



ENQUÊTE CNFM – SITELESC 2006

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

Pierre GENTIL

Directeur général du GIP CNFM
Professeur INP Grenoble
IMEP-LAHC





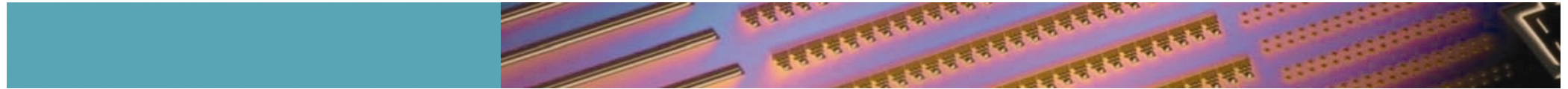
PLAN DE L'EXPOSÉ

- L'ENQUÊTE : motivation, conditions, entreprises et emplois
- LA FORMATION SOUHAITÉE
 - Technologie de fabrication
 - Conception numérique
 - Conception analogique
- LA FORMATION PRATIQUE
 - Actions du CNFM
 - Les TP importants pour les 3 catégories de métiers
- ORIGINES des RECRUTEMENTS, FORCES, FAIBLESSES DE LA FORMATION, EMPLOIS DIFFICILES A POURVOIR
- CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES



PLAN DE L'EXPOSÉ

- **L'ENQUÊTE : motivation, conditions, entreprises et emplois**
- LA FORMATION SOUHAITÉE
 - Technologie de fabrication
 - Conception numérique
 - Conception analogique
- LA FORMATION PRATIQUE
 - Actions du CNFM
 - Les TP importants pour les 3 catégories de métiers
- ORIGINES des RECRUTEMENTS, FORCES, FAIBLESSES DE LA FORMATION, EMPLOIS DIFFICILES A POURVOIR
- CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES



MOTIVATIONS DE L'ENQUÊTE PAR VISITES DES ENTREPRISES

Adéquation emploi-formation pour les emplois techniques, niveau ingénieur

- Prendre en compte les besoins des acteurs de la micro nano électronique
- Connaître les grandes classes de métiers et leurs évolutions
- Définir les disciplines scientifiques et les spécialisations utiles à ces métiers
- Faire évoluer les programmes de formation
- Évaluer les actions du CNFM dans la formation pratique
- Définir l'orientation de nouveaux moyens expérimentaux des pôles et services du CNFM



CONDITIONS DE RÉALISATION DE L'ENQUÊTE

➤ **Groupe de travail :**

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

et des contributions de :

- C. Schaeffer, CNFM Grenoble
- R. Bouchakour, CNFM Marseille
- G. Jacquemod, CNFM Nice
- H. Happy, CNFM lille

➤ **Un questionnaire de 7 pages envoyé préalablement aux entreprises**

➤ **Une visite dans l'entreprise**

- réunion de 2 à 3 heures avec les directions générales et RH, les responsables de production, de test, de conception analogique, logique, ...
- 40 interlocuteurs



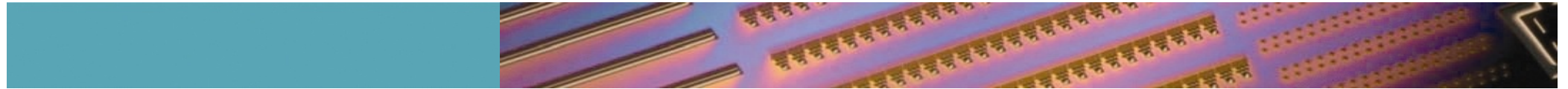
LES ENTREPRISES VISITÉES DE MAI À OCTOBRE 2006

- **ALLIANCE** à Crolles (38) avec les représentants de :
 - NXP (ex Philips Semiconducteurs)
 - STMicroelectronics
- **Texas Instruments** à Villeneuve Loubet (06)
- **CADENCE Design Systems** à Sophia Antipolis (06)
- **NXP** (ex Philips Semiconducteurs) à Caen (14)
- **STMicroelectronics** 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 ENTREPRISES VISITÉES (suite)

- 4 divisions production et conception
- 1 division service pour la production
- 3 divisions essentiellement conception
- 1 société outils de CAO
- 1 centre de recherche appliquée



13 795 emplois dont 6 956 ingénieurs et cadres
dont 6 264 (45 %) ingénieurs

dont 5 470 ingénieurs microélectroniciens
soit 40 % de l'effectif total (27 % en 2002)



LES ENTREPRISES VISITÉES (suite)

5 470 ingénieurs microélectroniciens répartis :

- Technologie de fabrication : 2 449
- Conception numérique et analogique : 2 451
- Autres : 570 (ingénieurs application, marketing, ventes, maintenance des équipements, informaticiens, développeurs de logiciels, ...)



PLAN DE L'EXPOSÉ

- L'ENQUÊTE : motivation, conditions, entreprises et emplois
- **LA FORMATION SOUHAITÉE**
 - **Technologie de fabrication**
 - **Conception numérique**
 - **Conception analogique**
- LA FORMATION PRATIQUE
 - Actions du CNFM
 - Les TP importants pour les 3 catégories de métiers
- ORIGINES des RECRUTEMENTS, FORCES, FAIBLESSES DE LA FORMATION, EMPLOIS DIFFICILES A POURVOIR
- CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES



FORMATION SOUHAITÉE

INGÉNIEURS TECHNOLOGIE DE FABRICATION

- **Formations de base** : Physique, chimie, matériaux pour les procédés élémentaires
aussi électroniciens pour l'intégration des procédés
aussi électriciens, mécaniciens, électroniciens pour les moyens de production
- **Connaissances spécialisées** :
 - la technologie 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
- **Sensibilisation à la conception souhaitée**



INGÉNIEURS TECHNOLOGIE DE FABRICATION (suite)

➤ Les filières de formation recherchées :

- les écoles centrales de Lyon et Marseille, ENSEE Grenoble, l'ENSEEIH Toulouse, ENSER Grenoble, l'ENSI Caen, ENSP Grenoble, l'ENSP Strasbourg, l'ESIEE, les INSA de Lyon, Rennes et Toulouse, Polytech Grenoble, Polytech Nantes, Supelec Rennes
- Docteurs appréciés en R & D technologie
- Schéma idéal : formation CNFM + stage en entreprise + expérience (thèse CIFRE,...)

➤ Initiation-spécialisation pour l'avenir :

- 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)



FORMATION SOUHAITÉE

INGENIEUR CONCEPTEUR NUMÉRIQUE

- **Formations de base** : électronicien
avec connaissances en informatique matérielle et logicielle
- **Très nombreuses formations spécialisées** :
 - Architecture des circuits intégrés et des systèmes (ASIC, SOC) (répartition hardware-software)
 - Synthèse logique, placement, routage, et flot de conception complet en général
 - Méthodologie de conception, définition et compréhension d'une spécification
 - Fonctions électroniques intégrées, connaissance des microprocesseurs, des microcontrôleurs, DSP, des circuits programmables,



INGENIEUR CONCEPTEUR NUMÉRIQUE (suite)

➤ **Très nombreuses formations spécialisées (suite):**

- 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, ...

➤ **Connaissance de la technologie souhaitée, nécessaire pour certains emplois**



INGÉNIEURS CONCEPTEUR NUMÉRIQUE (suite)

➤ Les filières de formation recherchées :

■ ENSEEIHT, ENSEIRB, ENSERG, ENSI Caen, ENSIMAG, ENST Bretagne, ENST Paris, ESEO, ESIEE, les INSA de Toulouse, Rennes, et Lyon, ISEN, ISEP, les Polytech de Montpellier, Nice, Grenoble, Nantes et Marseille, SUPELEC Paris, SUPELEC Rennes, Master et doctorat également cités

➤ Pour l'avenir :

- Augmentation du logiciel embarqué
- Architecture matérielle et logicielle
- Utilisation massive des composants virtuels
- Preuve formelle
- Faible consommation
- Test
- Importances des phénomènes analogiques : retard, diaphonie, gradient thermique



FORMATION SOUHAITÉE

INGÉNIEURS CONCEPTEUR ANALOGIQUE

- **Formations de base** : (Micro) électronicien
avec connaissances générales type EEA
- **Connaissances** : en composants (physique, modélisation, intégration), RF, Hyper, électronique de puissance, capteurs, actionneurs, asservissements, mesures, traitement du signal, bruit, statistiques, calcul d'erreur.



INGÉNIEURS CONCEPTEUR ANALOGIQUE (suite)

➤ Nombreuses formations spécialisées :

- 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 des technologies, composants, circuits
- la basse consommation
- le fonctionnement des simulateurs analogiques et mixed-mode

➤ Une bonne connaissance de la technologie est importante



INGÉNIEURS CONCEPTEUR ANALOGIQUE (suite)

➤ **Les filières de formation recherchées :**

▪ ENS Mines de Saint Etienne, ENSEEIHT, ENSEIRB, ENSERG, ISEN, ESIEE, ENSIL, INSA Lyon, Master recherche MNE et Pro CSINA de Grenoble, Polytech de Grenoble, Montpellier, Marseille, Nice et Lille

➤ **Pour l'avenir :**

- circuits mixtes avec des fonctions de plus en plus diverses
- conserver un esprit critique (attention aux simulations)
- prise en compte des fluctuations, dispersions de paramètres, couplage par le substrat, ...



PLAN DE L'EXPOSÉ

- L'ENQUÊTE : motivation, conditions, entreprises et emplois
- LA FORMATION SOUHAITÉE
 - Technologie de fabrication
 - Conception numérique
 - Conception analogique
- **LA FORMATION PRATIQUE**
 - **Actions du CNFM**
 - **Les TP importants pour les 3 catégories de métiers**
- ORIGINES des RECRUTEMENTS, FORCES, FAIBLESSES DE LA FORMATION, EMPLOIS DIFFICILES A POURVOIR
- CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES



FORMATION PRATIQUE

⇒ Jugée globalement très importante (93 %) ou importante (7 %)

Actions du CNFM

- utilisation des outils CAO industriel
⇒ très important
- testeur industriel national de Montpellier avec test à distance analogique et mixte ⇒ très intéressant
complète d'autres types d'enseignement du test en présentiel
- prototypage sur FPGA ⇒ très important pour la conception numérique
- prototypage sur ASIC ⇒ avis partagés
- salle blanche ⇒ très important à important
pour la spécialisation : TP SB CNFM + stages industriels ?



IMPORTANCE DES TYPES DE TP

A – pour l'ingénieur en technologie de fabrication

Évaluation de 1 = très important à 3 = peu important

Moyenne des évaluations des entreprises :

1- Technologie planar (salle blanche)	1,1
2- Analyse de défaillances	1,3
3- Caractérisation physico-chimique	1,4
4- Caractérisation électrique	1,5
5- Nanotechnologie (STM, AFM,...)	1,6
6- Simulation techno. (Atlas, Athena)	1,7
7- Technologie des microsystemes	1,9



IMPORTANCE DES TYPES DE TP (suite)

B – pour l'ingénieur en conception numérique

1- Conception et Outils CAO (Cadence, Synopsys, ...)	1,1
1- Test logique	1,1
3- Vérification formelle	1,3
4- Programmation C++, assembleur, Unix, Linux, ...	1,3
5- Prototypage (circuits programmables)	1,6
6- Simulation électrique	1,7
7- Test analogique	2
7- Conception des microsystemes	2
7- Analyse de défaillances	2



IMPORTANCE DES TYPES DE TP (suite)

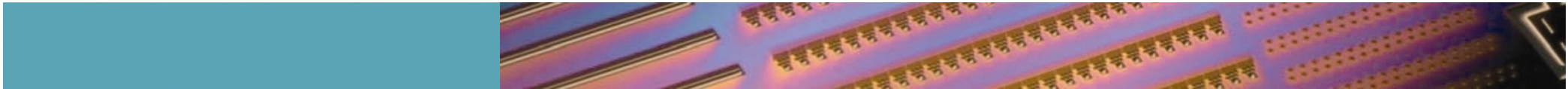
C – pour l'ingénieur en conception analogique

1- Simulation électrique	1,1
2- Conception et outils CAO (Cadence, Synopsys, ...)	1,3
2- Test analogique	1,3
2- Conception RF et hyperfréquences	1,3
5- Test logique	1,5
6- Caractérisation électrique	1,6
7- Conception des microsystemes	1,7
7- Vérification fonctionnelle	1,7
9- Programmation C++, assembleur, Unix, Linux, ...	1,8
10-Analyse de défaillances	1,9
11-Technologie des microsystemes	2



PLAN DE L'EXPOSÉ

- L'ENQUÊTE : motivation, conditions, entreprises et emplois
- LA FORMATION SOUHAITÉE
 - Technologie de fabrication
 - Conception numérique
 - Conception analogique
- LA FORMATION PRATIQUE
 - Actions du CNFM
 - Les TP importants pour les 3 catégories de métiers
- **ORIGINES des RECRUTEMENTS, FORCES, FAIBLESSES DE LA FORMATION, EMPLOIS DIFFICILES A POURVOIR**
- CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES



ORIGINES ET NIVEAUX DES RECRUTEMENTS

- Préférence pour les ingénieurs d'écoles
- Reconnaissance de plus en plus grande des Masters (recherche et professionnel)
- Importance de la personnalité
- Effet de proximité important
- Les docteurs appréciés et reconnus
 - notamment les CIFRE
 - notamment en technologie
- BAC +3 : intéressant mais peu recherché



FORCES, FAIBLESSES DE LA FORMATION DES INGÉNIEURS FRANÇAIS

⇒ **Globalement la formation est satisfaisante**

Les ingénieurs français sont compétents, rigoureux, bonne capacité d'adaptation

➤ Pour de nombreux métiers ⇒ privilégier la formation technique

Non à : SHS ↗ si TECHNIQUE ↘ (cf CTI)

➤ Les entreprises n'ont pas à chercher à l'étranger leurs jeunes ingénieurs

➤ Quelques lacunes techniques :

- le « back end » de la fabrication,
- les analyses statistiques,
- la connaissance des paramètres des composants, l'appariement, le bruit,
- les défauts, la fiabilité et le rendement,
- les plans d'expériences.



FORCES, FAIBLESSES (suite)

SUR LES METHODES DE TRAVAIL, LE COMPORTEMENT

- développement de la curiosité, de l'esprit critique et de l'esprit de synthèse
- développement de l'esprit pratique, faire le lien entre théorie et pratique. Savoir prendre un problème pratique, l'analyser et proposer des solutions.
- 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.

ANGLAIS : c'est moins mauvais

⇒ **action d'abord sur les méthodes d'enseignement : TD sur les cas réels, projets collectifs, stage**



EMPLOIS DIFFICILES À POURVOIR :

Quelques difficultés signalées en :

- conception analogique
- conception RF
- test, mémoires, architecture mixte
- concepteur outils CAO : double compétence

- ingénieurs de maintenance des équipements de SB

- recrutements de bons doctorants (CIFRE)



PLAN DE L'EXPOSÉ

- L'ENQUÊTE : motivation, conditions, entreprises et emplois
- LA FORMATION SOUHAITÉE
 - Technologie de fabrication
 - Conception numérique
 - Conception analogique
- LA FORMATION PRATIQUE
 - Actions du CNFM
 - Les TP importants pour les 3 catégories de métiers
- ORIGINES des RECRUTEMENTS, FORCES, FAIBLESSES DE LA FORMATION, EMPLOIS DIFFICILES A POURVOIR
- **CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**



PERSPECTIVES : quelques éléments

▪ EFFECTIFS :

- Court terme : + 5 à 10 % par an ? La proportion d'ingénieurs augmente un peu plus de concepteurs que de technologues
- Long terme : pas de visibilité
 - ⇒ un autre site 300 mm ? Crolles 3 ?
 - ⇒ niches à fortes valeurs ajoutées ?

▪ TECHNOLOGIE

- beaucoup d'innovations, diversité de techno. En France: R&D pour techno. complexes. Ex: SOC avec μ C + SRAM + NVM +HT + puissance + ...
- nanotechnologies pour la microélectronique

▪ CONCEPTION

- augmentation de la complexité
 - ⇒ travailler à haut niveau : spécifications, fonctionnel, et vérification à haut niveau
 - ⇒ test, testabilité
 - ⇒ analogique, RF, ...

Ne pas oublier les boîtiers, les assemblages, SIP

Travail en réseau : très grosses équipes éclatées dans le monde



SYNTHESE REDIGEE DE L'ENQUÊTE

⇒ **Diffusée auprès des ministères, entreprises, et universités concernés**

⇒ **Téléchargeable sur le site du CNFM :**

www.cnfm.fr

⇒ **Une nouvelle enquête en 2010 ?**

Merci de votre attention!