



**Présentation du pôle CNFM de Lille**

**Principaux moyens opérationnels du centre de formation**

**Liste des travaux pratiques proposés**

**Production pédagogique**



Pr Henri HAPPY

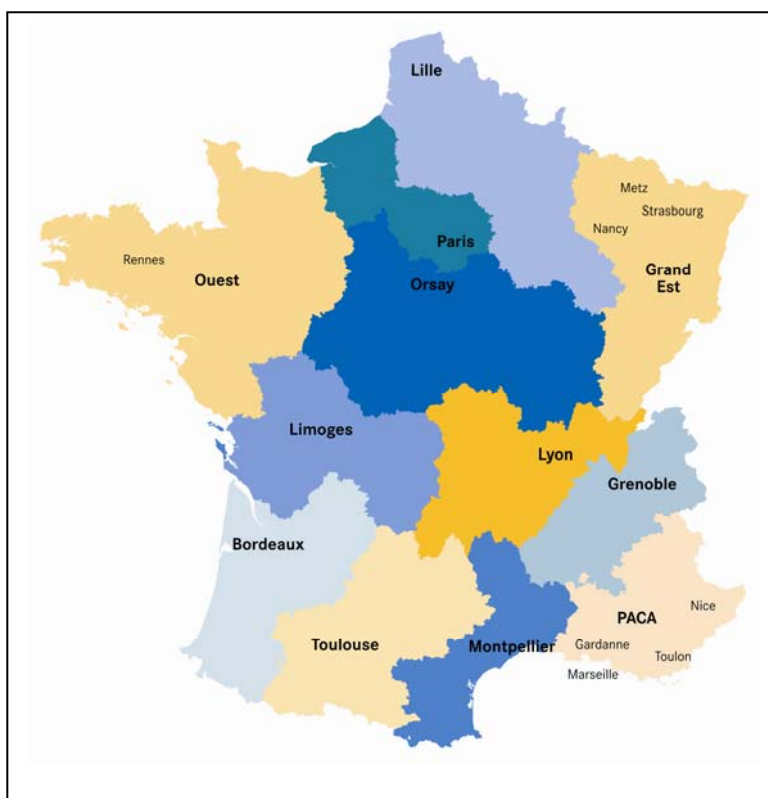


## **Présentation du Pôle Lillois de Formation en Micro et nanoélectronique (PLFM)**

La mise en place de centres de ressources disposant de moyens hautement spécialisés en microélectronique a été entreprise dans les années 80, à travers plusieurs plans d'urgence décidés par les ministères chargés de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MENESR), appuyés par le ministère chargé de l'industrie. Il s'agissait de répondre aux besoins exprimés par les entreprises qui faisaient état d'un manque cruel de spécialistes formés aux techniques de la microélectronique, situation que soulignait une enquête conduite par le Syndicat des industries des tubes électroniques et des semi-conducteurs (SITELESC).

L'importance des investissements à consentir, et la double nécessité d'éviter un éparpillement des moyens et de prendre en compte la répartition géographique des industries, des laboratoires de recherche, et des établissements de formation, ont conduit à la création d'un réseau de 12 pôles interuniversitaires et de services nationaux de CAO, de test, et de prototypes de circuits intégrés, fédérés par le GIP CNFM.

Aujourd'hui, la problématique réside plus dans la nécessité d'apporter une formation pratique d'excellence, évolutive, afin de répondre aux exigences d'innovation à tous les niveaux dans les domaines de la micro nanoélectronique et des micro et nano technologies offrant sans cesse de nouvelles possibilités et de nouveaux défis.



### ***Pôles disposant de moyens technologiques:***

Grenoble

Lille

Orsay

Paris

Rennes

Toulouse

Le Pôle CNFM de Lille est localisé au bâtiment P3, sur le campus de l'USTL. Ce pôle de formation s'est spécialisé dans la conception la fabrication et la caractérisation des composants et dispositifs dans le domaine des radiofréquences et Hyperfréquences. L'USTL dispose au bâtiment P3 des moyens uniques dans la région pour la formation en microélectronique à savoir:

- D'une salle de CAO équipée de logiciels de conception du domaine industriel, et adaptés aux hautes fréquences (HFSS, ADS, CST, CADENCE,...)
- D'une salle grise d'une surface de 75 m<sup>2</sup> permettant de fabriquer des circuits hybrides
- D'une salle blanche de 105 m<sup>2</sup> permettant de fabriquer des composants actifs et passifs à base de matériaux III-V.
- D'une salle de caractérisation HF permettant d'effectuer des mesure du continue jusqu'à des fréquences de 20 GHz.

L'investissement cumulé en équipements sur le pôle de Lille s'élève à environ 0,95 M€.

Le PLFM propose, pour ces différents pôles d'activités, un certain nombre de travaux pratiques. Ces travaux pratiques, de par leur modularité, sont adaptés pour répondre aux besoins des formations utilisatrices des moyens du pôle de formation.

Avec le développement des nanotechnologies et la création du Master Recherche Micro-NanoTechnologie de l'université de Lille 1, le PLFM, en partenariat avec la l'Institut d'Électronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie (IEMN) a développé des travaux pratiques de nanotechnologie, et est reconnu comme un acteur majeur dans la formation pratique dans ce domaine. D'ailleurs le master unifié "Nanosciences, nano-matériaux et nanotechnologies" rassemblant 15 universités du grand quart nord-ouest et proposé par le centre de compétence C'Nano Nord-Ouest, compte utiliser les moyens technologiques de ce pôle de formation pour les travaux pratiques.

Pour répondre aux besoins croissants de nombreuses filières d'enseignement en matière de travaux pratiques en nanotechnologie, nous avons mis en place, pour les besoins de la formation, une plate forme mutualisée, pour assurer des travaux pratiques de nanotechnologie. Elle est actuellement constituée d'un microscope AFM acquis grâce à une subvention exceptionnelle du ministère en charge de l'Industrie en 2006, et sera complété par un microscope STM lorsque nous aurons un budget suffisant.

Cette plateforme nous a permis, au travers d'une série de travaux pratiques, d'initier un nombre important d'étudiants de tous les niveaux (L, M, D) aux techniques d'observation et de fabrication de nano-objets à l'aide d'un microscope à champ proche

# P O L E C N F M D E L I L L E

Pôle Lillois de Formation en Microélectronique

Directeur : Henri HAPPY

Bâtiment P3 / DUSVA / 59655 VILLENEUVE D'ASCQ Cedex



03.20.19.78.58



03.20.19.78.92



henri.happy@iemn.univ-lille1.fr

Etablissement de rattachement : Université des Sciences et Technologies de Lille 1

Etablissement fondateur : Université des Sciences et Technologies de Lille 1

## FILIERES DE FORMATION INITIALE UTILISATRICES DU POLE EN 2007/2008 :

Lille	Ecole Centrale de Lille	Ingénieur	5A option Onde microélectronique et télécommunication
	Telecom Lille1	Ingénieur	4A ISOM (Ingénierie des systèmes optique et micro-onde)
	Polytech - USTL	Ingénieur	5A Informatique, microélectronique, automatique - option Microélectronique
		Ingénieur	4A Informatique, mesure, automatique - option Mesure
		Ingénieur	3A + 4A Science des matériaux
	ISEN	Ingénieur	5A + 4A option Systèmes électroniques
	USTL	Master rech.	M2R MNT (Micro et nanotechnologies)
		Master rech.	M2R TACT (Technologies avancée pour la communication et la mobilité)
		Master pro	M2P Matériaux (Procédés de traitement et de revêtement de surface)
		Master pro	M2P MRH (Microélectronique, radiofréquence et hyperfréquences)
		Master pro	M2P Télécommunications
Master	M1 MMT (Microélec., microtech. et télécom.) option Techno. circuits intégrés + Application micro-nanotechnologies + Complément micro-ondes + Projets TER + Conception de circuits par systèmes programmables + De la physique au composant		

## LABORATOIRES UTILISATEURS DU POLE EN 2007/2008 :

iemn

### ACTIVITE 2007/2008 SUR LES MOYENS COMMUNS DU POLE :

	Technologie et Caractérisation heures-personnes	Conception et Test heures-personnes	Nombre utilisateurs
Formation Initiale (TP + stages + projets)	3724	11523	414
Recherche (doctorants)	1900	4800	25
Formation continue	0	96	6

### PRINCIPAUX MOYENS OPERATIONNELS :

- ➔ Technologie
  - Salle blanche de 105 m<sup>2</sup> pour la technologie des semiconducteurs, Salle grise de 75 m<sup>2</sup> pour circuits.
- ➔ Caractérisation : Salle de 50 m<sup>2</sup> avec équipement RF et microondes.
- ➔ Conception :
  - 13 PC,
  - Outils CAO du CNFM : Cadence, Silvaco, Altera, Xilinx,
  - Outils CAO spécifiques : PSPICE, ADS, CST, HFSS, ICCAP.
- ➔ Test :
  - Accès au testeur V93K du CNFM,
  - Equipement mesures microondes : analyseurs de spectre, de réseaux, Banc de mesure sous pointes HF,...

INVESTISSEMENT CUMULE DANS LES MOYENS COMMUNS DU POLE : 0,95 M€

### PERSONNEL AFFECTE AU POLE EN 2007/2008 :

- 1 professeur (directeur de pôle),
- 1 ingénieur d'études, 1 assistant ingénieur à 75 %

## BUDGET FONCTIONNEMENT PLFM – Analyse décembre 2008

### Dépenses annuelles de fonctionnement

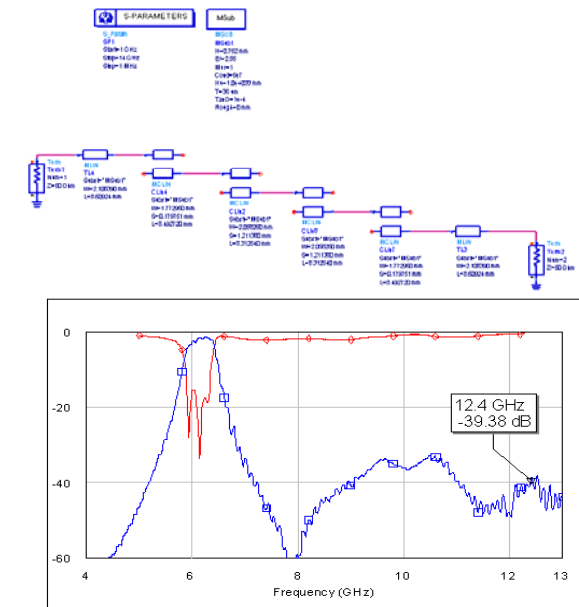
Type de dépenses	Montant réel, payé (K€)	Montant évalué (1) (K€)
<b>1- Techno en salle blanche</b>		
.frais (quasi) fixes azote, climatisation, contrats de maintenance et réparations, Nettoyage blouses...	10	
.frais proportionnels : plaques GaAs, fluides, liquides et produits chimiques, composants, ..	10	
Retraitement des produits chimiques	3	
. autres dépenses : missions, documentations, papeterie, vacations, ...	5	
Implantation des couches, utilisation AFM, produits chimiques spécifiques		10
<b>Sous total techno salle blanche</b>	<b>28</b>	<b>38</b>
<b>2- Conception, caractérisation, test,</b>		
. frais fixes : Licences ADS, Silvaco, CST, HFSS	5	
. frais : Composants RF – Petits matériels informatique	3	
. maintenance	3	
Sous total conception, caract, ..	11	
. Prélèvement Université frais généraux...	5	
<b>TOTAL GENERAL (A) (K€)</b>	<b>45</b>	<b>55</b>

### Recettes permettant d'assurer les dépenses

Type de recette	Montant reçu (K€)	Montant évalué (K€)
Subvention nationale CNFM	35	
Contribution de l'établissement d'accueil		2
Contribution des autres établissements	6,7	
Contribution du labo de IEMN (Implantation, utilisation AFM, Masques, Produits chimiques spécifiques)		10
Contributions autres (à préciser : taxe d'apprentissage,..)		
<b>TOTAL RECETTES (A') (K€)</b>	<b>41,7</b>	<b>53,7</b>

## SALLE DE CAO

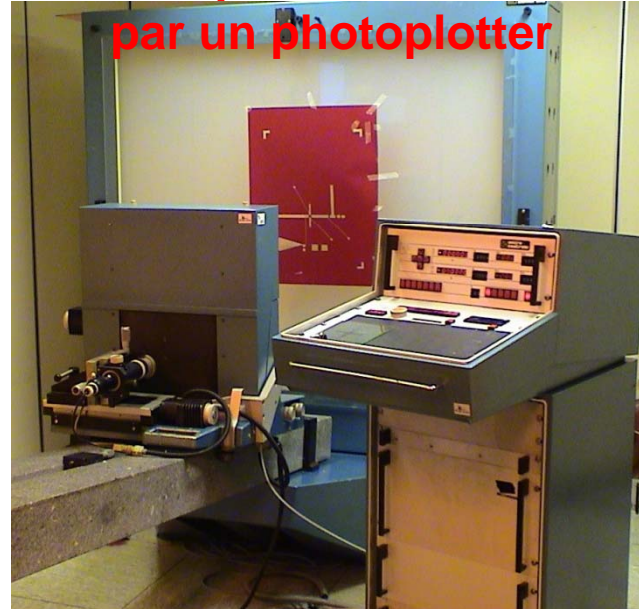
- 12 Postes informatiques avec des outils de CAO
  - Outils du CNFM: Cadence, Silvaco, Altera, Xilinx
  - Outils CAO spécifiques: ADS, HFSS, CST, ICCAP, PSPICE
- Accès au testeur HP 83000 du CNFM localisé à Montpellier



## SALLE TECHNOLOGIE HYBRIDE (fabrication de circuits RF)

Remplacé en 2009  
par un photoplotter

- Paillasse de chimie équipée de tournettes
- Fours de recuit résines
- Banc de photo-réduction
- Machine d'insolation de circuits
- Bain de dorure de boîtier circuits RF



Banc de photo-réduction



Banc d'insolation



Exemples de circuits fabriqués

## SALLE BLANCHE (fabrication de composants)

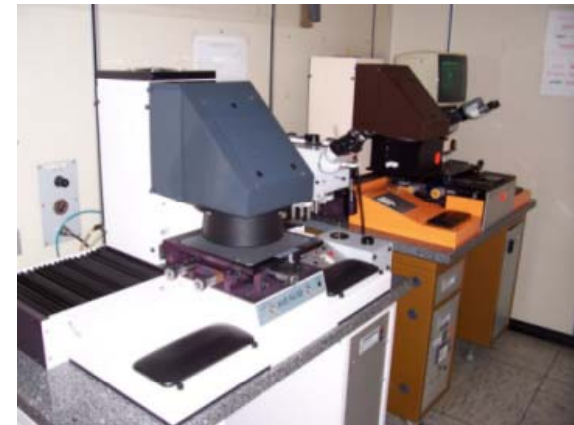
- 3 postes de travail paillasse chimiques sous hôte aspirante
- Salle de lithographie optique
  - 2 aligneurs de photolithographie MA 750 (résolution  $< 1 \mu\text{m}$ )
  - Tournette d'enduction de résine SUSS RC8
- Bâti de métallisation sous vide par canon à électrons RIBER



Poste de travail sous hôtes aspirantes



Bâti de métallisation sous vide



Aligneurs MA 750



## SALLE BLANCHE (fabrication de composants)

- Four tubulaires de recuit haute température
- Microscopes optiques
- Système de mesure sous pointes DC (plate forme Karl Suss et traceur de caractéristique TEKTRONIX)
- Profilomètre DEKTAK 3 ST (mesure d'épaisseur de qqes 10 Å à 130 μm)
- Un AFM di-Caliber Veeco



Système de mesures sous pointes

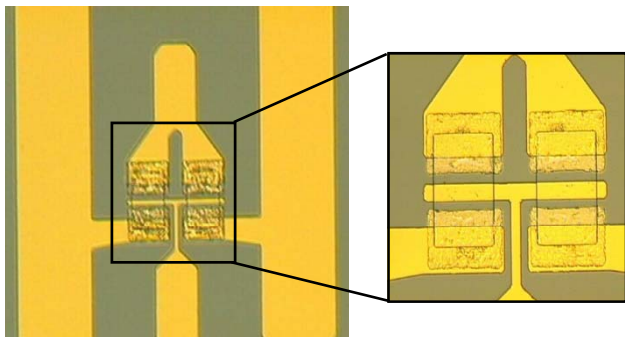


Tête AFM di-Caliber

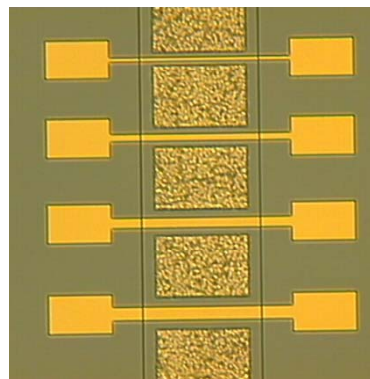


Profilomètre DEKTAK

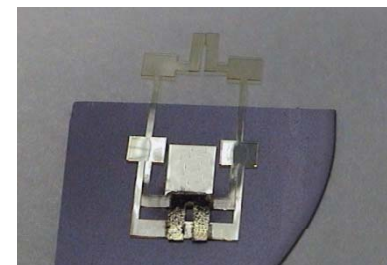
## SALLE BLANCHE – Exemples de réalisation



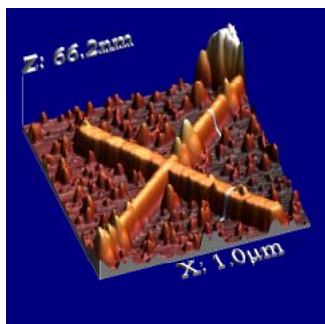
Transistor MESFET -  $L_g=2\mu\text{m}$



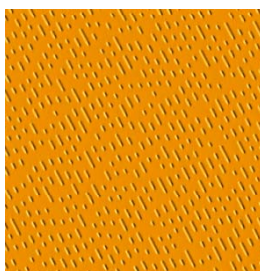
Echelle de transistors et diodes Schottky



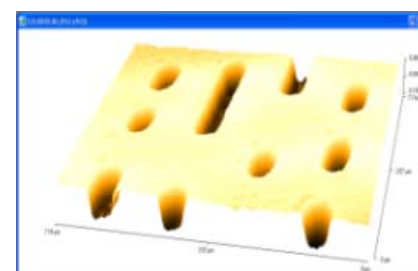
Pince polymère avec activation par système à mémoire de forme



Nano-lithographie sur substrat SOI

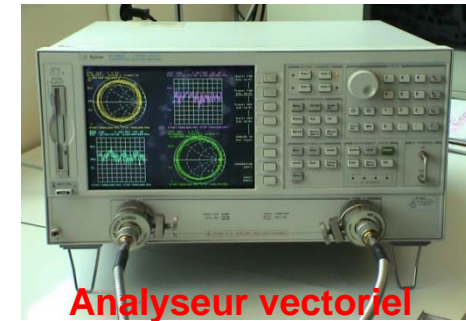


Observation des motifs de gravure d'un CD avec le microscope AFM



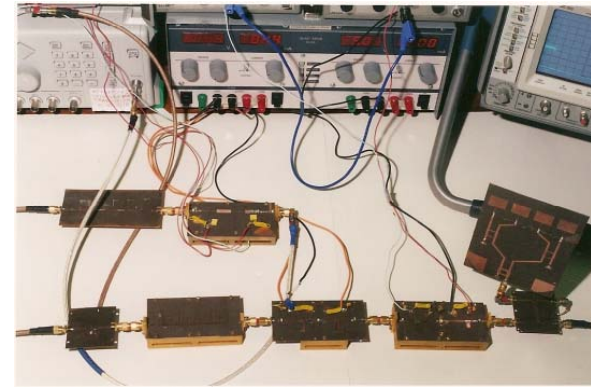
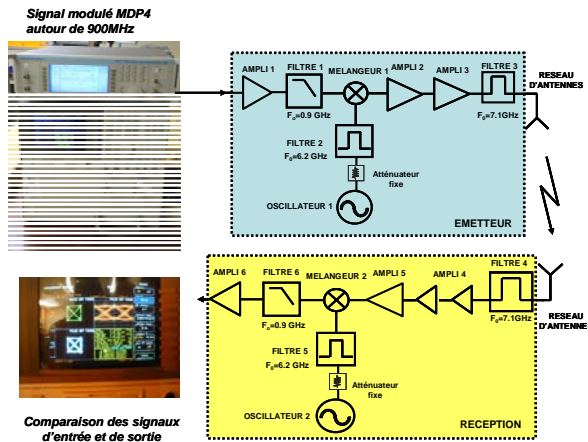
## SALLE DE CARACTERISATION

- Equipements HF permettant d'effectuer des mesure du continue jusqu'à des fréquences de 20 GHz.
- 2 Analyseurs de réseaux vectoriel ®HP8720 [130MHz-20GHz]
- 1 Analyseurs de spectres Hewlett Packard ®HP 8592A [50kHz-22GHz]
- 3 Générateurs ®HP8350B wobulés
- 1 analyseur de facteur de bruit HP8970A
- 4 Wattmètres ®HP 432A
- 1 Analyseur de signaux modulés numériques HP89441A [2MHz-2650MHz]
- Banc de mesure sous pointes HF

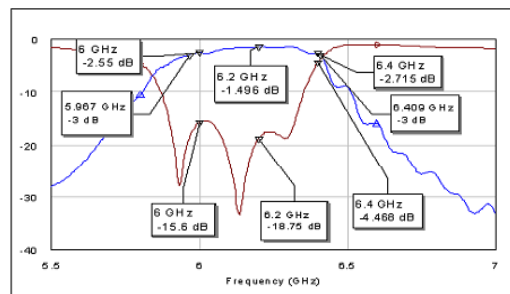


Banc sous pointes HF

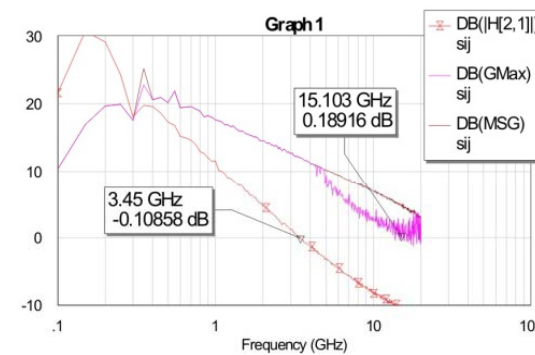
# SALLE DE CARACTERISATION – Exemples de réalisation



## Système d'émission-réception à 7,1 GHz (Projet master pro MRH)



Caractérisation filtre sélectif



Caractérisation sous pointe  
Transistor MESFET



## Liste des TP de Technologie (PLFM)

- **Mise en oeuvre de la nanolithographie, pour fabriquer des objets de taille nanométrique (fabrication de nanofils par oxydation et gravure sélective du silicium).**

**Objectif:** Utiliser l'AFM comme outil de fabrication et de caractérisation d'un dispositif nanométrique. Dans une première phase, l'AFM est utilisé comme un outil de nanolithographie, pour réaliser des nanofils de silicium par oxydation locale de surface et gravure sélective. Dans une seconde phase, après avoir fabriqué les dispositifs nanométriques, l'AFM est utilisé pour les observer et les caractériser.

- **Réalisation d'une pince actionnée par un alliage à mémoire de forme + Caractérisation statique et dynamique**

**Objectif:** Mise en application des techniques de fabrication d'un microsystème (notions de couche sacrificielle, libération de structure, actionnement du dispositif, ...). Technique de caractérisation in-situ du dispositif.

- **Fabrication de micro-poutre sur substrat InP et caractérisation MEB**

**Objectif:** Mise en application des techniques de fabrication d'un microsystème (notions de couche sacrificielle, libération de structure, actionnement du dispositif, ...). Technique de caractérisation au MEB.

- **Réalisation et caractérisation d'une membrane**

**Objectif:** Réalisation d'un microsystème pour des applications HF. Il s'agit de la fabrication d'une membrane polyimide sur GaAs. On cherchera à sensibiliser au mieux les étudiants aux problèmes technologiques, mécaniques de ce type de dispositif.

- **Fabrication de circuits planaires**

**Objectif:** Sensibiliser les étudiants aux techniques utilisées pour la réalisation de circuits planaires sur substrat diélectrique métallisé sur ses deux faces (banc de photo-réduction, lithographie optique, ...). Ils réalisent divers dispositifs passifs ou actifs en structure microruban. Ces éléments seront mesurés par la suite en salle de caractérisation.

- **Fabrication de transistors de type MESFET**

**Objectif:** Sensibiliser les étudiants aux techniques utilisées en microélectronique, pour la fabrication de composants. Le jeu de masques que nous disposons permet de réaliser des échelles de résistances, des diodes Schottky, des transistors de type MESFET. Ce TP se décline en plusieurs versions selon que l'on s'intéresse à la sensibilisation des étudiants, à la formation de généralistes ou de spécialistes.

Selon les besoins des formations, des tests sont effectués sur les composants réalisés en régime statique (pointes DC) ou en régime dynamique (mesure de paramètres S des composants de 0.5 à 20 GHz – Utilisation du banc de mesure sous pointes.



## Liste des TP de CAO (PLFM)

- **Composants numériques programmables**

**Objectif:** Donner les moyens de base nécessaires au développement de systèmes numériques à partir de circuits de type FPGA.

- **Simulation d'une chaîne de transmission numérique (MATLAB)**

**Objectifs:** Connaître les blocs constitutifs de la chaîne de transmission numériques; savoir quantifier la qualité de transmission d'un lien numérique (spectre des signaux, constellation, diagramme de l'œil, EVM), ...

- **Simulation de composants et de dispositifs avec l'outil SILVACO**

Cet outil de simulation permet d'aborder la modélisation physique et technologique (gravure, dépôt, implantation ionique, diffusion, oxydation, épitaxie...) des composants à base de matériaux semi-conducteurs

Sur la base de cet outil, de nombreux travaux pratiques sont proposés aux étudiants:

- **Simulation (électrique et/ou technologique) d'une jonction: Jonction PN, Jonction Schottky**
- **Simulation (électrique et/ou technologique) d'une capacité MOS**
- **Simulation (électrique et/ou technologique) d'un transistor MOS**
- **Simulation mixte (technologie/circuit) de dispositifs (cellule CMOS, oscillateur, ...)**
- **Simulation d'un transistor MESFET sur substrat GaAs**

- **Simulation de dispositifs HF sur le logiciel ADS (Advance Design System)**

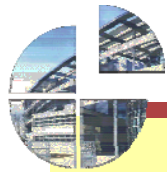
Cet outil de simulation électrique et électromagnétique de systèmes, de circuits HF est largement utilisé pour réaliser des travaux pratiques. Il permet également de générer des masques de circuits passifs. Il sert également de support à de nombreux projets (projets techniques, TER, ...).

- **Initiation au logiciel ADS (1<sup>ère</sup> partie)**
  - Cette initiation se déroule au travers de la conception de différents filtres centrés autour de 6.2 GHz, et utilisant la technologie micro-ruban.
- **Initiation au logiciel ADS (2<sup>ème</sup> partie)**
  - Cette initiation se déroule au travers de la conception d'un amplificateur micro-onde. L'accent est mis sur les techniques d'analyse des caractéristiques statiques et dynamiques (étude linéaire et non linéaire).
- **Conception d'un amplificateur à base de HEMT au maximum de gain à 5 GHz**
- **Conception d'un amplificateur à 2 étages adapté en bruit en entrée et en puissance en sortie.**
- **Conception d'un VCO à 1,8 GHz**
- **Liaison ASK à 60 GHz faible consommation et faible débit, pour systèmes de communication intra-bâtiment.**
- **Liaison 16 QAM à 60 GHz pour systèmes de communication intra-bâtiment pour un débit de 100 Mbps.**



## Liste des TP de Caractérisation (PLFM)

- **Prise en main d'un AFM: Initiation aux différents modes de fonctionnement de l'équipement**  
*Objectif:* Sensibiliser les étudiants à l'utilisation de l'AFM (Microscope à Force Atomique) et les différents modes de fonctionnement (mode contact, mode dynamique). Cette formation est effectuée avec des échantillons dédiés à cet effet.
- **Observation d'échantillons de différentes tailles, et analyse de la surface d'un matériau semi-conducteur**  
*Objectif:* Utilisation de l'AFM (Microscope à Force Atomique) pour caractériser des motifs, et analyser la surface d'un matériau semi-conducteur.
- **Initiation à la mesure HF**  
*Objectif:* Initiation à l'utilisation d'un analyseur de réseaux vectoriel. Apprentissage des techniques de calibration et de mesure de paramètres S de circuits passifs (filtres, coupleurs, ...).
- **Initiation à la mesure sur plaque (on wafer) de dispositifs HF**  
*Objectif:* Apprentissage des techniques de mesure sous pointes HF (posé des pointes, gestion et acquisition des mesures sous l'outil IC-CAP, exploitation des mesures sous IC-CAP, ...). Utilisation d'échantillons dédiés, ou fabriqués en salle blanche.
- **Caractérisation d'un amplificateur linéaire HF**  
*Objectif:* Apprendre les techniques de caractérisation des composants actifs, et des amplificateurs en régime linéaire (Amplificateur faible bruit – LNA). Savoir mesurer les performances de bruit d'un dispositif.
- **Mesure de bruit HF**
- **Caractérisation de dispositifs non linéaires HF**  
*Objectif:* Apprendre à analyser le comportement non linéaire d'un dispositif, et l'influence des non linéarités dans les systèmes. En fonction des besoins des formations, il existe différents TP sur les dispositifs suivants:
  - *Étude d'un amplificateur de puissance*
  - *Étude d'un oscillateur HF*
  - *Analyse d'un mélangeur*
  - *Influence de non-linéarités dans une chaîne de transmission numérique*
- **Caractérisation d'une chaîne de radiocommunication GSM.**  
*Objectifs:* Maîtriser la caractérisation des composants (passifs et actifs), ainsi que le fonctionnement d'une chaîne de transmission. Les mesures sont effectuées sur un répéteur GSM.



# STAGE EN SALLE BLANCHE – REALISATION ET CARACTERISATION HYPERFREQUENCE DE DISPOSITIFS



Sophie MARICOT, Virginie HOEL, Pascal DELEMOTTE, Gilles DAMBRINE, Henri HAPPY, Alain CAPPY



## Résumé

Nous présentons un stage de microélectronique qui porte sur la réalisation de transistors à effet de champ de type MESFET.

Les objectifs de ce stage sont :

- La sensibilisation des étudiants à l'environnement de salle blanche
- La mise en évidence des problèmes liés à la réalisation des composants
- Aborder la caractérisation sous pointes - statique et hyperfréquence (0,1-20,1 GHz) des dispositifs actifs

Ces travaux pratiques se déroulent dans une salle blanche à usage pédagogique du pôle microélectronique CNFM du Nord.

## Taux d'encadrement

6 étudiants / enseignant

## Durée du stage

2 jours

## Niveau

Ce stage, qui se décline en 3 niveaux selon les besoins des formations (initiation, généralistes, spécialistes) en microélectronique est suivi par les étudiants :

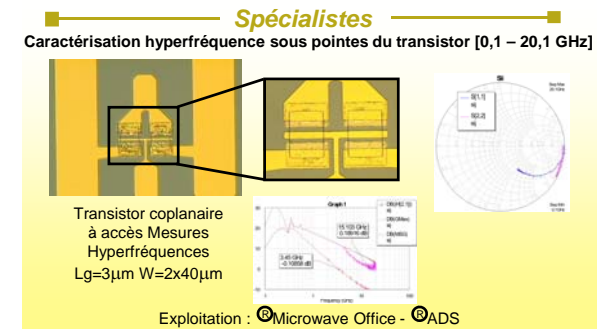
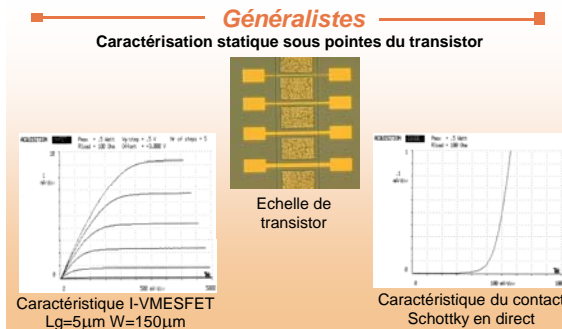
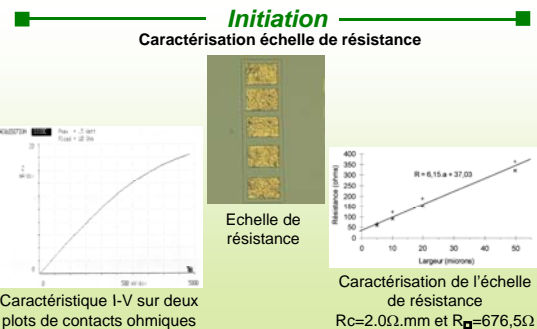
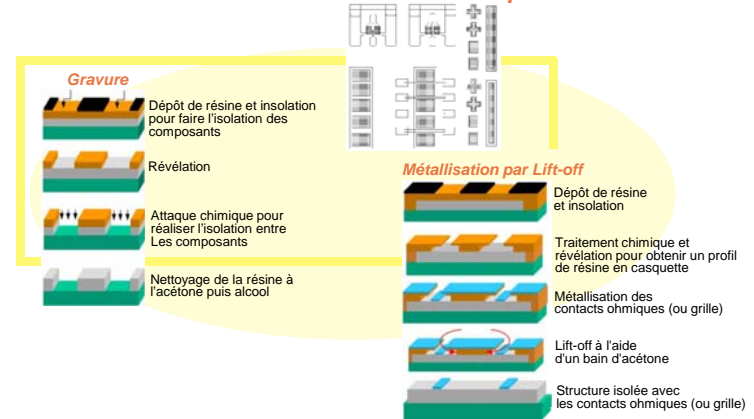
- Du DEA Microondes et microtechnologies
- Du DESS Microélectronique - Radiofréquences - Hyperfréquences
- De l'Ecole Centrale de Lille (3<sup>ème</sup> année)
- De l'Ecole Polytechnique Universitaire de Lille (IMA)
- De l'Ecole Polytechnique Universitaire de Lille (SM)
- De ENIC-Telecom Lille1 (5<sup>ème</sup> année)



## Equipement salle blanche

- Banc de photolithographie
- Bâti de métallisation par évaporation sous vide
- Four de recuit tubulaire destiné au recuit des contacts ohmiques
- Tournette et plaque chauffante pour dépôt et recuit de résine
- Appareils de contrôle des étapes technologiques (mesureur d'épaisseur, un microscope)

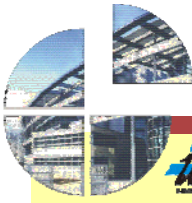
## Structure du masque



## Conclusion

Ce stage de sensibilisation aux problèmes liés à la réalisation des composants en salle blanche est très apprécié des étudiants. Il permet d'aborder les différents aspects de l'industrie de la microélectronique à savoir la conception, la réalisation et la caractérisation. La manipulation du banc de mesure hyperfréquence sous pointes est une expérience particulièrement appréciée des professionnels de la microélectronique.





# CONCEPTION, REALISATION ET CARACTERISATION D'UN SYSTEME DE TELECOMMUNICATION PAR FAISCEAU HERTZIEN A LA FREQUENCE DE 7.1 GHz



Pascal DELEMOTTE, Jean-François LEGIER  
Gilles DAMBRINE, Henri HAPPY



## Introduction

Nous présentons une expérience basée sur une pédagogie par le projet et la conduite de projet.

### Objectifs de cette expérience:

- Mise en œuvre d'une liaison hertzienne déportée.
- Travail articulé autour de la conception, la réalisation et la caractérisation de cette liaison.
- Travail de conduite de projet rythmé entre cours, travaux dirigés, travaux pratiques et conférences spécialisées d'acteurs du monde industriel.

## Public concerné

Étudiants du MASTER Professionnel Microélectronique – Radiofréquences et Hyperfréquences

<http://ustl.univ-lille1.fr/dess-micro/>

## Moyens mis en oeuvre

### Des hommes:

- Une équipe pédagogique de quatre personnes
- Un encadrement technique

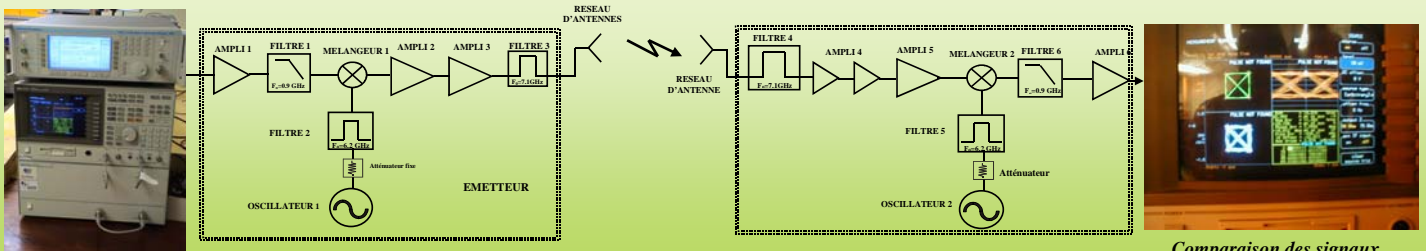
### Du matériel:

- Salle de CAO : A.D.S. – M.W.O. – C.S.T.
- Salle de technologie dite « grise »
- Centre de test et de mesures : Analyseur de réseaux vectoriel, analyseur de spectre, synthétiseurs hyperfréquences, mesure de puissance, mesure de bruit et bancs spécifiques.

## Durée de la formation

6 mois (sans le stage)

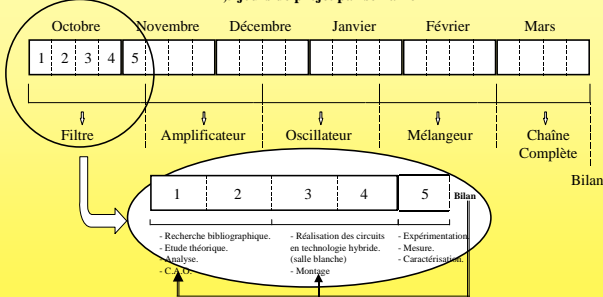
## Schéma synoptique du faisceau Hertzien réalisé



Comparaison des signaux d'entrée et de sortie

## La pédagogie par le projet

2,5 jours de projet par semaine



## Salle blanche



Insolateur



Traceur DC sous pointes

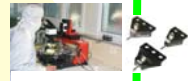


## Équipements de réalisation et de test

- Banc de photo réduction
- Tourneuse et insolateur pour lithographie optique de la résine
- Caractérisations DC et hyperfréquences sous pointes
- Binoculaire de contrôle des étapes technologiques
- Équipements de test et de mesures : analyseur de réseaux vectoriel, mesure de bruit ...



Banc de photo réduction



Mesures sous pointes hyper



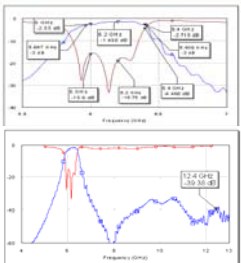
Mesure de facteur de bruit



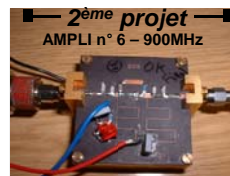
Analyseur de réseau vectoriel

## 1<sup>er</sup> projet

### EXEMPLE D'UN FILTRE PASSE-BANDE A LIGNES COUPLÉES

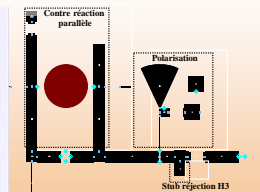
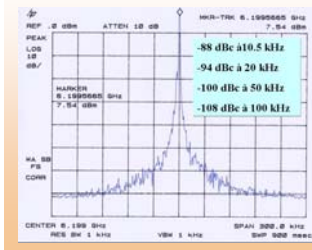


Filtre n°2 à lignes couplées – 6,2GHz



## 3<sup>ème</sup> projet

### EXEMPLE D'UN OSCILLATEUR A REACTION GRILLE-DRAIN



Oscillateur OSC1 à réaction (grille-drain) – 6,2GHz

## Conclusion

### Pour assurer la réussite du projet:

- Instaurer un travail de communication entre les étudiants et l'équipe pédagogique.
- Travailler en équipe.
- Adapter une gestion du temps:
  - Des moyens matériels du pôle lillois du CNFM (200 étudiants répartis dans diverses formations de l'USTL).
  - Du calendrier et des échéances établies en début de sous-projet.

De l'ensemble des sous-systèmes conçus et testés, seuls les meilleurs dispositifs ont été retenus et assemblés, en présence de l'équipe pédagogique.



# TP DE NANOTECHNOLOGIE : REALISATION ET OBSERVATION DE NANOFILS DE SILICIUM A L'AIDE DE L'AFM

Bernard LEGRAND, Henri HAPPY



## Résumé

Nous présentons dans cette communication la méthodologie ainsi que les résultats obtenus par les étudiants dans le cadre d'un TP de nanotechnologie. Le travail proposé porte sur la fabrication et l'observation de nanofils de silicium utilisant un microscope à sonde locale. L'optimisation des paramètres de gravure permet d'obtenir des motifs avec des dimensions de quelques dizaines de nanomètre.

Les objectifs de ce stage sont :

- Compréhension du fonctionnement du microscope à force atomique (AFM)
- Utilisation de l'AFM comme outil de nanolithographie par oxydation anodique d'une surface de silicium
- Utilisation de l'AFM pour observer des nanostructures

## Taux d'encadrement

4 étudiants / enseignant

## Environnement

Ce stage bénéficie du soutien de l'IEMN (Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie) qui met à disposition, dans le cadre de ce TP, un microscope à force atomique ainsi qu'un accès limité à la salle blanche « recherche ».

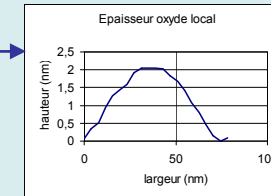
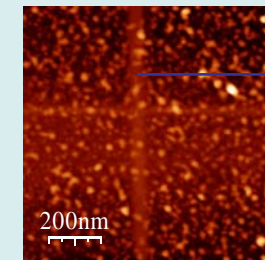
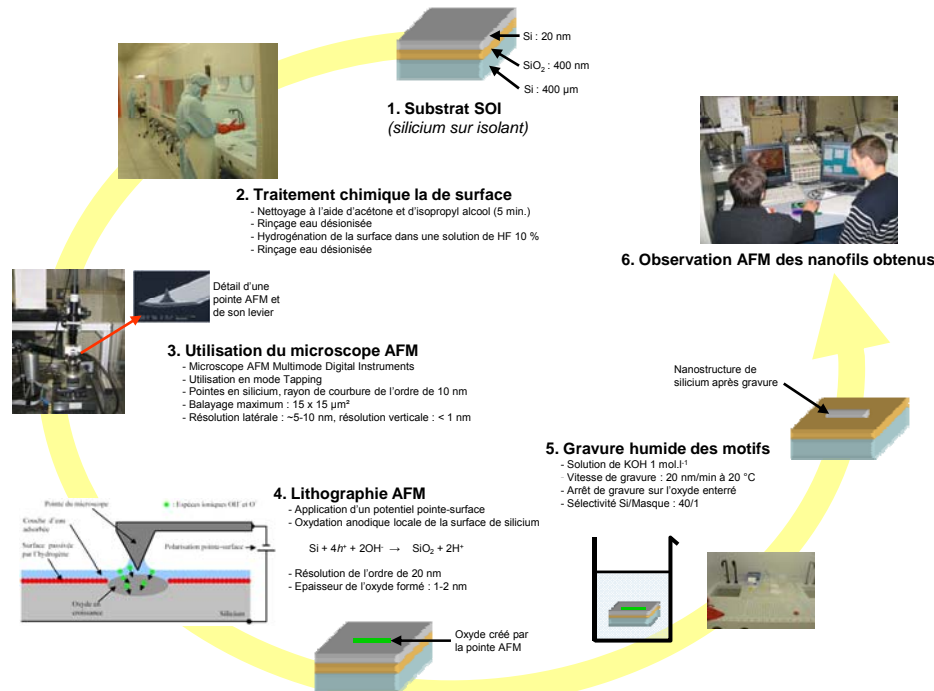
## Niveau

Ce stage s'adresse aux étudiants du Master recherche Microélectronique et Nanotechnologies de l'Université de Lille. Ce stage est uniquement proposé aux étudiants ayant déjà suivi un premier stage d'initiation à la technologie en salle blanche. En effet, compte tenu de la toxicité et de la dangerosité des produits utilisés pour la préparation des surfaces, il est indispensable que les règles de sécurité soient scrupuleusement suivies.

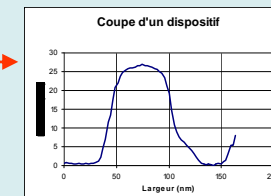
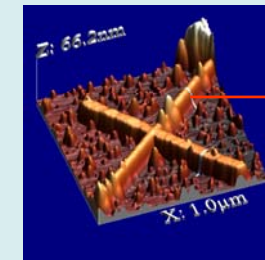
## Durée du stage

1 journée / 7 heures

## Résultats obtenus par les étudiants



Etape de lithographie : l'épaisseur de l'oxyde est de l'ordre de 2 nm. On remarque une forte pollution à l'échelle nanométrique de la surface due à un nettoyage insuffisant.



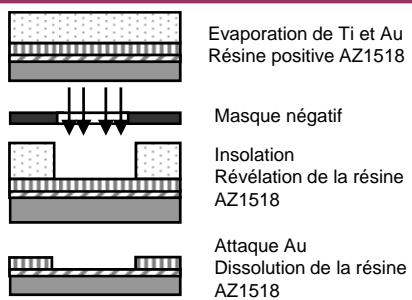
Observation après gravure : les motifs sont élargis à cause de la forte anisotropie de la gravure KOH. Les faces {111} se gravent beaucoup moins vite que les faces {100}.

## Conclusion

Ce stage d'initiation à la microscopie à sonde locale et à la fabrication de structures à l'échelle nanométrique est très apprécié des étudiants. Il permet de manipuler un microscope de type AFM qui est un instrument répandu dans les laboratoires de recherche et dans l'industrie. Les performances de l'AFM associées à une mise en œuvre aisée permettent de travailler facilement à l'échelle du nanomètre dans le cadre de ce TP d'initiation aux nanotechnologies. Une évolution possible de ce TP consiste à caractériser électriquement les nanofils de silicium en ayant préalablement disposé sur la surface des plots métalliques au contact desquels les nanofils sont fabriqués.

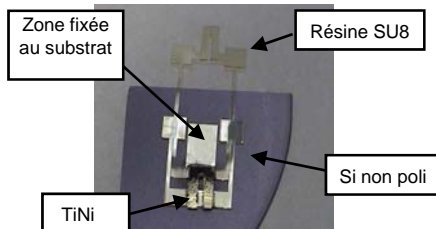
# STAGE DE SENSIBILISATION AU TRAVAIL EN SALLE BLANCHE : CARACTERISATION D'UNE PINCE EN POLYMÈRE ACTIONNÉE PAR UN ALLIAGE À MÉMOIRE DE FORME EN FILM MINCE PÔLE CNFM DE LILLE

- Objectif :** Sensibiliser les étudiants au travail en salle blanche par la réalisation d'actionneurs simples
- Public :** Etudiants de 3ème année option 'Ondes' de l'école centrale de Lille
- Pré-requis :** Notions de base en microtechnologies, connaissances en alliages à mémoire de forme
- Conditions :** Salle blanche à usage pédagogique du pôle CNFM de Lille  
6 étudiants / enseignant  
Travaux effectués par binôme  
Durée du TP : 2 jours

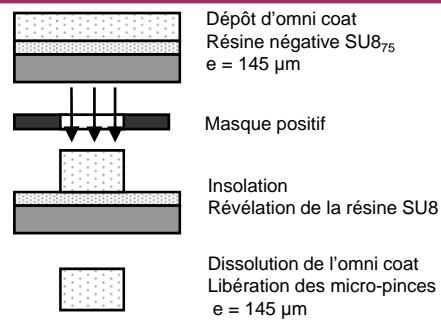


■ Si    ▨ Ti    ▤ Au    □ Résine AZ1518

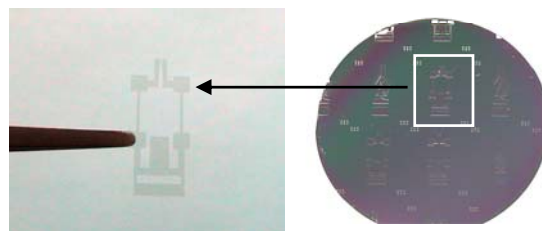
### 1) Réalisation d'un microvernier



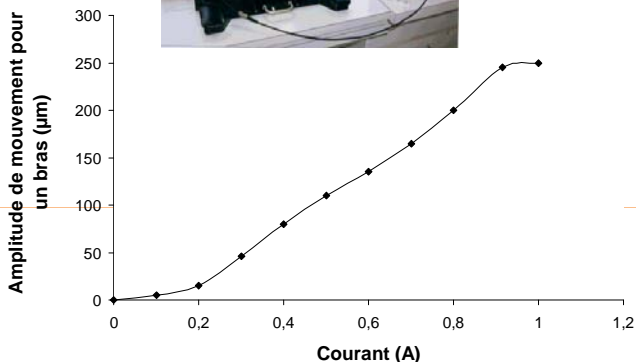
### 3) Montage du dispositif



■ Si    □ Omni coat    □ Résine SU8<sub>75</sub>

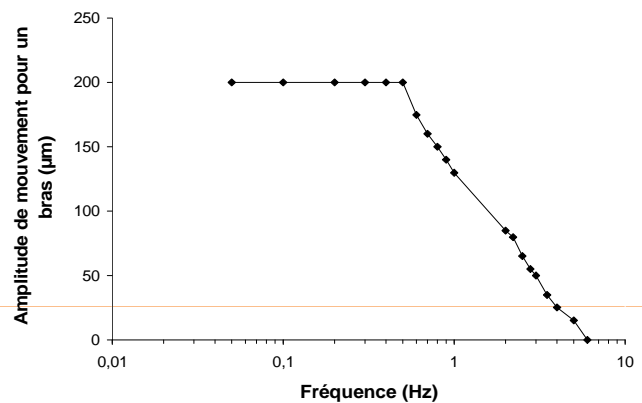


### 2) Réalisation d'une pince en SU8



Amplitude du mouvement d'un bras de la pince en fonction du courant

### Caractérisation sous pointes



Amplitude du mouvement d'un bras de la pince en fonction de la fréquence d'actionnement

# SENSIBILISATION AUX NANOSCIENCES ET NANOTECHNOLOGIES : TRAVAUX PRATIQUES - CAO



**Olivier VANBESIEU**  
 Email : [Olivier.Vanbesien@iemn.univ-lille1.fr](mailto:Olivier.Vanbesien@iemn.univ-lille1.fr)



## Contexte Pédagogique

Dans le cadre de la mise en place du système LMD, trois unités d'enseignement ayant pour thématique commune la Nanoelectronique ont été mises en place dans le cursus Licence-Master de l'UFR d'IEEA de l'Université des Sciences et Technologies de Lille. Il s'agit des unités « Sensibilisation aux Nanosciences et Nanotechnologies » en troisième année de Licence EEA, « Applications des Micro et Nanotechnologies » en première année de Master MMT et de « Composants Nanométriques » dans le cadre du Master Recherche MNT. Comme point commun entre ces trois unités et de manière progressive, des travaux pratiques de CAO, basés sur un logiciel développé pour la recherche dans les années 1990, permettent aux étudiants d'appréhender entre autres les notions de localisation, d'effet de tunnel dans les hétérostructures semiconductrices, de la simple barrière aux multipuits quantiques et super-réseaux.

## Thématiques Abordées

Pour l'unité de troisième année de Licence, « Sensibilisation aux Nanosciences et Nanotechnologies », plus que la notion d'hétérostructures, il s'agit de faire appréhender aux étudiants les effets de localisation dans un puits quantique ainsi que l'effet tunnel (et les effets de réflexion quantique associés – localisation virtuelle au dessus d'une barrière de potentiel).

Pour l'unité de Master première année, « Application des Micro- et Nano- Technologies », il s'agit de faire découvrir un composant, la diode à effet tunnel résonnant. La première séance se focalise sur les principes physiques, tandis que la seconde leur propose d'optimiser un composant en vue de l'utiliser en tant qu'oscillateur, sur la base d'un cahier des charges qui leur est donné.

En Master recherche, sachant que le public est en général renouvelé, les thèmes précédents sont de nouveau abordés mais de manière plus succincte puis étendus à l'étude du couplage entre puits quantiques et notions de multipuits quantiques et superréseaux.

## Présentation du logiciel

### UE – Sensibilisation aux Nanosciences et Nanotechnologies Nanoelectronique – Travaux Pratiques CAO

La figure 1 donne un schéma de principe des structures qui seront simulées :

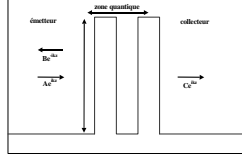


Figure 1 : Schéma de principe

Les points importants à retenir sont les suivants :

- les zones d'émission et de collecte seront considérées à l'équilibre thermodynamique caractérisé par un niveau de Fermi constant et à potentiel électrostatique nul ;
- le champ électrique sera supposé nul dans toute la structure

Dans le fichier de données (voir annexe 1), vous aurez à modifier uniquement les paramètres suivants :

- structure cristalline (dimensions barrières et puits de potentiel, masses effectives, discontinuités de potentiel)
- excitation en énergie
- options de calcul (transmission ou fonction d'onde)

Les grandeurs de sortie, sur lesquelles vous allez travailler sont :

- le profil de potentiel
- le coefficient de transmission en fonction de l'énergie
- la fonction d'onde ou la probabilité de présence d'un électron

Dans l'ensemble des calculs qui suivront, nous considérons le système de matériaux GaAs/AlGaAs avec 40 % d'Aluminium. Les paramètres matériaux sont :

	GaAs	Al <sub>x</sub> Ga <sub>1-x</sub> As
Masses effective (m <sub>0</sub> )	0.067	0.092
Hauteur de barrière (eV)		0.3

Le logiciel graphique « gnpplot » permettra une visualisation rapide des résultats (les commandes principales seront vus dans la première séance), les valeurs numériques seront à aller chercher dans les fichiers de sortie générés par le calcul.

Ces fichiers sont :

- transmission ; potentiel ; fn\_ond

Nous verrons leur contenu dans le cours de la première séance.

(1) (2)

## Exemple de mini-projet

### Proposé en master 1ère année

### TP 2 OSCILLATEUR A DIODE A EFFET TUNNEL RESONNANT

Le but de ce TP est d'optimiser les paramètres matériaux et géométriques d'une diode double-barrière à effet tunnel résonnant et de voir son utilisation en oscillateur très haute fréquence. Pour cela on alterne des charges vous sera fait en termes de performances à atteindre, les données régissant le fonctionnement du dispositif et les matériaux semiconducteurs utilisables (liste GaAs) vous seront suggérés.

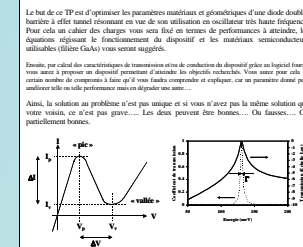


Figure 1(a): caractéristiques de conduction d'une diode double-barrière à effet tunnel résonnant et grand double effet tunnel résonnant (d'une double-barrière à effet tunnel résonnant et grand double effet tunnel résonnant).

### CAHIER DES CHARGES

3) Détermination des paramètres

A partir des caractéristiques physiques du composant et en supposant une polarisation du composant en milieu de zone de résonance différentielle négative, on peut estimer la puissance hyperfréquence (P<sub>max</sub>) et la puissance continue (P<sub>cc</sub>) par :

$$P_{max} = \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{\Delta I} \left( \frac{1}{V_0} \right) = \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{\Delta I} \left( \frac{1}{V_0} \right) \left( \frac{1}{V_0} \right) \left( \frac{1}{V_0} \right) \left( \frac{1}{V_0} \right)$$

$$P_{cc} = \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{\Delta I} \left( \frac{1}{V_0} \right) \left( \frac{1}{V_0} \right) \left( \frac{1}{V_0} \right) \left( \frac{1}{V_0} \right) \left( \frac{1}{V_0} \right)$$

avec :  $V_0$  la courant pic,  $I_0$  la courant valée,  $V_0$  la tension valée. Vous déduirez la signification des autres termes.

On définit enfin le rendement du dispositif par

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cc}}$$

4) Contraintes diverses

- On s'imposera de concevoir une structure synthétique (elle peut ainsi être utilisée dans des sens de polarisation).
- On évitera d'utiliser des largeurs de barrière inférieures à 1,5 nm.
- Les largeurs de l'émission et du collecteur seront supposées égales.

COMPTRE-RENDU

Dans le compte-rendu, vous serez bien évidemment figurer la structure finalement choisie ainsi que l'ensemble de ses caractéristiques principales. Vous pourrez également expliquer la manière dont vous êtes parvenu à ces conclusions.

D'un point de vue introductif, la fréquence maximale de fonctionnement est donnée par l'inverse du temps de vol (t) des électrons dans le puits. Ce dernier peut être déduit du spectre de transmission du composant calculé à l'équilibre par la relation :

$$f = \frac{1}{t} \approx \frac{1}{L} \text{ avec } L \text{ la largeur à mi-hauteur du pic de transmission.}$$

Ainsi, pour avoir un fonctionnement correct et fiable à une fréquence de coupure à une valeur au moins 10 fois plus grande que la fréquence de travail.

## Niveau Licence (3ème année)

### Exemple d'énoncé – Compte rendu étudiant

**SECONDE SEANCE : APPROFONDISSEMENT**

Au cours de cette seconde séance, en exploitant d'autres exemples et en vous basant sur les résultats acquis de la première séance, il vous sera demandé de rédiger un compte-rendu en direct qui sera ramassé en fin de TP.

1. **Structure simple barrière**

En considérant des zones émetteur et collecteur de 20 nm et une barrière unique de Al\_{0.4}Ga\_{0.6}As de largeur  $L_p$ , tracer l'évolution de la transmission pour les énergies de 250, 300 et 350 meV en fonction de  $L_p$ . On fera évoluer  $L_p$  entre 1 et 15 nm. Commenter la courbe obtenue.

2. **Structure double barrière**

On va s'intéresser ici à une structure double barrière (Al\_{0.4}Ga\_{0.6}As) simple puits (GaAs) :

- Zones émetteur et collecteur : 20 nm
- Largeur de la première barrière : 2 nm
- Largeur de puits variable entre 1 et 50 nm
- Largeur de la seconde barrière : 2 nm

→ Par quel moyen pouvez vous identifier la présence de niveaux quantiques dans le puits ? (on se limitera aux énergies inférieures à la hauteur de barrière soit 300 meV)

→ Tracer alors sur une même courbe l'évolution en énergie de ces niveaux en fonction de la largeur du puits (on se limitera au maximum aux 5 premiers niveaux). Commenter la courbe obtenue.

→ Sachant que l'agitation thermique (kT) est de 25 meV à température ambiante et que l'on ne sera capable de détecter expérimentalement ces niveaux (par mesure électrique par exemple) que si leur séparation est supérieure à cette agitation thermique, donner les largeurs maximales à utiliser pour qu'un effet puisse être détecté à 300 K (température ambiante), 77 K (température de l'azote liquide) et 4 K (température de l'hélium liquide).

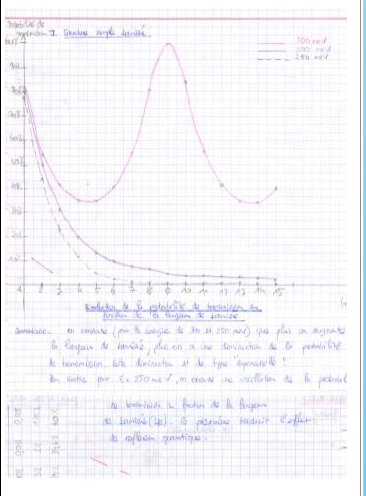
3. **Structure à multipuits quantiques**

On utilisera ici une structure avec 7 puits quantiques (GaAs - largeur 5 nm) et 8 barrières (Al\_{0.4}Ga\_{0.6}As - largeur 2 nm). Les zones d'émission et collecteur sont toujours à 20 nm.

- On s'imposera de concevoir une structure synthétique (elle peut ainsi être utilisée dans des sens de polarisation).
- On évitera d'utiliser des largeurs de barrière inférieures à 1,5 nm.
- Les largeurs de l'émission et du collecteur seront supposées égales.

→ Tracer le spectre de transmission de la structure pour des énergies allant de 1 à 300 meV. Qu'observez-vous ? Commenter en vous référant à la géométrie de la structure simulée.

→ Tracer les probabilités de présence des électrons pour les deux premiers maxima que vous observez sur la courbe de transmission. Commenter le résultat obtenu.



Extrait d'un compte-rendu étudiant...

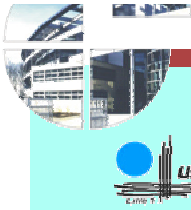
## Conclusion

Le parti pris d'insérer dans le cadre de la Licence E.E.A et du Master M.M.T (Microélectronique - Microtechnologie – Télécommunication) des unités d'enseignement d'ouverture sur les nanosciences s'appuie sur la présence sur le campus de l'Université de Lille de l'IEEMN (Institut d'Électronique de Microélectronique et de Nanotechnologie). L'introduction de ces nouvelles thématiques se fait donc progressivement au sein de la Licence et de la première année de Master pour devenir une option complète du Master Recherche (Micro- et Nano-Technologie), où des thèmes variés sont présentés en complément de l'approche nanoelectronique tels que la nanophotonique, l'électronique moléculaire, interface avec la biologie, nanocaractérisation, etc... Le tout complété par une formation technologique de base en salle blanche.

Le rôle des deux premiers unités est donc de créer, au sein du public étudiant universitaire, une « envie » de découverte de ces domaines nouveaux, sans sacrifier pour autant les bases nécessaires pour l'intégration future de ces étudiants dans la vie active.

Si l'unité d'enseignement proposée en Master Recherche existe depuis plusieurs années, bientôt 10 ans sous une forme plus ou moins équivalente, ce n'est pas le cas des deux autres unités créées elles dans le cadre de la réforme LMD. En licence, l'unité a déjà fonctionné deux ans, avec un public croissant (une vingtaine d'étudiants) la première année, presque le double pour l'année 2005-2006), tandis que l'unité de Master première année ne vient d'ouvrir qu'à la rentrée 2006 avec une trentaine d'étudiants. Il est donc trop tôt pour tirer un bilan de la cohérence des thématiques abordées entre les années successives. Par contre, il apparaît clairement que la proposition de telles unités a trouvé un écho favorable auprès des étudiants.

Concernant les travaux pratiques présentés ci-dessus, ils auront certainement à évoluer dans les prochaines années. Evolution nécessaire quant à la présentation logicielle du produit utilisé, vers une convivialité et une souplesse accrues. Par contre, devra être préservée la simplicité d'utilisation et/ou des thèmes abordés avec l'objectif principal de compréhension des phénomènes électroniques ondulatoires pour un public n'ayant pas forcément un bagage de physique quantique très important. En d'autres termes, il ne faudrait pas que sous prétexte de développer un « beau » produit, on perde de vue la cohérence du contenu.



# Simulation d'une diode à l'aide du logiciel SILVACO

Virginie Hoel, Pascal Delemotte,  
Jacques Degauque\*, Henri Happy

\* AIME Toulouse  
Institut d'Electronique et de Microélectronique et de Nanotechnologie  
e-mail: virginie.hoel@iemn.univ-lille1.fr



## Introduction

Nous présentons les résultats d'un projet de TER (Travail d'Etude et de Recherche) réalisé par un binôme d'étudiants (Messieurs Nan MENG et Michaël ZOBIRI) de niveau Master 1, du parcours MMT (Microélectronique, Microtechnologie et Télécommunications) de l'Université de Lille1.

## Méthodologie

### 1ère phase:

- Familiarisation avec l'outil logiciel SILVACO
- Validation de la programmation a l'aide de briques de bases
- simulation électrique d'une structure idéale d'une diode (N+ / P-) abrupte
- proche du dispositif réalisé à l'AIME

### 2ème phase:

- les étudiants traitent la simulation technologique du composant.
- La réalisation se fait en plusieurs étapes : dépôt d'oxyde, gravure de l'oxyde, implantation,
- recuit d'implantation et dépôt des contacts d'anode et de cathode.

## But du projet

Ce projet a pour objectif de sensibiliser les étudiants à la technologie des composants, ainsi qu'aux logiciels de simulation associés :

- **L'initiation des étudiants à l'utilisation du logiciel Silvaco:** Le logiciel Silvaco (ATLAS) permet d'obtenir les caractéristiques courant-tension de nombreux dispositifs. L'utilisation de la simulation électrique permet d'illustrer de nombreux concepts qu'ils n'ont pas forcément assimilés.

- **La sensibilisation à la fabrication des composants:** L'utilisation de la simulation technologique sur Silvaco (ATHENA) permet d'illustrer les étapes technologiques nécessaires à la fabrication d'un composant. Ce fonction permet de mesurer l'influence du procédé de fabrication sur les performances du composant en traçant et en analysant ses caractéristiques électriques.

## Environnement



Salle CAO - Bat P3 USTL

Le programme ...

```

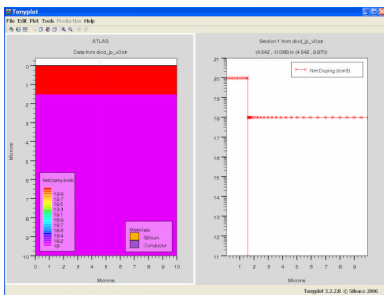
go athena
line x bo=0.00 spac=0.3
line x bo=2.00 spac=0.5
line x bo=4.00 spac=0.4
line x bo=6.00 spac=0.5
line x bo=8.00 spac=0.2
line x bo=10.00 spac=0.2
line x bo=11.00 spac=0.1
line x bo=12.00 spac=0.1
line x bo=14.00 spac=0.1
line x bo=16.00 spac=0.3
line x bo=18.00 spac=0.5
line x bo=20.00 spac=0.2
line y bo=0.00 spac=0.02
line y bo=1.00 spac=0.02
line y bo=1.40 spac=0.02
line y bo=1.50 spac=0.01
line y bo=1.60 spac=0.01
line y bo=2.00 spac=0.2
line y bo=4.00 spac=0.4
line y bo=7.00 spac=0.5
line y bo=10.0 spac=0.5
line y bo=20.0 spac=1.0
line y bo=40.0 spac=2.0
line y bo=80.0 spac=3.0
line y bo=160.0 spac=6.0
line y bo=320.0 spac=12.0
line y bo=640.0 spac=24.0
line y bo=1280.0 spac=48.0

int silicon orientation=100 c boron=1e18
deposi oxide thick=0.5 dectemp=10
save out=dod_tech_v1_ex.str
etch oxide right of x=10
save out=dod_tech_v1_etch.str
tscript dod_tech_v1.str
# Predeposition
diffus br=15 temp=1050 c phos=3.0e20
# redistribution
diffus br=20 temp=1100 c phos=1.0e20
model cornb fermi fdm3d
method block newton
save
output con band val band param e field ex field ey field
save out=dod_tech_v1_init.str
tscript dod_tech_v1_init.str
log out=dod_tech_v1_iv.log
save varname=I2 temp=0.02 vfinal=1 name=anode
tscript dod_tech_v1_iv.log
quit
    
```

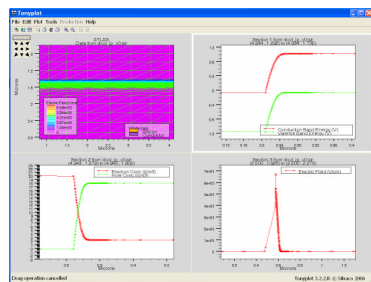
## Prise en main du logiciel ATLAS

### Simulation Électrique

**But:** Compréhension du fonctionnement électrique d'une diode.



Définition de la structure du composant et vérification du dopage



Caractéristiques de la jonction à l'équilibre :

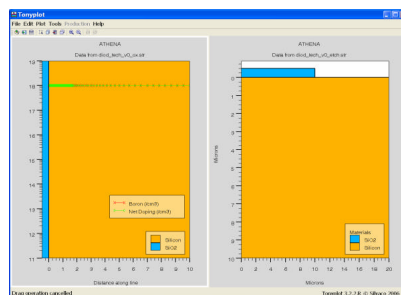
- Choix du maillage
- Structure de bande au niveau de la jonction
- Répartition des porteurs libres dans la structure
- Évolution du champ électrique

Et aussi ... Étude de la jonction hors équilibre également réalisée

## Utilisation du module ATHENA

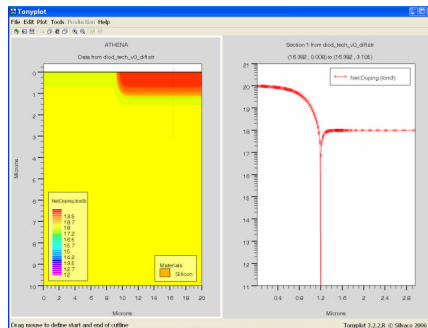
### Simulation Technologique

**But:** Illustrer quelques étapes de fabrication d'une diode.



Les étapes technologiques simulées:

- Croissance d'une couche d'oxyde
- Gravure de la couche d'oxyde
- Diffusion des dopants

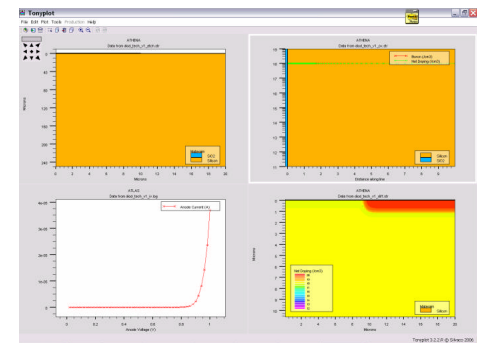


Vérification du profil de dopage

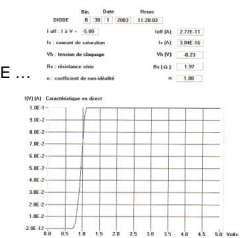
Les étapes technologiques simulées:

- Recuit de diffusion
- Gravure du masque d'oxyde

## Simulation Complète de la diode



Caractéristique de la diode de l'AIME ...



## Conclusion

Ce travail de TER aborde de manière très simple la simulation électrique et la simulation technologique d'une diode. La simulation des étapes

# OFFRE DE FORMATION DISPONIBLE AU PÔLE CNFM DE LILLE CAO - TECHNOLOGIE - CARACTERISATION DE DISPOSITIFS HF



Virginie HOEL, Pascal DELEMOTTE,  
Sophie MARICOT - Jean-François LEGIER  
Gilles DAMBRINE, Henri HAPPY



## Introduction

Nous présentons l'offre de formation disponible au pôle CNFM de Lille, dans le domaine des hautes fréquences (HF) et des nanotechnologies.

### Objectif de cette présentation:

Élargir le spectre des utilisateurs des moyens du pôle.

<http://oeuba.univ-lille1.fr/plfm>

## Public concerné

- Formations souhaitant une sensibilisation ou une spécialisation dans le domaine HF
- Formation continue

## Moyens mis en oeuvre

### Des hommes:

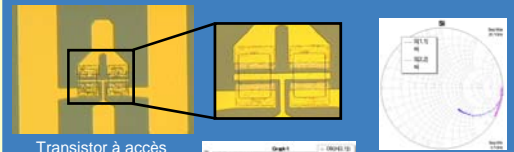
- Une équipe pédagogique constituée d'enseignants-chercheurs spécialisés dans les différents domaines d'activité
- La formation de formateurs
- Un encadrement technique

### Du matériel:

- Salle de CAO
- Salle blanche (composants et circuits HF)
- Centre de test et de mesures

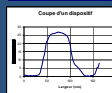
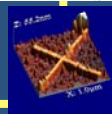
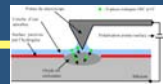
## Spécialistes

Caractérisation hyperfréquence sous points du transistor [0,1 – 20,1 GHz]



Transistor à accès coplanaire  
Lg=3µm W=2x40µm

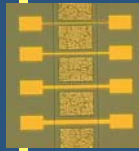
Exploitation : Microwave Office - ADS - ICCAP



Nanodispositif

### TP salle blanche

- Fabrication de circuits planaires sur substrats di-électriques
- Fabrication de diodes Schottky et de transistors MESFET
- Fabrication de microsystèmes- Pince actionnée par un alliage à mémoire de forme
- TP de nanotechnologie : Mise en œuvre de la nanolithographie pour la fabrication de nanodispositifs



Transistor MESFET

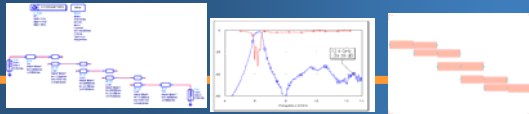


Salle CAO

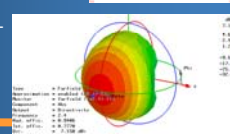


Conception d'un amplificateur

### Simulation filtre



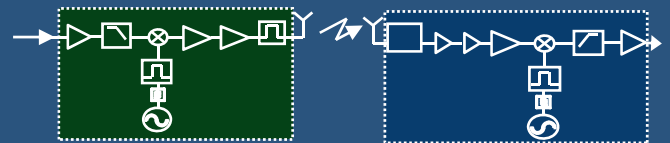
HFSS (Ansoft) - ADS (Agilent) - CST  
Logiciels développés en interne



### Thématiques TP CAO

- Conception de dispositifs passifs HF (Filtres, antennes, coupleurs, ...)
- Conception de circuits actifs (LNA, Ampli de puissance, mélangeurs, ...)
- Conception de systèmes HF (Conception de systèmes d'émission, de réception HF, liaison haut débits, ...)

### De la conception à la fabrication et la caractérisation HF



Conception d'un système d'émission-réception



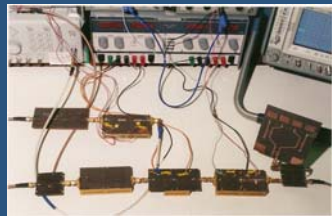
Antenne



Mélangeur



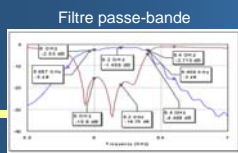
Amplificateur



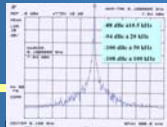
Assemblage et test des systèmes finaux



Banc de mesure sous points



### Oscillateur à réaction Grille-Drain



### TP salle caractérisation

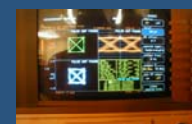
- Initiation à la mesure HF – Mesures de paramètres S de circuits passifs
- Initiation à la mesure sous pointe (On wafer)
- Caractérisation d'un amplificateur (régime linéaire et non linéaire)
- Mesure de bruit
- Caractérisation d'une chaîne de radiocommunication (GSM – liaison HF)



Mesure de bruit



Signal d'entrée



Signal de sortie

## Conclusion

- Les 12 pôles du CNFM mettent à la disposition des formations des moyens importants (CAO – Technologie – Caractérisation et Test).
- Mise en œuvre d'une politique de formation de formateurs
- Mise à disposition de travaux pratiques "clés en main"
- Objectif: Formation des ingénieurs et des futurs docteurs avec des techniques de pointe en micro et nano-électronique.

# UTILISATION DE L'AFM POUR L'ETUDE D'ECHANTILLONS

## Acquisition de données et traitement d'images



Farida BENDRIAA, Virginie HOEL,  
Henri HAPPY



### Résumé

Nous présentons les résultats d'un stage de deux mois réalisé par des étudiants de master 1<sup>ère</sup> année.

#### Objectif du stage:

- Initiation à l'utilisation d'un microscope à champ proche (AFM)
- Rédaction d'un guide simplifié du logiciel d'analyse d'images associé à l'AFM di-Caliber de Veeco

### Moyens mis en oeuvre

#### Des hommes:

- Alexandre POTTRAIN – Zhenkun CHEN (MMT - Master 1 – 2007)

#### Du matériel:

- AFM di-Caliber de la société Veeco
- Logiciel SPMLab Analysis associé au matériel

### Déroulement du projet

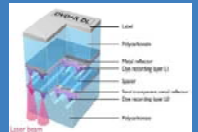
- Prise en main de l'équipement: Compréhension des modes de fonctionnement de l'équipement
- Exploitation des fonctionnalités de l'outil SPMLab Analysis
- Application de la technique à des supports spécifiques (CD – DVD)
- Rédaction du rapport de stage

### Préparation des support spécifiques

#### Structure Compact Disc (CD)



#### Structure Digital Versatile Disc (DVD)

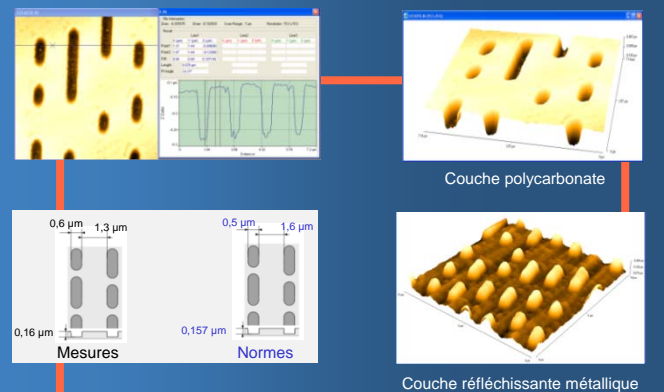


- Décollement surface réfléchissante du CD avec du scotch
- Mise à nue surface réfléchissante avec un cutter

### Exploitation des fonctions de l'outil SPMLab Analysis

- Fonction « levelling » et « zero set »
- Filtrage des défauts
- Rotation d'image

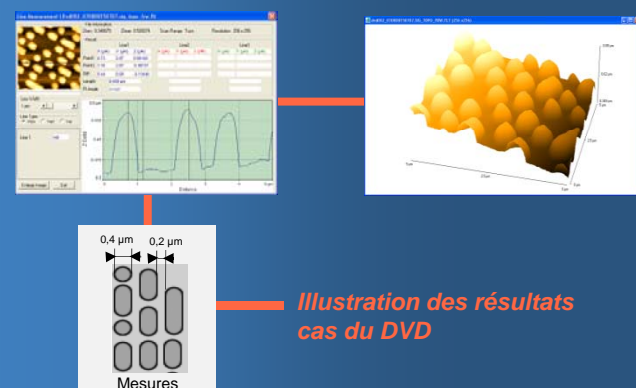
### Illustration des résultats cas du CD



### Analyse des données

- Mesure des dimensions
- Mesure de rugosité
- Densité spectrale de puissance
- Traitement d'image avec la FFT

### Illustration des résultats cas du DVD



### Conclusion

- Stage non obligatoire de deux mois très apprécié
- Initiation à une nouvelle technique de mesure
- Elaboration d'une procédure d'analyse adaptée à l'interprétation des mesures en Travaux Pratiques