grandes catégories de métiers décrites aux paragraphes précédents. Les types de travaux pratiques listés dans la première colonne du tableau correspondent à des enseignements existants dans le réseau CNFM.

La notation correspond au barème suivant : *1 = très important ; 2 = important ; 3 = peu important*. Les entreprises pouvaient aussi se déclarer sans opinion.

Chaque note reportée ci-dessous correspond à la moyenne des notes données par 6 ou 7 entreprises. A quelques rares exceptions près, la notation des entreprises est très groupée.

	Technologue	Concepteur Numérique	Concepteur Analogique
Technologie planar (salle blanche)	1,1	2,8	2,7
Caractérisation physico-chimique	1,4	3	3
Caractérisation électrique	1,5	2,1	1,6
Technologie des microsystèmes	1,9	2,5	2
Nanotechnologie (STM, AFM ,...)	1,6	2,7	2,4
Technologie hybride	2,5	2,6	2,6
Analyse de défaillances	1,3	2	1,9
Simulation techno. (Atlas, Athena)	1,7	2,2	2,3
Simulation électrique (Spice, Eldo)	2,3	1,7	1,1
Outils CAO (Cadence, Synopsys, ...)	2,7	1,1	1,3
Vérification fonctionnelle	2,7	1,3	1,7
Circuits programmables (prototypage)	2,7	1,6	2,2
Test logique	3	1,1	1,5
Test analogique	2,8	2	1,3
Conception RF	3	2,4	1,3
Conception hyperfréquence	3	2,4	1,3
Conception des microsystèmes	3	2	1,7
Programmation C++, Java, Unix, Linux	2,7	1,3	1,8

Pour chaque grande catégorie de métiers, les thèmes des travaux pratiques jugés les plus importants sont donnés ci-après par ordre d'importance (en se limitant aux travaux pratiques obtenant une moyenne de 2 maximum).

En technologie :

- 1- Technologie planar (salle blanche)
- 2- Analyse de défaillances
- 3- Caractérisation physico-chimique
- 4- Caractérisation électrique
- 5- Nanotechnologie (STM, AFM,...)
- 6- Simulation techno. (Atlas, Athena)
- 7- Technologie des microsystèmes

En conception numérique :

- 1- Conception et Outils CAO (Cadence, Synopsys, ...)
- 1- Test logique
- 3- Vérification formelle
- 4- Programmation C++, assembleur, Unix, Linux, ...
- 5- Prototypage (circuits programmables)
- 6- Simulation électrique
- 7- Test analogique
- 7- Conception des microsystèmes
- 7- Analyse de défaillances

En conception analogique :

- 1- Simulation électrique
- 2- Conception et outils CAO (Cadence, Synopsys, ...)
- 2- Test analogique
- 2- Conception RF et hyperfréquences
- 5- Test logique
- 6- Caractérisation électrique
- 7- Conception des microsystèmes
- 7- Vérification fonctionnelle
- 9- Programmation C++, assembleur, Unix, Linux, ...
- 10-Analyse de défaillances
- 11-Technologie des microsystèmes

On peut noter que c'est dans le domaine de la conception analogique que l'exigence est la plus grande en termes de diversité des travaux pratiques souhaités.

On peut également remarquer que tous les types de travaux pratiques proposés ont obtenu au moins une note de 1 dans une catégorie de métiers, à l'exception des circuits hybrides, ce qui s'explique par l'activité des entreprises consultées.

Comme il est reporté dans le tableau, les interlocuteurs ont attaché, pour les concepteurs, peu d'importance à la formation pratique à la technologie (comparativement aux autres types de TP). Toutefois, dans les discussions, ils déclarent que c'est un bon moyen de donner le sens physique aux concepteurs et ainsi, de les confronter avec la réalité de la matière.

4.5. Origines et niveaux des recrutements des jeunes diplômés par les entreprises

Les entreprises recrutent majoritairement leurs ingénieurs auprès des écoles d'ingénieurs françaises.

Elles utilisent également la promotion des techniciens et recherchent, pour certaines fonctions, des ingénieurs expérimentés.

Les écoles les plus citées sont très majoritairement celles qui sont répertoriées dans le rapport d'activité du CNFM formant les spécialistes de la microélectronique. Elles sont explicitement citées dans les paragraphes précédents pour chacune des grandes catégories de métiers, technologues et concepteurs.

Plusieurs entreprises déclarent ne pas faire de différence, a priori, entre les formations universitaires (master, ex DESS et DEA) et les ingénieurs. La personnalité des candidats, les qualités humaines, sont des critères très importants dans les recrutements qui prévalent sur les connaissances techniques pour plusieurs entreprises. Les jeunes diplômés sortant de l'université sont réputés pour avoir une bonne autonomie, et montrer une bonne fidélisation vis à vis de leur entreprise.

Un interlocuteur reproche aux formations universitaires de ne pas former les étudiants suffisamment à l'anglais et de manquer de lisibilité. Les écoles d'ingénieurs sont mieux structurées, ont des interlocuteurs aisément accessibles.

Les ingénieurs d'école ont un sens pratique et une meilleure connaissance des entreprises notamment grâce à plusieurs stages réalisés au cours de leur cursus.

Les différences de la formation initiale sont gommées après quelques années en entreprise.

Les entreprises ont un recrutement national. Toutefois, il existe un effet de proximité important. En effet, les relations privilégiées par la proximité (participations d'industriels dans les enseignements, collaborations en recherche, stages, ...) ont une influence sur les embauches de jeunes diplômés.

Globalement, les entreprises visitées ont manifesté un intérêt plus marqué pour le diplôme de doctorat lors de cette enquête comparativement à celle de 2002. Toutes les entreprises recrutent des docteurs mais rares sont les emplois pour lesquels on cherche à recruter spécifiquement un docteur. Plusieurs entreprises apprécient la grande spécialisation du doctorat pour le recrutement sur un emploi spécialisé en rapport direct avec le sujet de thèse. Cet aspect apparaît surtout important pour des postes en technologie, mais également dans d'autres domaines où une expérience est fortement recherchée.

Au niveau salaire, les entreprises reconnaissent le niveau « docteur » de différentes manières : recrutement au niveau des écoles d'ingénieurs du Groupe A, prise en compte au moins partielle de la durée de la thèse comme expérience professionnelle. Au delà du recrutement, les qualités personnelles priment sur le diplôme pour l'évolution de carrière.

Plusieurs entreprises estiment que le niveau BAC+3 est intéressant. Toutefois, il apparaît que la majorité de celles-ci ne cherche pas à recruter de jeunes diplômés à ce niveau. Elles invoquent le plus souvent des difficultés de positionnement dans la grille des salaires. Certains emplois pourraient être adaptés à ce niveau : maintenance des équipements, lay-out, ...

Globalement, le personnel des entreprises évolue dans le sens d'une plus grande qualification mais c'est aujourd'hui essentiellement au bénéfice du niveau ingénieur.

A effectif global constant, deux entreprises présentent un effectif d'ingénieurs croissant dans les dernières années.

4.6. Forces, faiblesses et lacunes de la formation des ingénieurs

Globalement, pour les métiers techniques, les jeunes diplômés français ont une formation adaptée au besoin des entreprises. Parmi d'autres qualités appréciées, les jeunes sont jugés compétents, rigoureux et font preuve d'adaptabilité.

Pour ces métiers techniques, plusieurs entreprises demandent que les formations techniques soient privilégiées, même si c'est au détriment de la formation au management et aux sciences humaines et sociales en général. Des entreprises ont déclaré que les consignes de la CTI ne devaient pas s'appliquer aux formations destinées aux métiers les plus techniques.

Toutes les entreprises ont déclaré ne pas aller chercher à l'étranger les jeunes diplômés. Ces mêmes entreprises n'hésitent pas à recruter au niveau international les experts fortement expérimentés dont elles ont besoin. Globalement, les entreprises estiment que c'est en France que l'on trouve les meilleures formations pour la R & D par rapport aux pays asiatiques et même par rapport aux USA. Les entreprises déclarent qu'elles savent valoriser la carrière des experts comme celle des « managers ».

Pour d'autres métiers, les entreprises reconnaissent des qualités aux formations étrangères : on trouve de très bons exécutants en Inde, une culture de la production

dans les pays asiatiques, une culture du marketing, du commerce en Amérique du nord. Une autre entreprise estime que des pays, ayant une formation initiale moins assistée qu'en France, fournissent de jeunes diplômés avec une plus grande ouverture d'esprit (Italie, Pays-bas par exemple).

Malgré la satisfaction globale, les entreprises font de nombreuses citations quant aux points faibles de la formation des jeunes ingénieurs.

Au niveau technique, très peu de lacunes importantes sont citées par les entreprises. Néanmoins, il conviendrait de renforcer les enseignements pour certaines filières de formation dans les domaines suivants :

- « back-end » de la fabrication
- analyses statistiques (importantes pour les nouveaux défis liés à la dispersion technologique),
- paramètres des composants, appariement, bruit,
- défauts, fiabilité et rendement,
- plans d'expériences.


Des remarques plus nombreuses sont faites sur le comportement, les méthodes de travail des jeunes diplômés. Les entreprises souhaitent que les aspects suivants soient mieux pris en compte dans les enseignements :

- développement de la curiosité, de l'esprit critique et de l'esprit de synthèse
- développement de l'esprit pratique, savoir faire le lien entre la théorie et la pratique. Savoir prendre un problème pratique, l'analyser et proposer des solutions réalistes,
- sensibilisation aux notions de coût, aux problématiques industrielles, à l'économie et au fonctionnement de l'entreprise, à l'organisation du travail,
- savoir gérer un projet, savoir gérer un grand nombre d'informations, savoir communiquer,
- sensibilisation à l'entrepreneuriat, à la création d'activités, à la gestion du risque (« ne pas brider les talents »),
- développement de l'ouverture sur le monde, de l'aptitude à la mobilité,
- l'aptitude au travail en groupe, en réseau.

Si les entreprises soulignent les points ci-dessus comme des faiblesses, elles ne souhaitent pas pour les métiers techniques que cela se traduise par une réduction du volume d'enseignements techniques. Elles proposent plutôt une évolution de la pédagogie : travaux dirigés sur des cas réels, projets collectifs, choix des stages, confier certains enseignements aux industriels,...

En ce qui concerne les connaissances de l'entreprise, du marketing, des aspects financiers, de la gestion de projet, elles constituent un facteur positif pour le recrutement d'un jeune diplômé. Toutefois, les grandes entreprises proposent des formations en interne sur ces thèmes.

Par contre, la personnalité des candidats est considérée au même niveau que les connaissances techniques et peut amener un veto à l'embauche de certains jeunes.



Une entreprise fait état de la difficulté de retenir au nord de la Loire les diplômés du sud de la France !

L'anglais est la langue de communication dans les entreprises de la microélectronique qui sont toutes implantées au niveau mondial. Globalement le niveau des ingénieurs français n'est pas considéré très bon en anglais (une entreprise à deux professeurs d'anglais, personnels permanents), bien que des entreprises considèrent que ce niveau se soit amélioré dans les dernières années. Pour certaines entreprises, le niveau de connaissance de l'anglais des jeunes diplômés des écoles d'ingénieurs est jugé suffisant (« pas de problème de dialogue dans une réunion avec des italiens, des asiatiques », « les français sont moins mauvais que les asiatiques,... »). Des entreprises déclarent que le niveau d'anglais est insuffisant dans les formations universitaires (Master, DESS et DEA).

4.7. Les emplois ingénieurs difficiles à pourvoir

Globalement, les entreprises n'ont pas signalé de grosses difficultés pour recruter les jeunes diplômés dont elles avaient besoin.

En conception, plusieurs entreprises ont signalé des difficultés de recrutement en conception analogique et dans le domaine radiofréquences en particulier. Il est également rencontré des difficultés dans le domaine de l'implémentation physique (« lay-out »). Une entreprise signale également des problèmes dans des spécialités : test, mémoires et architectures mixtes, matérielles et logicielles.

Une entreprise signale des difficultés dans le recrutement d'ingénieurs d'applications et d'ingénieurs qualité et une autre pour le recrutement d'ingénieurs concepteurs d'outils CAO. Ce dernier type de métiers exige une double compétence en microélectronique et en informatique.

En technologie, le recrutement des ingénieurs de procédés en salle blanche ne pose pas de difficultés particulières mais plusieurs entreprises signalent des difficultés pour recruter des ingénieurs de maintenance des équipements de salle blanche. L'une de ces entreprises précise toutefois que le besoin quantitatif est faible.

D'autres demandes ont été exprimées pour le recrutement ponctuel sur un poste précis qui semble plus relever de la difficulté de recruter une personne expérimentée que d'un manque au niveau de la formation initiale.

Des difficultés ont également été signalées pour recruter de bons doctorants à l'entrée des thèses, que ce soit dans des laboratoires (LETI par exemple) ou dans les entreprises pour des bourses CIFRE.

V. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES SUR LES EMPLOIS

5.1. Effectifs

Globalement, les entreprises envisagent une croissance des effectifs de l'ordre de 5 % à 10 % par an à court terme (dans les 2 à 3 ans à venir). Elles n'ont aucune visibilité sur les évolutions à plus long terme.


Les recrutements en technologie apparaissent essentiellement localisés à Crolles et à Rousset. Ils concernent plus particulièrement les emplois en R & D pour les technologies très sophistiquées et les productions associées, plutôt en faible volume. La fabrication pour la production en très grande série de circuits à faible coût, le test associé et l'encapsulation, sont déjà (et resteront) en grande partie délocalisés.

En conception, des recrutements sont prévus dans tous les sites français. La conception d'un même produit peut plus facilement être répartie sur plusieurs sites dans le monde. La conception analogique apparaît plus stratégique ; elle est plus souvent citée comme un métier important qui doit rester dans les entreprises et divisions implantées en France et en Europe. La conception numérique s'adressera en France à certaines parties de la chaîne de conception d'un produit tandis que d'autres parties (telles que l'écriture de programmes) seront délocalisées.

5.2. Nouvelles orientations

En technologie, le positionnement de la France devrait concerner le développement des technologies avancées, mettant en œuvre des procédés complexes pour les systèmes intégrés. On peut par exemple citer des SoC contenant des microprocesseurs, des microcontrôleurs, de la mémoire statique, de la mémoire dynamique, de la mémoire non volatile, des blocs haute tension,... Ces futures technologies utiliseront de nouveaux matériaux à définir et à mettre en œuvre par des physiciens et chimistes qui devront avoir une bonne connaissance des contraintes de l'intégration micro et nano électronique. Il faut aussi développer l'intégration des composants passifs et trouver de nouvelles niches à forte valeur ajoutée telles que la très faible consommation, la puissance intelligente. Des innovations sont également à favoriser dans les domaines des interconnexions, classiques et optiques, de l'encapsulation et des SiP (System in Package) pour lesquels il apparaît que peu d'enseignements soient dédiés à ce jour. Les microsystèmes sont également source d'innovations potentielles importantes. Enfin, les nanotechnologies ont déjà pénétré la microélectronique « classique » et pourraient déboucher à long terme sur une électronique utilisant d'autres principes, d'autres composants. Les interlocuteurs des entreprises visitées n'ont toutefois pas d'autres éléments à apporter dans ces domaines.

En conception numérique, on évolue vers les systèmes très complexes, intégrant de plus en plus de logiciels avec le matériel. Les systèmes intégrés doivent souvent être conçus en prenant en compte l'application finale. Pour ce type de produits, les entreprises pourraient se positionner sur le haut niveau de définition, depuis les spécifications. La formation doit donner une part importante aux méthodes formelles, outils d'abstraction et de description, la vérification fonctionnelle, la preuve formelle, les langages orientés objet, les composants virtuels et la réutilisation, les protocoles de communication,... Plusieurs interlocuteurs insistent



sur l'importance d'avoir une maîtrise complète du système avec une connaissance des circuits jusqu'au niveau transistor, ce qui implique une formation de base en électronique avec de bonnes notions en analogique. Ce type de systèmes est et sera conçu par plusieurs équipes réparties dans le monde et travaillant en réseau. L'écriture des programmes d'application pouvant être délocalisée dans les pays à faible coût de main d'œuvre.

En électronique analogique, les entreprises insistent sur l'importance de disposer de spécialistes de haut niveau, difficile à recruter actuellement. Les radiofréquences (RF) prennent de l'importance pour un nombre croissant d'applications ; il convient de renforcer l'enseignement des RF. Il convient aussi de renforcer la formation dans d'autres domaines : amplification de puissance, gestion des problèmes thermiques, co-intégration numérique analogique, circuits multi bandes, architectures RF numérisées, test des circuits (y compris en RF), prise en compte des problèmes liés à l'encapsulation (phénomènes parasites liés aux boîtiers), spécificités de la conception des capteurs d'images et des microsystèmes en général. Le couplage conception - technologie a déjà repris de l'importance et cette tendance devrait se renforcer dans l'avenir. C'est déjà une caractéristique très importante pour le métier des ingénieurs du test qui dialoguent avec tous les autres ingénieurs de l'entreprise.

A un niveau général, les entreprises estiment qu'il est de plus en plus important de conserver des formations diplômant des ingénieurs dont la première qualité soit l'excellence des connaissances techniques. Ces formations doivent avoir l'objectif de former les futurs experts des industries. Dans un contexte de mondialisation de l'industrie de la microélectronique, une division d'une grande entreprise se développera si elle est reconnue au sein du groupe pour sa compétence et son expertise dans un domaine technique. D'autres formations, avec une proportion plus importante d'enseignements sur l'entreprise et en sciences humaines et sociales seront plus destinées à préparer les futurs managers. Il existe encore d'autres catégories de métiers tels qu'ingénieur produit, ingénieur application, ingénieur marketing,... Pour répondre à ces différentes catégories de métiers, la richesse de la diversité des formations françaises doit être conservée.

La formation des ingénieurs doit préparer à un travail en réseau de groupes délocalisés dans un environnement global, multiculture, avec une autorité qui n'est pas sur place. Les jeunes ingénieurs devront avoir des aptitudes pour gérer la complexité, un sens pratique, un sens de l'observation, un esprit critique. Ils devront savoir communiquer, par oral et par écrit, en français et en anglais, de manière synthétique et précise, proposer des solutions réalistes.

Ces derniers aspects généraux peuvent en partie avoir une réponse apportée par des actions au niveau des méthodes d'enseignement : travail en projet impliquant des étudiants de divers établissements dans différents sites, séminaires donnés par des ingénieurs en poste dans l'industrie, stages en entreprise, ...

Enfin, bien que le questionnaire n'abordait pas ces questions a priori, deux entreprises ont spontanément fait état de leur inquiétude quant à la possibilité d'attirer de bons étudiants vers la micro et nano électronique (sur les emplois ingénieurs comme pour le recrutement en thèse). Ils estiment qu'il est important d'agir dès le lycée. Une entreprise nous a signalé que les jeunes diplômés n'étaient pas suffisamment préparés aux entretiens d'embauche.

Annexe

Formulaire guide des visites

Préliminaire: Cadre et motivation de l'enquête

Cette nouvelle enquête 2006 est réalisée dans le cadre du Groupement d'Intérêt Public GIP-CNFM, commun aux universités et écoles du réseau national du CNFM et aux entreprises du SITELESC.

L'objectif général est d'aboutir à la meilleure adéquation possible entre la formation et l'emploi en microélectronique.

NB : la microélectronique est définie, au sens large, par l'ensemble des sciences et techniques directement liées à la fabrication, à la conception et au test des composants à semiconducteurs, circuits intégrés et micro(nano)systèmes (incluant une partie micro(nano)électronique). Les métiers utilisant au moins partiellement les connaissances ou compétences de ces domaines relèvent de cette enquête.

PARTIE A

1- IDENTIFICATION de la VISITE

Société Visitée :

Date :

Nom et Qualité des personnes rencontrées :

Membres du Groupe de Travail CNFM présents :

2- ELEMENTS QUANTITATIFS

2-1. Effectifs et emplois actuels

Effectif total : dont ingénieurs et cadres : dont ingénieurs :

dont ingénieurs microélectroniciens:

Dont (répartition de l'effectif global des ingénieurs microélectroniciens) :

EFFECTIF ing micro. en TECHNOLOGIE	EFFECTIF ing. micro. en CONCEPTION NUMERIQUE	EFFECTIF ing. micro. en CONCEPTION ANALOGIQUE	EFFECTIF ing. AUTRES (métiers techniques)
Front-end et Back-end : mise au point des procédés élémentaires, des filières production, caractérisation, qualité, ...	Matériel et logiciel, du cahier des charges au layout, test y compris logiciels embarqués	Mixte, RF, test	A préciser
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Commentaires sur les emplois actuels :

2-2 Origine des recrutements

Quelles sont les écoles et filières universitaires dont vous recrutez le plus de diplômés ?
(aux niveaux ingénieurs, master recherche ou professionnel (DEA ou DESS), Doctorat)

- en technologie :
- en conception numérique :
- en conception analogique :
- dans les autres métiers (à préciser) :

2-3 perspectives d'évolution des effectifs en ingénieurs microélectroniciens

(évaluation ou information de tout type : si possible sur le long terme - à 5/10 ans- en % par an
ou en nombre par an ou encore à défaut d'éléments chiffrés répondre par une tendance :
stabilité , réduction, augmentation,... nouveaux métiers émergents,...)

- en technologie ? :
- en conception numérique ? :
- en conception analogique ? :
- dans les autres métiers (à préciser) ? :

Commentaires sur les effectifs :

PARTIE B

3. FORMATIONS SOUHAITEES POUR LES INGENIEURS MICROELECTRONICIENS

3.1. Technologues

- Formation de base (physicien, chimiste, électronicien, ...) :

Disciplines les plus importantes (φ du solide, φ des matériaux, ...) :

- Formations spécialisées (φ des composants intégrés, procédés MOS et bipolaires, analyse physico-chimiques, caractérisation électrique, ...), par ordre d'importance :

- Est-il important qu'un technologue ait une certaine connaissance de la conception des circuits ? :

Si oui, à préciser :

- Exemple d'une école dont vous recrutez préférentiellement des ingénieurs technologues :

. Pourquoi recrutez-vous préférentiellement dans cette école ?

. Qualités particulièrement appréciées :

. Faiblesses de ces ingénieurs :

3.2. Concepteurs numériques

- Formation de base (électronicien, informaticien, ...) :

Disciplines les plus importantes (électronique générale, informatique matérielle, algorithmique, ...) :

- Formations spécialisées (fonctions électroniques intégrées, architecture des CI, simulation électrique et logique, synthèse logique, test, programmation C++, Java, IP, ...), par ordre d'importance :

- Est-il important qu'un concepteur numérique ait une certaine connaissance de la technologie de fabrication des circuits intégrés ? :

Si oui, à préciser :

- Exemple d'une école dont vous recrutez préférentiellement des concepteurs numériques :

. Pourquoi recrutez-vous préférentiellement dans cette école ?

. Qualités particulièrement appréciées :

. Faiblesses de ces ingénieurs :

3.3. Conception analogique

- Formation de base (électronicien, EEA, ...) :

Disciplines les plus importantes (composants, électronique générale, mesures, ...) :

- Formations spécialisées (composants intégrés, fonctions analogiques intégrées, RF, simulations analogiques, électronique de puissance, CAN et CNA, capteurs, actionneurs, traitement du signal, etc...) par ordre d'importance :

- Est-il important qu'un concepteur analogique ait une certaine connaissance de la technologie de fabrication des circuits intégrés ? :

Si oui, à préciser :

- Exemple d'une école dont vous recrutez préférentiellement des concepteurs analogiques :

. Pourquoi recrutez-vous préférentiellement dans cette école ?

. Qualités particulièrement appréciées :

. Faiblesses de ces ingénieurs :

3.4. Formation pratique

Les moyens communs du réseau CNFM permettent la réalisation par les étudiants de travaux pratiques dont les principaux types sont indiqués ci-dessous (des précisions sont consultables sur le site du CNFM <http://www.cnfm.fr> rubrique formation initiale, détails des travaux pratiques).

Cette formation pratique doit permettre aux jeunes d'être plus rapidement opérationnels et d'acquérir une connaissance concrète de la conception, de la fabrication et du test des circuits intégrés. La qualité des moyens disponibles pour la formation pratique est aussi facteur d'attractivité pour les étudiants vers les filières de formation en microélectronique.

- Globalement, la formation pratique est elle : très importante importante peu importante
- Estimez vous important de réaliser la formation pratique en CAO à l'aide d'outils commerciaux (Cadence, Synopsys, Silvaco, ...) ? Pourquoi ?
- Le CNFM a mis en place une formation pratique sur le test des circuits intégrés à l'aide d'un unique testeur (Agilent HP 83000 situé à Montpellier) en utilisant le test à distance à travers le réseau RENATER. Que pensez vous de cette initiative ? Estimez vous important de disposer également d'un testeur analogique et mixte ?
- Faute de financements suffisants, le CNFM a arrêté de subventionner la fabrication (à l'aide du CMP de Grenoble) de circuits conçus par les étudiants lors de travaux pratiques en projet ou stage. Pensez vous qu'il est important que les étudiants soient confrontés à la réalité du test des prototypes ASICS qu'ils ont conçus ?
- Parallèlement, le CNFM offre des techniques de prototypage sur FPGA (ALTERA, XILINX). L'utilisation des FPGA s'est fortement développée dans l'enseignement. Estimez cet aspect de prototypage important ? Pourquoi ?
- Les salles blanches du CNFM sont définies d'une part pour donner une idée concrète de la fabrication globale des circuits intégrés aux étudiants-concepteurs et d'autre part pour former pratiquement les étudiants-technologues aux grands principes de base utilisés en fabrication microélectronique. Les Travaux Pratiques (TP) permettent toujours aux étudiants de caractériser ce qu'ils ont fabriqué. Pensez vous que ces types de TP sont importants et qu'il convient donc de maintenir et développer les salles blanches à but pédagogique ?

- Votre opinion sur l'importance de divers types de travaux pratiques pour les grandes catégories de métiers :

1 <i>très important</i> 2 <i>important</i> 3 <i>peu important</i> / <i>sans opinion</i>	Technologue	Concepteur Numérique	Concepteur Analogique
Technologie planar (salle blanche)			
Caractérisation physico-chimique			
Caractérisation électrique			
Technologie des microsystèmes			
Nanotechnologie (STM, AFM ,...)			
Technologie hybride			
Analyse de défaillances			
Simulation techno. (Atlas, Athena)			
Simulation électrique (Spice, Eldo)			
Outils CAO (Cadence, Synopsys, ...)			
Vérification fonctionnelle			
Circuits programmables (prototypage)			
Test logique			
Test analogique			
Conception RF			
Conception hyperfréquence			
Conception des microsystèmes			
Programmation C++, Java, ...			

3.5. Quels sont les emplois techniques ingénieurs les plus difficiles à pourvoir ?

(les décrire brièvement et estimer le nombre d'emplois actuels correspondant).

3.6. Les diplômes et les niveaux d'études

- Faites-vous une grande différence lors d'un recrutement pour un emploi technique entre un **ingénieur d'école**, un **Master professionnel ou recherche** (ex DESS ou un DEA) ?

Si oui, expliquer les raisons (niveau, programme de formation, qualités humaines,...) :

- **Le doctorat** : recrutez-vous des docteurs ?

Si oui, préciser (indifférence ingénieurs ou docteurs pour certains postes, préférence à des docteurs pour certains postes, prise en compte du doctorat dans le salaire d'embauche, ...) :

- Dans le cadre de l'évolution européenne vers des sorties de diplômés à Bac+3, Bac+5, Bac+8 (mise en place de la réforme LMD en France), pensez-vous nécessaire d'introduire une spécialisation en microélectronique en **licence professionnelle (Bac+3)** ? Préciser vos arguments :

3.7. Recrutement à l'international

- Y a t'il de grandes lacunes dans les formations françaises ?
Si oui, préciser lesquelles :

- Si l'entreprise recrute dans les écoles étrangères, préciser lesquelles et indiquer les forces et les faiblesses de ces formations :

4. PERSPECTIVES D'EVOLUTION DES METIERS ET IMPACT SUR LES FORMATIONS NECESSAIRES

- Technologues (ex. : intégration des passifs → connaissance des technologies microsystèmes, interconnexions optiques → optoélectronique, ...) :

- Concepteurs numériques (ex. : augmentation de la partie logicielle dans les CI → plus d'informatique, de programmation ; augmentation des fréquences → initiation aux hyper (retard, diaphonie) ; augmentation de la complexité, utilisation intensive IP → ingénieur architecte, SOC, ...) :

- Concepteurs analogiques et mixtes (ex. : importance croissante de la RF, voire des hyperfréquences, ...) :

- Perspectives de nouveaux métiers techniques (à préciser) :

5. AUTRES ASPECTS IMPORTANTS DE LA FORMATION NON ABORDES CI-DESSUS :



**Groupement d'Intérêt Public pour la
Coordination Nationale de la Formation en
Micro et nanoélectronique**

www.cnfm.fr

GIP CNFM
INP Grenoble MINATEC - 3 parvis Louis Néel - BP 257
38016 GRENOBLE cedex 1
04 56 52 94 02