

L'ELECTRONIQUE  
A L'UNIVERSITE DE LILLE  
DE 1968 JUSQU'A L'AN 2000

---

par Yves Crosnier



Tome 6  
de  
l'Histoire de la Faculté des Sciences de Lille  
et de l'Université de Lille1 - Sciences et Technologies



# **Histoire de la Faculté des Sciences de Lille et de l'Université des Sciences et Technologies de Lille**

## ***Tome 1: Contributions à l'Histoire de la Faculté des Sciences (1854 - 1970)***

Par A. Lebrun, M. Parreau, A. Risbourg, R. Marcel, A. Boulhimsse, J. Heubel, R. Bouriquet, G. Gontier, B. Barfetty, A. Moïses

## ***Tome 2: Le Laboratoire de Zoologie (1854 - 1970)***

Par Roger Marcel et André Dhainaut

## ***Tome 3: La Physique à Lille (du XIXème siècle à 1970)***

Par René Fouret et Henri Dubois

***Tome 4: L'Institut Electrotechnique (1904 - 1924) et l'Institut Electromécanique (1924 - 1969)*** par Arsène Risbourg, ***l'Institut Radiotechnique et les débuts de l'électronique (1931 - 1969)*** par Yves Leroy, ***l'Automatique (1958 - 1997)*** par Pierre Vidal

***Tome 5: Histoire de la Botanique à la Faculté des Sciences (1856 - 1970)*** par Robert Bouriquet, ***Le Doyen Maige*** par Raymond Jean

***Tome 6: L'Electronique à l'Université de Lille de 1968 jusqu'à l'an 2000*** par Yves Crosnier



## **Avant Propos**

### **1. Introduction**

### **2. L'Enseignement**

- 2.1 La licence et la maîtrise «Electronique-Electrotechnique- Automatique» (E.E.A.)**
- 2.2 La licence et la maîtrise «Télécommunications»**
- 2.3 La Formation des Maîtres**
- 2.4 Le Diplôme d'Etudes Approfondies (D.E.A.) et le Doctorat d'Electronique**
- 2.5 Les Diplômes d'Etudes Supérieures Spécialisées (D.E.S.S.)**
- 2.6 L'Ecole Nouvelle d'Ingénieurs en Communications (E.N.I.C.)**
- 2.7 Le Diplôme d'Etudes Universitaires Générales «Technologies Industrielles» (D.E.U.G. T.I.)**
- 2.8 Conclusion**

### **3. La Recherche**

- 3.1 Le Laboratoire A.Lebrun: Spectrométrie des solides et Mesures Automatiques**
  - 3.1.1 Spectroscopie Hertzienne : des Zéolithes aux Cristaux liquides**
  - 3.1.2 Mesures Automatiques : les bancs de mesures, le « CRESMAT », les capteurs et l'instrumentation thermique, le traitement numérique du signal**
  
- 3.2 Le Laboratoire R.Gabillard: Radiopropagation et Electronique**
  - 3.2.1 La Géophysique**
  - 3.2.2 Les Transports**
  - 3.2.3 Les Sports Nautiques**
  - 3.2.4 La Compatibilité Electromagnétique**
  - 3.2.5 Les Télécommunications**
  
- 3.3 Le Laboratoire E.Constant: le « C.H.S. » puis « l'I.E.M.N. »**
  - 3.3.1 Présentation générale**
  - 3.3.2 De la Spectroscopie Hertzienne aux matériaux pour la Microélectronique**
  - 3.3.3 Des Diodes à Avalanche aux Transistors Microondes**
  - 3.3.4 Des Circuits aux Systèmes Microondes**
  - 3.3.5 L'Electromagnétisme des Circuits Microondes et l'Optoélectronique**

### **4. Conclusion**

### **5. Annexe I : Le Personnel du Service d'Electronique en 1968**

### **6. Annexe II : Le Personnel du Service d'Electronique en 1992**

### **7. Annexe III : La filière des Techniciens Supérieurs en 2ème cycle E.E.A**





## Avant Propos

*Comme chacun sait, l'électronique est une discipline qui doit l'essentiel de son développement aux radiocommunications et a pris son essor au début du vingtième siècle lorsque les ondes radioélectriques ont commencé à remplacer le bon vieux télégraphe dans les liaisons à distance, sous la dénomination « Radiotélégraphie ». Le Nord de la France se devait d'accompagner cette évolution et c'est ainsi que, aux environs de 1920, une station émettrice de « T.S.F. » (Télégraphie Sans Fil) avait trouvé comme localisation la Faculté des Sciences de Lille même et, plus précisément, son Institut de Physique de la rue Gauthier de Chatillon. Cette implantation devait être le point de départ de l'électronique universitaire lilloise et de sa première structure d'enseignement et de recherche : « l'Institut Radiotechnique », une entité tout-à-fait originale par sa large palette de niveaux allant du technicien de base radiotélégraphiste jusqu'aux diplômés les plus élevés de l'Enseignement Supérieur. Celui-ci, officiellement ouvert en 1931, allait avoir une longue existence et prendre fin seulement vers 1969, après l'introduction des Instituts Universitaires de Technologie dans les Universités. Toute cette période fondatrice, où ont été tracées les grandes orientations de l'électronique lilloise, a fait l'objet d'une très vivante et très documentée présentation par mon cher collègue Yves Leroy dans son ouvrage intitulé « Histoire de l'Institut Radiotechnique de la Faculté des Sciences de Lille. 1931-1969 ».*

*La rétrospective d'Yves Leroy s'arrête vers 1968-1969, c'est-à-dire dans une époque de grands changements dans toutes les instances universitaires, dans lesquels les événements de 1968 se trouvent surtout être un puissant catalyseur. Après cette date quelque peu mythique, le dernier tiers du vingtième siècle est une période de développement considérable pour le monde universitaire avec la multiplication des étudiants, des enseignants-chercheurs et, en parallèle, une ouverture toujours plus large des formations et des laboratoires de recherche sur les besoins du monde professionnel. Pour les électroniciens universitaires lillois cette période est particulièrement faste. Ils participent pleinement à la formidable poussée technologique des semiconducteurs et des télécommunications et deviennent acteurs à part entière en matière de composants, dispositifs et systèmes dans tous les grands secteurs d'applications : aéronautique, spatial, défense, transports, instrumentation médicale, domotique... Période enthousiasmante et euphorisante, par l'envolée d'une révolution technologique qui semble ne connaître aucune limite, les trois décennies ayant suivi 1968 constituent une magnifique aventure et il aurait été dommage de ne pas tenter d'en coucher sur le papier les principales péripéties lilloises. Il est particulièrement une personne à laquelle ce devoir de mémoire tenait à cœur : c'est le Professeur André Lebrun. Il a été mon Professeur et celui de nombre de mes collègues électroniciens. Il a bien connu l'époque héroïque de l'Institut Radiotechnique, alors qu'il était en début de carrière, comme enseignant-chercheur en électronique. Et presque tout le monde à l'Université de Lille\_I le connaît, au moins par ouï-dire, pour son inlassable activité et son rôle éminent dans la construction du campus scientifique de Villeneuve d'Ascq et, ensuite, dans la promotion de ses filières et laboratoires. Son sens aigu de la collectivité et du « faire ensemble » ne pouvait admettre que les électroniciens de Lille I tardent plus à poursuivre l'histoire commencée par Yves Leroy...*

*C'est ainsi qu'à mon départ en retraite, fin 1999, j'ai été vivement incité par le Professeur Lebrun à reprendre le flambeau ! J'ai accepté très volontiers, quelque peu effrayé par le caractère redoutable de cette tâche mais, en même temps, très heureux de pouvoir mieux connaître mes anciens collègues, comme aucune autre occasion ne me l'avait permis jusque là. Il me restait à établir une méthode de travail. Le terrain avait été « balisé » par les amicales recommandations faites auprès des uns et des autres par le Professeur Lebrun pour qu'une aide maximale me soit apportée. J'ai ainsi pu « interviewer » une bonne vingtaine de mes collègues, parmi les plus chevronnés. J'ai, par ailleurs, abondamment consulté les archives de l'U.F.R. I.E.E.A., les rapports d'activité des laboratoires et j'ai été amené à lire attentivement beaucoup de thèses, dont, au départ, je ne connaissais que les titres. Enfin, j'ai pu bénéficier d'une relecture autant efficace que bienveillante d'une demi-douzaine de mes plus anciens collègues qui, à la tête de nos enseignements et de nos laboratoires, ont particulièrement bien connu la période allant de 1968 à 2000. De tous côtés j'ai reçu une aide précieuse grâce à laquelle, je l'espère, erreurs et oublis sont les plus rares possibles. Je demande toute leur indulgence aux lecteurs qui, néanmoins trouveront encore des faiblesses dans ce texte, et je me tiens bien entendu à leur disposition pour remédier au mieux à celles-ci.*

**Yves Crosnier**



# 1. Introduction

Mai 68, date charnière dans beaucoup de domaines, a également été un tournant dans l'histoire de l'électronique à l'Université de Lille en ouvrant la possibilité d'un large essaimage de cette discipline dans les nouvelles structures mises sur pieds sous l'impulsion du Ministre Edgar Faure. Dans une certaine mesure, le rôle des événements de 68 a surtout été d'accélérer une mutation qui était déjà en germe dans l'avant 68 au sein de ce que l'on peut considérer comme le creuset de l'électronique universitaire, c'est-à-dire : « l'Institut Radiotechnique ».

*L'Institut Radiotechnique* : Fondé en 1931 l'Institut Radiotechnique de Lille avait constitué depuis cette date le pôle fédérateur du développement de l'Electronique locale. En effet, structure originale fondamentalement dédiée à la Radioélectricité, cet Institut allait coiffer pendant plus de trente cinq ans une formation conduisant au brevet de technicien supérieur, une formation de certificats d'études supérieures constituant une spécialisation de la Licence de Physique et, parallèlement, une activité de recherche sur les techniques radioélectriques et leurs applications. Le lecteur désireux de mieux connaître cette période fondatrice pourra se reporter à la très intéressante « Histoire de l'Institut Radiotechnique de la Faculté des Sciences de Lille. 1931 – 1969 » écrite par Y.Leroy. De cette période historique on retiendra comme pionniers du développement de l'Institut : O. Lambrey, R. Liébaert, R. Arnoult, A.Lebrun, A. Risbourg, M. et C. Moriamez, E.Constant et R.Gabillard. Un recrutement relativement faste, à partir des années 60, allait faire croître l'effectif du personnel de l'Institut jusqu'à atteindre, en 1968, environ une trentaine de personnes.

*Le Département E.E.A. (Electronique-Electrotechnique-Automatique)* : A la fin de 1968, les événements étant calmés, la Faculté des Sciences cherche sa nouvelle organisation. Un Département E.E.A. a été mis sur pieds provisoirement en 1967 pour regrouper les

trois disciplines sœurs d'Electronique, d'Electrotechnique et d'Automatique. La majeure partie des électroniciens de l'ex-Institut Radiotechnique se retrouve dans cette structure qui va être dirigée successivement par A.Lebrun puis R.Gabillard. Ce Département E.E.A. n'est, en fait, que transitoire et précède une organisation plus vaste de l'Université dont l'articulation est alors encore en gestation.

*L'Unité d'Enseignement et de Recherche I.E.E.A. (Informatique-Electronique-Electrotechnique-Automatique)* : En effet, au début de 1970, les trois disciplines d' Electronique, d' Electrotechnique et d' Automatique constituent un regroupement encore plus large en étant rejointes par la toute jeune discipline d'Informatique, devenant ainsi «Unité d'Enseignement et de Recherche I.E.E.A. » dans ce qui va être l'Université des Sciences et Techniques de Lille. Le premier Directeur de l'U.E.R. I.E.E.A. est P. Bacchus. Les Directeurs suivants sont C.Maizières, P.Vidal, V.Cordonnier, G. Séguier, puis, après 1984, L.Raczy et J.P. Steen dans le cadre de la transformation des U.E.R. en U.F.R., le mot «*Formation*» remplaçant simplement le mot «*Enseignement*» dans le cas de l'I.E.E.A. L' U.E.R. I.E.E.A. puis l'U.F.R. I.E.E.A. vont offrir aux quatre services Electronique, Electrotechnique, Automatique et Informatique l'opportunité de créer des filières d'enseignement spécifiques et de connaître un considérable développement sur tous les plans. Ainsi, l'Electronique, simple option terminale de la filière de Physique avant 1968, devient donc à cette date une filière de 2ème et 3ème cycles à part entière au sein de l'E.E.A. Par contre, l'ensemble des 1ers cycles est placé sous la responsabilité des U.E.R. par essence fondamentales de Physique, Mathématique et Chimie. Mais, dans cette organisation, bon nombre d'Electroniciens vont intervenir pendant de nombreuses années aux cotés de leurs collègues de l'U.E.R. de Physique, et certains d'entre eux seront amenés à prendre des responsabilités importantes, en particulier E.Constant, M.Chivé et J.M. Wacrenier.

*L'Institut Universitaire de Technologie (I.U.T.) et le Département Génie Electrique* : L'équipe d'électroniciens, qui avait en charge la section de B.T.S. de l'Institut Radiotechnique, reconvertisse tout naturellement son activité de formation dans le Département « Génie Electrique » du tout nouvel I.U.T. de Lille. R. Liébaert est le premier Chef de ce Département et Y.Leroy est son adjoint. P. Delecroix, M. Descamps, M.Lobry, F.Bliot et J.P. Fontaine sont les pionniers de l'option Electronique dont la première promotion sort en 1968.

*Les Sciences Appliquées et l'Ecole Universitaire d'Ingénieurs de Lille (E.U.D.I.L.)* : Sous la vigoureuse impulsion de A.Lebrun une autre équipe d'Electroniciens, notamment B. Boittiaux, M.Lefebvre et F. Louage, s'investit activement dans le lancement, en 1969, de ce qui n'est alors que le Département de «Sciences Appliquées» de l'Université et deviendra en 1973-74 «Ecole Universitaire d'Ingénieurs de Lille» (E.U.D.I.L.). Ils sont à l'origine du développement de l'option «Mesures » de la section «Informatique, Mesures, Automatique » (I.M.A.). La contribution des Electroniciens s'étendra ensuite aux sections «Sciences des Matériaux » et « Technico-commerciale » (I.T.E.C.). F. Louage est le premier responsable de l'I.M.A. G.Salmer puis L.Raczy lui succéderont. E.Constant est un des créateurs de la section «Sciences des Matériaux » et devient son premier responsable. En 1974 F.Louage deviendra Directeur de l'E.U.D.I.L.

*Le Centre Université-Entreprises d'Education Permanente (C.U.E.E.P.)* : A.Lebrun, toujours omniprésent dans le bouillonnement universitaire de cette période, ouvre l'Université sur la formation permanente avec la création du «Centre Université-Entreprises d'Education Permanente» (C.U.E.E.P.). Il en devient le premier Directeur et entraîne avec lui quelques Electroniciens, en particulier A.Chapoton et P.Loosfelt. Il restera de nombreuses années dans cette fonction, étendant toujours plus loin sur la région et à des publics toujours plus variés l'activité du Centre.

Au fur et à mesure des années, avec les nombreuses créations de postes accompagnant la croissance de l'Université, le nombre des Electroniciens va s'accroître très fortement. Les nominations se faisant principalement au titre de créations de filières d'enseignement, dont beaucoup hors du strict cadre de l'U.E.R. I.E.E.A., la dispersion des Electroniciens dans leurs activités de formation ne fera que croître. La dernière création particulièrement marquante sera celle de l'« Ecole Nouvelle d'Ingénieurs en Communications » (E.N.I.C.). Mise sur pieds en 1990, conjointement par l'Université et l'Institut National des Télécommunications (I.N.T.), celle-ci sera une opportunité de reprendre le développement des formations d'Electronique de l'Université en direction de ce qui constitue le thème majeur de la discipline, à savoir : les Télécommunications.

*Le Centre de 3ème Cycle d'Electronique et l'Institut d'Electronique et de Microélectronique du Nord (I.E.M.N.)* : La communauté électronique de l'Université, malgré sa relative dispersion dans les affectations de postes d'enseignement, va maintenir une certaine cohésion de vues grâce aux activités de recherche dans les trois laboratoires de E.Constant, R.Gabillard et A.Lebrun. Ceux-ci, installés en 1967 dans les bâtiments P3 et P4 de la nouvelle Université, pérenniseront les grands axes de recherche ouverts à la fin de l'Institut Radiotechnique par un formidable développement. Dans ce développement le Centre de 3ème cycle d'Electronique, administrativement rattaché à l'U.E.R. I.E.E.A., est le trait d'union assurant la cohésion entre les Electroniciens et, plus simplement, l'habitude d'avoir des objectifs concertés et complémentaires. Comme on va le voir dans la rubrique « Recherche » de cet opuscule de très grandes réussites marqueront le développement des laboratoires du Service d'Electronique, avec, en tout premier, la formidable expansion du «Centre Hyperfréquences et Semiconducteurs» avec, en aboutissement, la création d'une grande Unité Mixte de Recherche du C.N.R.S: l'«Institut d'Electronique et de Microélectronique du Nord» (I.E.M.N.). Celui-ci va devenir un pôle fédérateur de tout premier plan pour la recher-

che en microélectronique au niveau régional et se hisser jusqu'au meilleur niveau international grâce à la construction d'un vaste laboratoire d'avant-garde. Dans un autre registre, la création du « Groupement Régional pour la Recherche dans les Transports » (G.R.T.T.) va jouer, aussi, un rôle moteur important pour nombre d'équipes d'électroniciens lillois en permettant de donner cohésion et consistance à leurs travaux de recherche concernant les projets régionaux dans le secteur des transports.

*Les bases logistiques du « Service d'Electronique »* : Ce survol du devenir de la communauté des Electroniciens permet de mieux comprendre ce que recouvre l'appellation « Service d'Electronique ». Du fait d'affectations d'enseignement largement réparties sur plusieurs structures de l'Université, U.E.R. I.E.E.A., E.U.D.I.L., I.U.T., U.E.R. de Physique, E.N.I.C...., c'est essentiellement à travers la recherche que l'identité du « Service d'Electronique » s'est forgée, avec comme point d'ancrage les bâtiments P3 et P4, dans l'U.E.R. I.E.E.A. La matérialisation de cet ancrage s'est faite par l'implantation au bâtiment P3 de plusieurs services communs comprenant un atelier d'Electronique, pépinière de formation de nombreux techniciens orchestrée par J. Baudet, et des ateliers de mécanique, électricité, reprographie, menuiserie..., l'ensemble couvrant pratiquement tous les besoins des laboratoires de E.Constant, R.Gabillard et A.Lebrun, et des travaux pratiques des enseignements d'électronique de l'U.E.R. I.E.E.A. Tous ces ateliers pré-

existaient déjà dans l'Institut Radiotechnique. Ils ont fonctionné pendant presque deux décennies et certains existent encore dans l'organisation actuelle bien que la création de l'I.E.M.N. et la construction de ses propres locaux aient apporté des modifications importantes. C'est notamment le cas de l'atelier de mécanique qui, depuis 1967, occupe immuablement la majeure partie du rez- de-chaussée du bâtiment P3. Il doit son exceptionnelle longévité à la remise à niveau permanente de son parc de machines outils, à la grande stabilité de son personnel (J.C.Jennequin, P. Michon, J.C. Andries...), à la haute qualité de ses prestations de micromécanique face à des demandes toujours plus acrobatiques de la part des laboratoires, et, il faut fortement le souligner, à la rigueur insufflée par A. Risbourg, responsable de son organisation de 1967 à 1990.

Au fil du temps, de 1968 aux années 90, environ trois cents personnes ont contribué à la vie du «Service d'Electronique» comme enseignants, chercheurs ou personnels techniques et administratifs.. Certains uniquement au titre de la recherche, et beaucoup à la fois aux titres de l'enseignement et de la recherche. En dresser une liste chronologique complète sur si longtemps est une tâche dépassant le cadre de cet opuscule. Aussi, nous nous sommes limités à deux pointages qui correspondent à deux années apparaissant comme particulièrement marquantes : 1968 et 1992. Le lecteur intéressé en trouvera les listes dans les annexes I et II du présent opuscule.



## 2. L'enseignement

Parler des activités d'enseignement du "Service d'Electronique" nécessite, comme on l'a vu précédemment, d'avoir une connaissance très large de ce qui s'est fait dans les différents secteurs de formation de l'Université où des Electroniciens se sont trouvés rattachés au titre de l'Enseignement, à savoir : l'U.E.R. I.E.E.A., l'I.U.T., l'E.U.D.I.L., les DEUGs et l'E.N.I.C.. Les lignes qui vont suivre développent surtout ce qui s'est passé dans le secteur de l'U.E.R. I.E.E.A. pour la simple raison que le rédacteur de cet opuscule a beaucoup mieux connu ce secteur que les autres, y ayant effectué la plus grande partie de sa carrière. Les enseignements qui vont être passés en revue sont uniquement ceux placés sous la responsabilité directe de l'U.E.R. I.E.E.A. pour leur organisation, c'est-à-dire : les filières de 2ème et 3ème cycles dites E.E.A., le département "Electronique" de l'E.N.I.C. et la partie "Génie Electrique" du DEUG TI. En ce qui concerne les secteurs de l'E.U.D.I.L. et de l'I.U.T., qui fonctionnent de manière autonome avec leurs enseignements sous leurs propres responsabilités, nous renvoyons le lecteur aux ouvrages de mémoire faits dans le cadre de ces deux

entités.

### *Les filières de 2ème et 3ème cycles*

La période 1968-1994 a été pour l'U.E.R. I.E.E.A. un temps de grande création d'enseignements, principalement en 2ème et 3ème cycles et dans une moindre mesure en 1er cycle. En 2ème cycle les créations concernent trois filières qui sont la licence-maîtrise E.E.A., la licence-maîtrise Télécommunications, et la formation des Maîtres de l'Enseignement secondaire.

En 3ème cycle, à côté du D.E.A. d'Electronique qui existe depuis 1964, viennent s'ajouter le D.E.S.S. Microélectronique-Microondes en 1983, le D.E.S.S. Technologie et Logistique en Biologie et Médecine en 1985 et, dernier créé en 1994, le D.E.S.S. Communications Mobiles. A cela il faut ajouter la contribution importante apportée par les Electroniciens dans la mise sur pieds, en 1984, puis dans le fonctionnement du D.E.S.S. Réseaux Câblés, qui restera sous la responsabilité de l'U.E.R. de Physique.

### 2.1 Les Licence et Maîtrise E.E.A. :

La création d'une filière E.E.A. de licence et maîtrise au niveau national en 1967 répond au besoin devenu très aigu de formations universitaires de deuxième cycle spécialement dédiées aux disciplines sœurs de l'électronique, de l'automatique et de l'électrotechnique pour faire face à la croissance effrénée de leurs applications. L'engouement des étudiants pour ce type de formation est immédiat. La préparation la plus appropriée pour y accéder est un premier cycle universitaire classique de "Sciences de la matière". Mais, progressivement, une demande importante s'instaure, venant des meilleurs diplômés d'IUT et BTS en "Génie Electrique". Leur admission partielle ou directe en deuxième cycle va faire l'objet du travail sur dossiers d'une commission des "dispenses", mise sur pieds dès 1968 et ayant, pendant presque toute son exis-

tence, A. Risbourg pour responsable. Le lecteur désireux d'en savoir plus à ce propos pourra se reporter à l'annexe III, en fin de cet opuscule.

Pour les électroniciens lillois la création de cette filière complète E.E.A. est une opportunité très appréciée car, jusqu'alors, ils n'avaient eu la maîtrise d'œuvre que des deux certificats d'études supérieures d'Electronique et d'Hyperfréquences, option terminale de la licence de Physique pour le premier, et initiation aux spécialités du 3ème cycle d'Electronique pour le second. Le schéma général de la filière est, dès cette première mouture, celui qui sera conservé jusqu'à ces derniers temps, avec des découpages successifs et plusieurs changements de dénominations. La licence est constituée des certificats C1 "Ondes et Matières" et C2 "Signaux et Systèmes", ce dernier comportant une partie de



mathématiques appliquées. La maîtrise comporte un C3 et un C4 à choisir parmi les trois certificats correspondant à chacune des disciplines Electronique, Electrotechnique et Automatique. Les Electroniciens interviennent dans les C1, C2 et le C3 Electronique. A partir de 1969 une souplesse et une possibilité de spécialisation supplémentaire sont ajoutées avec l'ouverture de plusieurs U4, équivalents à des demi-C4, appelés: Hyperfréquences, Semiconducteurs, Mesures et Electronique Enseignement, tous pris en charge par les Electroniciens. L' U4 "Mesures", outre son utilisation dans la Maîtrise E.E.A., constitue aussi une spécialisation d'une éphémère 5ème année du Département de Sciences Appliquées avant la création de la section I.M.A. de l'E.U.D.I.L. et, encore, une spécialisation de l'antenne lilloise du Centre National des Arts et Métiers ( C.N.A.M.). Les U4 "Hyperfréquences" et "Semiconducteurs" constituent des passages obligés pour les étudiants voulant poursuivre vers le 3ème cycle d'électronique. Enfin, l'U4 "Electronique Enseignement" est destiné à aider les étudiants préparant les concours de l'Enseignement Secondaire. Il est, aussi, transitoirement utilisé pour la formation en électronique des élèves ingénieurs de la section ITEC de l'EUDIL. Une deuxième mouture de la filière E.E.A., en 1978, apporte un découpage complet en unités. Ainsi la licence est composée de : T.M.E.E.A. (Techniques Mathématiques pour l'E.E.A.), OM (Ondes et Matières), SCS (Signaux, Circuits et Systèmes) et EE (Electronique et

Electrotechnique), où les Electroniciens ont toujours une contribution prépondérante. Quant à la maîtrise, une vaste panoplie est offerte à l'étudiant avec : EN1 et EN2 (Electronique), ET1 et ET2 (Electrotechnique), AU1 et AU2 (Automatique) et MO (Micro-ondes), les Electroniciens ayant en charge les deux premières et la dernière de ces unités. Il est à noter que les unités "Semiconducteurs", "Mesures" et "Electronique Enseignement" ont disparu dans cette deuxième mouture de la filière E.E.A.. Elles ont été remplacées par des enseignements correspondants intégrés, respectivement, dans le D.E.A. d'Electronique, la section I.M.A. de l'E.U.D.I.L. et la formation des Maîtres de l'Enseignement Secondaire. Des modifications interviennent encore par la suite dans l'organisation de la filière E.E.A. La plus marquante est celle de 1995 qui apporte une certaine refonte dans la pédagogie des travaux pratiques avec l'institution de projets individuels, appelés "T.E.R" (Travaux d'Etude et de Recherche) , et introduit aussi la notion d'options dans la Maîtrise. Pour celle de Lille il y en a tout naturellement quatre. Deux sont sous la responsabilité des Electroniciens et se rapportent, d'une part à la Microélectronique et, d'autre part, aux Télécommunications. Les deux autres options relèvent des secteurs Electrotechnique et Automatique de l'U.E.R., pérennisant ainsi le découpage traditionnel de l'E.E.A.

## ***2.2 Les Licence et Maîtrise en Télécommunications, l'Institut Régional d'Enseignement de Télécommunications (I.R.E.T.) :***

L'histoire de la filière "Télécommunications" est nettement plus atypique que celle de la filière E.E.A. Elle doit sa création, en 1979, à un besoin de formation des inspecteurs-élèves de l'Institut Régional d'Enseignement des Télécommunications (I.R.E.T.), localisé à Villeneuve d'Ascq, à proximité du campus scientifique universitaire. Le désir de l'I.R.E.T. est de fournir à ses futurs cadres une formation de niveau licence avec des enseignements académiques d'électronique et des enseignements professionnels de télécom-

munications. Un groupe de pilotage, comprenant Mr Champain, Directeur de l'I.R.E.T., et J.P. Dubus, A. Risbourg, Y. Druelle pour le Service d'Electronique, met sur pieds le programme d'un licence très originale comportant des enseignements d'électronique puisés dans la filière E.E.A. et des enseignements spécifiques de télécommunications intitulés "Techniques des transmissions et communications" (T.T.C.) et "Structures et Organisations des Réseaux" (S.O.R).. Ceux-ci sont assurés conjointement par des personnels de l'I.R.E.T. et par une petite

équipe d'Electroniciens animée par J.P. Dubus et Y.Druelle.

Cette licence, fortement professionnalisée, est d'emblée très attractive pour des étudiants autres que les inspecteurs-élèves des Télécommunications. Aussi, très rapidement, apparaît le besoin de l'insérer dans une filière complète de 2ème cycle, c'est-à-dire d'offrir à ces étudiants libres la possibilité d'une poursuite d'études en Maîtrise. Une maîtrise Télécommunications comportant, comme la licence, une dose importante de professionnalisation est alors proposée par le groupe de pilotage. Son habilitation par le Ministère va se heurter à de nombreuses difficultés et il faut attendre 1987 pour que l'ouverture de cette formation puisse avoir lieu. Jusqu'à cette date c'est par un montage constitué à partir de la filière Electronique de la Maîtrise E.E.A. que ce problème est surmonté. La Maîtrise Télécommunications, comme sa devancière la Licence, comporte des enseignements spéci-

ifiques dans lesquels interviennent d'une part l'équipe de J.P. Dubus et d'autre part l'I.R.E.T.. Il s'agit des modules "Théorie du Signal et des Communications" (T.S.C.) et "Réseaux, Transmissions et Techniques de Communications" ( R.T.T.C.). La vie de cette filière Télécommunications en autonomie complète va être relativement brève et s'arrêter après six ans de fonctionnement sous la conjonction de deux évènements. Le premier est que, par suite d'une réorganisation interne des formations de l'organisme des Télécommunications, la licence a cessé d'être la voix de passage obligée des inspecteurs-élèves. Le second est la réforme de la filière E.E.A. de 1995 qui autorise officiellement l'ouverture de mentions dans la maîtrise, dont celle de Télécommunications. A partir de cette date, la filière Télécommunications se fonde dans la Maîtrise E.E.A. sous la mention Télécommunications.

### *2.3 La Formation des Maîtres et l'Institut Universitaire de Formation des Maîtres (I.U.F.M.) :*

Troisième filière de 2ème cycle, dans laquelle le Service Electronique se trouve impliqué, la formation des Maîtres de l'Enseignement Secondaire a débuté vers 1970 mais il a fallu attendre 1990 et la mise en place de Instituts de Formation des Maîtres ( I.U.F.M.) pour que la préparation aux concours du CAPES de Physique et Electricité appliquées et du CAPET de Génie Electrique acquiert une véritable autonomie et une vraie structuration.

C'est à C. Maizières et J.C. Beaufiles, respectivement électrotechnicien et physicien de l'Université, que l'on doit l'ouverture à Lille, aux environs de 1970, d'une préparation au CAPES es Sciences physiques avec l'option Physique et Electricité appliquées. Son programme est alors principalement orienté vers l'électrotechnique. Il ne comporte pas d'automatique mais une certaine part d'électronique. Les enseignements sont constitués par des fractions d'unités de la filière E.E.A. et par l'U4 " Electronique Enseignement " qui va exister de 1969 à 1978 avec comme princi-

pal animateur M. Chivé. C'est en 1980 que la participation de l'Electronique va devenir plus conséquente avec l'entrée en fonctions de J.C.DeJaeger. Celui-ci, aidé par A. Risbourg, met en route une préparation d'Electronique pour la discipline très spécifique des leçons et montages. En 1978 la refonte de la filière E.E.A. est l'occasion d'une meilleure structuration de la formation à ce CAPES, concrétisée par la création de la licence ès Sciences physiques option Physique appliquée dans laquelle la contribution des Electroniciens comporte un module et demi d'électronique de base puisée dans la licence E.E.A. Cette organisation va perdurer jusqu'en 1998, date à laquelle J.C. DeJaeger met sur pieds une option physique appliquée de la licence E.E.A. Entre temps a eu lieu, en 1990, le lancement du pôle lillois de l'I.U.F.M. concrétisant la volonté de l'Education Nationale de mieux structurer la formation de ses enseignants. J.C. DeJaeger y devient, en 1991, responsable des Départements de Physique et

Electricité appliquées et de Génie Electrique. Dès lors, la préparation aux concours va être autonome, avec cours, travaux dirigés et montages propres à l'I.U.F.M. Parmi les Electroniciens N.Bourzgui et A.Ben Larbi sont les plus impliqués dans ces enseignements.

C'est aussi à C. Maizières que l'on doit la mise sur pieds de la préparation au CAPET de Génie Electrique, en 1980, avec, d'abord, seulement l'option B d'Electrotechnique et Energie. J.F.Sergent, nommé en 1980, en devient l'animateur principal. Comme le CAPES de Physique et Electricité appliquées, le CAPET de Génie Electrique connaît d'abord une période de relative improvisation et c'est dans le cadre d'une coopération étroite avec le Centre de Formation de l'Enseignement Technique (C.F.P.E.T.) que cette préparation prend corps progressivement vers la fin des années 80. La véritable structuration de la formation s'opère à partir de 1990 avec, d'une part, l'ouverture de l'I.U.F.M. lillois et, d'autre part, la mise sur pieds de la Licence d'Ingénierie Electrique qui va pouvoir servir d'année préparatoire précédent les deux années d'I.U.F.M. Dans les années qui suivent, la licence Ingénierie Electrique, outre son rôle d'année zéro de la voie CAPET Génie Electrique, va également servir de seconde voie d'accès à la maîtrise E.E.A., mais pour des étudiants issus d'I.U.T.

et B.T.S. Le nouveau cadre de l'I.U.F.M. offre alors à J.C.DeJaeger la possibilité de créer, en 1992, l'option A d'Electronique et Automatique. Celui-ci, aidé par M. Amberg, va en être l'animateur très actif.

Les préparations aux agrégations de Physique et Electricité appliquées et de Génie Electrique, bien que traditionnellement moins encadrées que celles relatives aux CAPES et CAPET correspondants, ont quand même toujours fait l'objet de l'appui officiel de l'Université. Dès 1968 des rudiments de préparation sont mis en œuvre sous l'impulsion du collègue physicien J.Schiltz avec la participation de G.Salmer et P.Tabourier comme électroniciens. Du côté de l'EEA des préparations plus substantielles vont être mises sur pieds grâce à l'attention particulière et à la persévérance de notre collègue électrotechnicien C. Maizières, en concertation avec son collègue physicien J.C. Beaufils. Les ouvertures de ces préparations se situent vers 1970 pour Physique et Electricité appliquées et aux environs de 1976 pour Génie Electrique. Par la suite, Leur partie d'électronique, minoritaire au programme, va alors avoir essentiellement et durablement pour animateurs : Y. Druelle, M.Amberg et J.C. DeJaeger.

## *2.4 Le Diplôme d'Etudes Approfondies (D.E.A.) et les Doctorats d'Electronique :*

Lors de sa création, en 1964, le D.E.A. d'Electronique vient officiellement compléter le cursus du 3ème cycle d'Electronique menant au passage de la thèse dite de 3ème cycle qui, elle, a déjà plusieurs années d'existence. Initialement simple année préparatoire, le D.E.A. va quasiment devenir un concours pour entrer en thèse dans l'un des laboratoires du Centre de 3ème cycle d'Electronique. A la base de cette évolution il y a essentiellement la revalorisation à un niveau décent des bourses de thèses, quelles qu'en soient les provenances: Enseignement Supérieur, C.N.R.S., Défense Nationale, Industrie... La préparation d'une thèse va être, de fait, assimilée à un premier emploi, avec tou-

tes les contingences de sélection et de suivi en découlant. A cela, il faut ajouter que le changement d'appellation, en 1986, de la thèse de 3ème cycle (ou d'Ingénieur Docteur) en thèse de "Doctorat d'Université", avec le passage à une durée minimale de trois ans dans le cadre d'un alignement sur le PH.D., vient encore augmenter le poids de la formation et accentuer son caractère professionnel. Dopée par le formidable développement des laboratoires participant au 3ème cycle d'Electronique, et sous la forte impulsion des responsables successifs du D.E.A., d'abord R.Gabillard puis E.Constant en 1979, cette organisation va connaître une croissance exceptionnelle. Dans les années 90 l'effec-



tif de chaque promotion de Doctorants atteint la quarantaine et un récent recensement des thèses d'Electronique passées de 1970 à 2000 indique

que leur nombre atteint largement 600.

## 2.5 Les Diplômes d'Enseignement Supérieur Spécialisé (D.E.S.S.) :

Bien qu'ayant une certaine parenté avec la formation Doctorale d'Electronique les trois D.E.S.S. émanant du Service d'Electronique s'en différencient fortement par leur finalité très ciblée et une durée de seulement une année, la moitié de celle-ci étant consacrée à des projets et à un stage professionnel. Ils doivent tous trois leurs créations à la préexistence au sein du Service d'Electronique, dans ses enseignements et dans ses laboratoires de recherche, d'un potentiel hautement spécialisé et en synergie permanente avec les milieux industriels correspondants.

Lancé en 1983, le D.E.S.S. "Microélectronique Micro-ondes " répond à une forte incitation des milieux socio-économiques à former plus d'Ingénieurs dans le domaine de l'Electronique. Axé sur la conception et la réalisation technologique de composants et circuits pour les systèmes radiofréquences et micro-ondes, ce D.E.S.S. bénéficie d'emblée de l'environnement technologique du "Centre Hyperfréquences et Semi-conducteurs" que dirige E.Constant. Grâce à l'action efficace de L.Raczy, il reçoit aussi le soutien décisif des Ministères de l'Education et de l'Industrie dans le cadre du vaste programme national de formation intitulé "Filière Electronique". Celui-ci s'étendra sur une bonne partie des années 80 et sera pérennisé, à partir des années 90, dans le cadre institutionnel du "Comité National de Formation en Microélectronique", avec le Centre de Lille parmi les antennes les plus importantes. Cette aide permet à ses animateurs, Y. Crosnier, P.Kennis puis J.F.Légier, d'assurer un développement très complet d'équipements avec salles blanches de technologie, laboratoires de conception sur ordinateurs et laboratoires de tests radiofréquences et micro-ondes, le tout étant installé dans les bâtiments P3 et P4.

Le D.E.S.S. "Technologies et Logistique

en Biologie et Médecine" est créé en 1985 par M.Chivé, en collaboration avec l'Université du Droit et de la Santé de Lille. Celui-ci va être son animateur jusqu'à la seconde moitié des années 90, J.J. Fabre et L.Dubois lui succédant alors. L'idée directrice de cette création est de tirer partie des compétences complémentaires en capteurs et instrumentation des laboratoires de recherche des deux universités Lille I et Lille II pour fournir à des étudiants provenant essentiellement des filières biologiques et biochimiques une formation pointue d'ingénierie de l'instrumentation électronique en biologie et médecine. A son programme on trouve tous les rudiments indispensables de traitement du signal, d'acquisition de données, traitement statistique... Cette formation rencontre immédiatement un grand succès et de nombreux débouchés auprès des grands laboratoires pharmaceutiques et des grands centres hospitaliers. Moyennant quelques adaptations, ce D.E.S.S. va être régulièrement reconduit et poursuit toujours sa carrière.

Lancé en Octobre 1994 le D.E.S.S. "Communications Mobiles " est un exemple type de réussite due à la synergie existant alors entre Electroniciens de Lille I et le milieu des Télécommunications, en l'occurrence par le biais de l'E.N.I.C. Cette synergie, à laquelle Licence et Maîtrise de Télécommunications ont dû leurs développements, va, là encore, faire merveille. Une brève incursion dans l'histoire de l'E.N.I.C. s'impose, ici, pour comprendre les circonstances qui sont à l'origine de la création de ce D.E.S.S. A cette époque, après quatre années de fonctionnement, l'E.N.I.C. a atteint son régime de croisière. Les Electroniciens de Lille I ont largement contribué à la montée en puissance de l'Ecole. J.P. Dubus, P. Kennis et B. Bonte font figures de pionniers et rares sont, parmi les collègues électroniciens, ceux qui n'ont pas au moins une

partie de leur activité d'enseignement dans les nombreux modules du 1er cycle, du cycle d'approfondissement et du cycle de spécialisation dispensés par l'E.N.I.C. P. Kennis prend en charge la responsabilité du "Département Electronique" en 1992. C'est alors, en 1994, que le Directeur de l'Ecole, P. Giorgini, pressentant la vague déferlante de la téléphonie mobile, décide la création d'une nouvelle option du cycle de spécialisation entièrement dédiée aux communications mobiles, et suggère que l'Université lance parallèlement un D.E.S.S. dans cette spécialité. P.Kennis et C.Séguinot, après de nombreuses consultations auprès des professionnels de l'I.N.T., de T.D.F., de l'I.N.R.E.T.S. et de DEUTSCHTELEKOM, mettent sur pieds un programme très professionnalisé où E.N.I.C. et D.E.S.S. sont étroitement associés. L'objectif des deux formations est d'accompagner le développement considérable que va connaître le télé-

phone portable en fournissant aux opérateurs des ingénieurs de terrain spécialistes de télécommunications sans fil et de réseaux cellulaires. Le succès de la formation est à l'image de celui du téléphone portable. Deux laboratoires spécialisés sont installés, l'un au bâtiment D.E.S.S. et l'autre au bâtiment P3, pour couvrir les besoins en logiciels d'implantation et gestion des réseaux cellulaires et en appareils de test de radiocommunications. La moitié des enseignements est assurée par des intervenants professionnels, ce qui constitue un record pour une formation d'origine universitaire. Le rôle de P. Kennis et C. Séguinot dans ce contexte très inusité va être de maintenir le cap et d'adapter avec clairvoyance les enseignements au fur et à mesure des évolutions, souvent très rapides, de la spécialité.

## 2.6 *L'école Nouvelle d'Ingénieurs en Communication ( E.N.I.C.) :*

Formation en étroite adéquation avec les compétences du Service d'Electronique, l'E.N.I.C. a pu recevoir de celui-ci une continue collaboration marquée, en particulier, par les contributions déterminantes de nombre de ses membres au développement de son "Département Electronique".

Quelques temps avant l'ouverture de l'Ecole, qui se situe en 1990, un comité des programmes s'est constitué réunissant autant de membres de l'Université de Lille I que de professionnels des Télécommunications et du monde socio-économique. L.Raczy, J.P. Dubus et P.Kennis participent à ce comité des programmes pour le Service d'Electronique. Les représentants de l'Université ont pour chef de file leur collègue physicien H. Dubois dont le savoir faire en matière de formation appliquée a été largement démontré antérieurement par son infatigable implication dans le DEUG en alternance, le DESS " Réseaux Câblé " et la Maîtrise Sciences et Techniques dite " Mesures et Contrôles ", filières

toutes trois solidement ancrées dans le monde professionnel et fonctionnant admirablement. Structurée, pour sa gestion, en Groupement d'Intérêt Economique ( G.I.E.), l'E.N.I.C. repose sur un étroit partenariat entre l'Institut National des Télécommunications ( I.N.T.) et l'Université de Lille I. Symbole de ce partenariat, la nomination du directeur de l'Ecole obéit à la règle de l'alternance entre les deux établissements. Ainsi, les quatre premiers Directeurs vont être, dans l'ordre chronologique : P. Giorgini (I.N.T.), J.C.Damien (Lille I), P. Baylet (I.N.T.) et A.Lablache-Combier (Lille I).

Lors de sa création l'E.N.I.C. porte le label de la filière B. Decomps et est destinée à former des Ingénieurs de terrain pour le domaine des technologies de l'information et de la communication. Cette formation doit couvrir les besoins très vastes dans les différents secteurs de ce domaine : sociétés de services, opérateurs de réseaux, constructeurs et installateurs de matériels, entreprises utilisatrices des réseaux...

Son cursus se doit d'avoir une organisation souple et ouverte, pouvant convenir aussi bien à une formation initiale sur 5 ans, à l'issue du baccalauréat, qu'à une formation continue de personnes titulaires d'un D.U.T. ou B.T.S. et ayant au moins 4 ans d'expérience professionnelle. La modularité de l'enseignement est la règle, avec une semaine ou deux semaines de durée pour chaque module. Périodes d'enseignement et périodes d'initiation à l'Entreprise alternent au cours des cinq ans de formation initiale. Les premières couvrant les 3/5 du temps et les secondes les 2/5. Cette pédagogie très particulière demande un important effort d'adaptation non seulement aux étudiants mais aussi aux enseignants qui, comme ceux de Lille I, sont habitués à un large étalement sur l'année des matières qu'ils enseignent.

Au sein du "Département Electronique" la tâche incombant aux membres du Service Electronique de Lille I est d'assurer l'ensemble des enseignements de circuits, composants, signaux, fonctions et systèmes électroniques, relatifs aux matériels de Télécommunications et Communications et relevant des cycles de base,

d'approfondissement et de spécialisation qui structurent la formation. En particulier, les Electroniciens de Lille I sont fortement impliqués dans trois des options du cycle final de spécialisation : les Télécommunications Optiques et Micro-ondes ( T.O.M.), le Traitement du Signal et des Images (T.S.I.), et les Communications Mobiles, la dernière créée (1994) et parallèlement au D.E.S.S. du même nom à Lille I.

Parmi tous les enseignants électroniciens de Lille I, dont l'investissement à l'E.N.I.C. a joué un rôle déterminant pour le développement de cette Ecole, on retiendra principalement les noms de : B. Bonte, pour son rôle de correspondant-coordonateur des enseignements d'électronique au cours des premières années, P. Kennis et Y. Druelle, en tant que chefs du Département d'Electronique, respectivement à partir de 1992 et 1996, et aussi de P. et J. Pribetich, E. Paleczny, C. Séguinot, J.F. Légier, B. Boudart, M. Chivé, L.Raczy, S. Maricot, J.P. Dubus, A.A Taleb... pour leurs interventions multiples dans les différents modules.

## 2.7 Le D.E.U.G. « Technologie Industrielle » (DEUG TI) :

C'est en raison de la forte pression en besoins de formation en technologie des systèmes et des procédés que l'Université décide, en 1993, d'ouvrir un section spéciale dédiée à ce domaine : le D.E.U.G. de Technologie Industrielle. Cette section, mise sur pieds sous l'impulsion de notre collègue électronicien J.M.Wacrenier, qui est alors responsable du Service Commun de 1er cycle de l'Université, va donner l'occasion d'une contribution importante de l'E.E.A. et, en particulier des Electroniciens.

1er cycle couvrant les deux premières années du cursus universitaire, le "Diplôme d'Etudes Universitaires Générales" ( DEUG ) a été longtemps considéré comme devant ne comporter que des enseignements fondamentaux. Pour le secteur des Sciences de la Matière, d'où provenaient une grande partie des étudiants venant dans les cursus E.E.A. de 2ème cycle, l'enseignement comportait essentiellement :

mathématiques, physique et chimie. A partir des années 70, le développement incontournable de l'informatique, en tant qu'outil universel de travail, a progressivement imposé l'entrée de cette discipline dans le DEUG. Celle-ci a pris au fil des ans une importance toujours croissante. Il n'en a pas été de même pour les disciplines dites technologiques, celles de l'E.E.A. en particulier. Dans la décennie 80 l'électronique ne figure dans le DEUG que sous la forme d'une petite composante du cours d'électricité, principalement animée par G.Salmer et R. Kozlowski. Ce n'est que dans les années 90 qu'un module "Electronique " fait son entrée dans l'enseignement de 2ème année des deux DEUG "Sciences de la Matière" et "Sciences de la Vie", et à titre optionnel.

Le DEUG traditionnel s'avérant d'un abord ardu pour les étudiants, de plus en plus nombreux et de plus en plus tournés vers l'expé-

rimental plutôt que l'abstrait, l'idée d'un nouveau DEUG, résolument orienté vers les Sciences Appliquées et appelé "DEUG de Technologies Industrielles" ( DEUG TI ), s'est peu à peu imposée partout en France. A l'Université de Lille I c'est en 1992 que le DEUG TI est organisé. L'équipe fondatrice comprend une trentaine de personnes : mathématiciens, physiciens, chimistes, informaticiens, mécaniciens, biologistes, automaticiens, électrotechniciens et électroniciens.... J.M.Wacrenier, en tant que superviseur de tous les enseignements de 1er cycle de l'Université, assure la coordination du groupe. Il est, parmi tous les électroniciens, celui qui a la plus grande expérience des enseignements de 1er cycle. Il a, en effet, exercé dans tous les types de DEUG de l'Université, en particulier dans celui dénommé "DEUG Alterné" dont la formule originale, mise en place en 1974 par le collègue physicien H. Dubois, préfigurait d'une certaine manière celle du DEUG TI, mais sans aller aussi loin dans le caractère professionnel et l'approche expérimentale. Les éléments novateurs (pour l'époque) du DEUG Alterné, par rapport aux DEUGs traditionnels, étaient la présence dans le cursus d'un stage de longue durée et d'une pédagogie plus inductive.

Avec le stage intégré et les projets, le programme du DEUG TI accorde délibérément plus de la moitié du temps aux matières dites technologiques. Un peu moins de l'autre moitié du temps est dévolu aux enseignements fondamentaux de mathématiques, physique, chimie et informatique. Enfin, près de 10% du temps est réservé aux enseignements généraux : expression, langues et économie. Au cours de la première année l'étudiant doit choisir une des

options proposées, soit dans l'orientation "génie des systèmes", soit dans l'orientation "génie des procédés". Les options "génie électrique" et "informatique" vont être les plus prisées des étudiants. L'E.E.A. représente à peu près 20% de l'ensemble des enseignements, toutes options comprises, et l'électronique 10%. Cet investissement important des Electroniciens dans les matières enseignées s'accompagne, parallèlement, d'une forte implication au niveau des responsabilités générales. Outre le rôle éminemment moteur de J. M. Wacrenier dans ce nouveau DEUG, il faut également retenir les responsabilités assumées pendant toute la période cruciale du lancement de la formation par R.Kozlowski et A.Cappy, en tant que Directeurs des Etudes , et par N. Bourzgui, P. Descamps, L.Raczy, Y. Crosnier..., dans la mise sur pieds des enseignements d'électronique. Après divers ajustements de la pédagogie pour conserver un équilibre raisonnable entre matières fondamentales et matières technologiques et permettre aux étudiants de rejoindre, ensuite, un cursus normal de 2ème cycle, sans plus de difficultés qu'avec un DEUG traditionnel, le DEUG TI va progressivement prendre son régime de croisière. Devant l'engouement des étudiants pour cette pédagogie par l'expérimentation l'augmentation de sa capacité d'accueil va vite devenir une nécessité. Plusieurs années vont être nécessaires pour dégager le financement du doublement du matériel, et il faudra attendre la fin de la décennie 90 pour que l'augmentation des effectifs du DEUG TI devienne effective et que ceux-ci atteignent le chiffre de 200 pour chacune des deux années.

## 2.8 Conclusion

De cette présentation ressort la volonté montrée, de manière permanente, par les électroniciens lillois de développer des enseignements prenant en compte dans une très large mesure les besoins exprimés par le monde professionnel. Ce souci de coller de très près à la réalité socio-économique s'est exercé très tôt, à une époque où beaucoup d'universitaires rechi-

gnaient encore à être confrontés à des questions concrètes. La même ligne directrice, comme on va le voir dans ce qui suit, a également prévalu dans les choix de directions de recherche, sans, pour autant, empêcher de cotoyer avec un certain succès des problèmes fondamentaux parmi les plus ardues.



## 3. La recherche

En 1967 la transplantation de Lille à Annappes de la Faculté des Sciences est pour les Laboratoires de recherche d'électronique le point de départ d'un développement considérable qui va rebondir sur près de vingt-cinq années et conduire ce secteur de recherche à une position particulièrement brillante régionalement et nationalement. L'extinction de l'entité "Institut Radiotechnique", conséquence logique de la création du département lillois d'I.U.T. en Génie Electrique, et la transplantation de la Faculté à Annappes sont accompagnées d'une restructuration du Service Electronique en trois groupes patronnés par R.Gabillard, E.Constant et A.Lebrun. Chacun occupe, respectivement, dans un premier temps, les premier, deuxième et troisième étages du bâtiment P3. Le rez-de-chaussée du P3 regroupe le secrétariat et les ateliers communs du Service Electronique : mécanique, électronique, menuiserie... Quelques

années plus tard, le département de Génie Electrique déménageant au sein de l'ensemble construit sur le campus d'Annappes pour l'I.U.T. A, et, de ce fait, libérant le bâtiment P4, une extension du Laboratoire de E.Constant s'effectuera au premier et au deuxième étage de celui-ci. Le troisième étage de ce même bâtiment restera dévolu aux travaux pratiques des enseignements de deuxième cycle d'électronique.

Comme on va le constater dans ce qui suit, la division du Service d'Electronique en trois laboratoires autonomes va permettre à chaque groupe de déployer sa propre originalité mais ne constituera jamais une barrière pour l'entreprise d'actions en commun. Comme on l'a déjà souligné dans ce qui précède, ce sont principalement les activités de recherche qui sont à la base des liens et de la communauté de vue faisant l'entité "Service Electronique".

### 3.1 Le Laboratoire A.Lebrun . " Spectrométrie des solides " et " Mesures Automatiques "

A son installation à Annappes le Laboratoire de A.Lebrun comporte deux branches d'activité : la " Spectrométrie Hertziennne " et les "Mesures Automatiques" qui, on va le voir,

sont très liées entre elles et aussi avec les activités voisines effectuées dans le laboratoire de E.Constant.

#### 3.1.1 Spectrométrie Hertziennne : des Zéolithes aux Cristaux liquides.

Fondée sur l'étude de la permittivité diélectrique des matériaux, initiée à l'Institut Radiotechnique vers la fin des années 50 par R.Arnoult, la Spectrométrie Hertziennne avait constitué un axe historique de recherche pour les électroniciens lillois et conduit à une succession de thèses de Doctorat d'Etat, notamment celles de A.Lebrun, M. Moriamez, C. Moriamez, R.Liébaert, E.Constant, L.Raczy, Y.Leroy et J.P.Fontaine. Jusqu'à alors, les diverses études avaient concerné essentiellement les liquides à association moléculaire par la liaison hydrogène.

A l'arrivée à Annappes un partage s'opère entre le tout nouveau laboratoire de E.Constant et celui de A.Lebrun, le premier continuant l'étude des diélectriques liquides tandis que le second se tourne vers l'étude des corps poreux tels que sables, argiles, alumines, gels de silice et les aluminosilicates appelés "Zéolithes". L'effort des chercheurs de A.Lebrun, principalement avec A.Chapoton et J.M. Wacrenier et leurs thésards, va se focaliser sur les Zéolithes, étant donné le vif intérêt alors suscité par ces matériaux dans l'industrie, notamment pour les

applications de catalyse hétérogène. Leur spectrométrie diélectrique fait l'objet d'une exploration à très large bande, de 0,01 Hertz à 25 GigaHertz, et en faisant varier les paramètres opératoires tels que: hydratation, traitement thermique, nature des cations, nature du fluide adsorbé... Une investigation sur un spectromètre de Résonance Paramagnétique Electronique, spécialement bâti au laboratoire, vient compléter les études diélectriques. Des modèles théoriques de plus en plus complexes sont échafaudés pour interpréter les mécanismes de relaxation diélectrique et essayer d'apporter des informations aux industriels sur les propriétés de leurs produits. Cet effort théorique permet d'ouvrir largement le sujet. Il a aussi le grand avantage d'initier l'équipe aux problèmes de physique statistique dans des quasi-solides, et constitue un tremplin spécialement utile pour les travaux de recherche ultérieurs, post Zéolithes, notamment ceux concernant les cristaux liquides. Toute cette activité va s'étaler sur la série des thèses de 3ème cycle ou Docteur Ingénieur (\*) et d'Etat (\*\*) de : A.Chapoton (1966\*, 1973\*\*), J.M.Wacrenier (1968\*, 1975\*\*), J.C.Silvestre (1969\*), L.Gengembre (1971\*), J.Vindevoghel (1972\*), Choquet (1973\*), C. Druon (1974\*), C. Bourgeois (1975\*), D. Pasquet (1975\*), P.Tabourier (1972\*, 1984\*\*), Ravalitera (1975\*), J.C. Carru (1976\* et 1986\*\*), Benadda (1983\*)...

Même si pendant une quinzaine d'années les corps poreux et les zéolithes occupent une place prépondérante dans les études de spectrométrie hertzienne du laboratoire de A.Lebrun, d'autres activités sont menées parallèlement à propos des mesures d'humidité et surtout à propos des cristaux liquides. Le savoir-faire du

Laboratoire en mesures d'humidité couvre toutes sortes de secteurs : acides forts chez Kulhman, luzernes, laines chez Peigneur, levures chez Lesaffre, sols des remblais d'autoroutes...etc. Ce savoir-faire sera transféré à la société Gira de Pau et, sur le plan Université de LilleI, poursuivi par Y.Leroy au Laboratoire de E.Constant : le Centre Hyperfréquences et Semiconducteurs ( CHS ). L'activité sur les cristaux liquides est initiée simultanément en 1973 dans le laboratoire de A.Lebrun et au CHS avec comme premiers protagonistes G.Salmer et P.Thery et sous l'impulsion de E.Constant, celui-ci présentant, à juste titre, l'énorme potentiel d'applications de ces matériaux pour l'affichage et les écrans plats. Les équipements de spectrométrie des deux laboratoires sont complémentaires pour couvrir l'ensemble du spectre de fréquences. La partie haute, jusqu'en infrarouge lointain, est couverte par des bancs de mesures à interféromètres de Michelson occupant une salle entière du CHS. A cette occasion une équipe mixte se crée entre les deux laboratoires, animée alternativement ou conjointement par A.Chapoton et J.M.Wacrenier. Au départ en retraite de A.Lebrun, en 1980, cette équipe mixte couvrira un domaine de plus en plus large, devenant l'équipe " Nouveaux Matériaux" du CHS, sous la responsabilité de A.Chapoton. Cette phase historique de l'activité " cristaux liquides " sera concrétisée par le passage des thèses d'Ingénieur Docteur, 3ème cycle ou Université (\*), et Etat (\*\*) de : J.P. Parneix (1975\* et 1982\*\*), D. Lippens (1978\*), J. Depret (1980\*), A.R. Zounon (1981\*), M. Bouamza (1982\*), C.Legrand (1984\*), D.Decoster (1983\*), C. Druon (1984\*\*), ....

### **3.1.2 Mesures Automatiques : les bancs de mesures, le CRESMAT, les capteurs et l'instrumentation thermique, le traitement numérique du signal.**

En ce qui concerne la branche "Mesures Automatiques", officiellement installée par A.Lebrun en arrivant à Annappes, c'est l'aboutissement de la longue expérience acquise par celui-ci en matière de bancs de mesure à toutes les fréquences, du centième de Hertz à plusieurs dizaines de GigaHertz. L'objectif visé est alors de développer des appareillages répondant non

seulement aux besoins des recherches fondamentales de la branche "Spectrométrie Hertzienne" mais aussi aux problèmes très concrets soumis à A.Lebrun au cours de ses nombreux contacts avec les milieux industriels. On ne soulignera jamais trop le rôle éminemment pionnier de A.Lebrun dans cette démarche de rapprochement du monde industriel et de

l'Université. Vers 1975, P.Thery et J.P.Dubus, chercheurs chevronnés puisque l'un et l'autre Docteurs d'Etat, désirant se reconverter, rejoignent le laboratoire "Mesures Automatiques". Ce renfort va apporter à celui-ci une nouvelle expertise dans le maniement de la physique des capteurs et des mesures et, parallèlement, une compétence très en pointe dans les dernières avancées de l'électronique du traitement de signal et de ses développements numériques. Ainsi armée, cette branche du laboratoire de A.Lebrun sera amenée à évoluer progressivement vers des domaines tout autres que la spectrométrie hertzienne, tels que la domotique, l'instrumentation thermique, la pédagogie assistée, l'imagerie... etc.

Dans la période consacrée aux appareillages de mesures diélectriques, c'est-à-dire jusque vers 1980, les réalisations donnent lieu à des idées toujours plus ambitieuses, avec toujours plus d'automatisation et de traitement numérique. On en retiendra comme exemples typiques les thèses d'Ingénieur Docteur, 3ème cycle ou Université de P. Delecroix (1969), J.Pauquet (1973), J. Bayard (1976), C. Sion (1976), M.Descarpentries ( ), F. Salomé (1986)... , et les très nombreux mémoires de stage d'Ingénieurs effectués dans le cadre du Centre Associé de Lille des Arts et Métiers (CNAM ), dont A.Lebrun est, à la fois, le fondateur et un ardent soutien et animateur. Cette filière de mémoires d'Ingénieurs CNAM va se poursuivre pendant très longtemps avec divers autres responsables dont : A. Risbourg, Y.Leroy, P. Thery...

Cette période de développement des mesures diélectriques est aussi celle du lancement du Centre de Recherches en Matériaux, intitulé "CRESMAT", qui va offrir une possibilité permanente de transfert vers l'industrie de savoir-faire en capteurs et instrumentation associée. Ce sont à nouveau J.P.Beaufils et A.Lebrun, auxquels on doit déjà les lancements de l'EUDIL et du CUEEP, qui, vers 1975, créent le CRESMAT en tant que GIE entre l'Université de Lille I et l'industrie du bâtiment et des travaux publics, en l'occurrence le CEBTP. J.P.Beaufils étant appelé à des tâches ministérielles, A.Lebrun devient Directeur du CRESMAT. Il le sera plus

d'une décennie et, ensuite, Y.Leroy, A.Risbourg et enfin P. Loosfelt lui succéderont. Après une première période orientée vers le Bâtiment et les Travaux publics, avec des recherches portant essentiellement sur les problèmes d'humidité et de thermique, la deuxième période, commencée vers 1985, va conduire à des applications de domotique puis pour les handicapés et personnes âgées, en lien direct avec les travaux d'électronique numérique alors développés au Laboratoire de Mesures Automatiques. Il en résultera des réalisations intéressantes, en particulier au bénéfice des Maisons de Retraite de l'agglomération lilloise.

C'est en 1976 que débute véritablement l'activité de thermique dans le laboratoire de Mesures Automatiques, lorsque P. Thery, suite à sa mutation de l'IUT de Calais à l'IUT de Béthune, se rattache pour la recherche au Laboratoire de A.Lebrun. Le point de départ de cette activité est une idée originale consistant à réaliser des chaînes de thermopiles sous une forme planaire aisément adaptable aux conditions pratiques des mesures de flux thermique propres au génie civil. L'équipe " Capteurs et Instrumentation " est ainsi lancée. Cette activité, dont les premiers pas s'effectuent avec le support logistique du CRESMAT et de l'IUT de Béthune, va ensuite connaître une progression continue, avec une recherche toujours plus poussée d'optimisation des performances et une diversification des applications. C'est ainsi que, par combinaison de séquences d'effet Peltier et d'effet Seebeck, le capteur thermopile est transformé en anémomètre et mesureur de débit de fluides. A partir de 1988 une autre voie s'installe, portant sur la réalisation de microradiomètres en infrarouge avec une structure à trois niveaux comportant : un revêtement à absorption différentielle assurant la sélection du rayonnement infrarouge, la chaîne thermopile planaire et le substrat. Compte tenu de son vaste champ d'applications, notamment pour la détection d'intrus et la mesure de température sans contact, cette extension d'activité va susciter une nouvelle progression de l'approche technologique pratiquée par l'équipe, dans le cadre d'un rapprochement avec le laboratoire de

E.Constant qui, entre temps, est devenu l'IEMN. Les procédés technologiques de microélectronique de l'IEMN se révèlent alors particulièrement intéressants pour optimiser la fonctionnalité des capteurs et aller résolument vers une miniaturisation toujours plus poussée. Au début des années 90 se constitue une équipe mixte mi laboratoire de Mesures Automatiques, mi IEMN. La constitution de cette équipe élargie s'accompagne, parallèlement, de la mise en place de structures d'industrialisation. Ainsi sont créés en 1995 CAPTEC sur la région lilloise et ICMC sur la région parisienne, avec P. They comme principal fondateur et animateur. L'année 1995 est aussi marquée par la décision de A.Lebrun de mettre un terme à l'intense activité de laboratoire qu'il a déployée dans le cadre de son Eméritat... commencé en 1980. Le groupe Capteurs et Instrumentation va, alors, poursuivre son intégration dans l'IEMN, rejoignant dans celui-ci le groupe travaillant sur les microtechnologies et les microsystèmes, et, ouvrant ainsi la possibilité de nouveaux développements avec une intégration encore affinée des capteurs thermiques et de leur électronique associée, profitant notamment des moyens de microtechnologie à base de silicium nouvellement implantés. Sur le plan académique l'acquisition de toute cette expertise et de ce savoir-faire s'accompagne d'une imposante série de thèses de Docteur Ingénieur, de 3ème cycle ou Université (\*) et de thèses d'Etat ou HDR (\*\*). Il s'agit des travaux de : Wattiau (\*1978), Kougbeadjo (\*1980), A. Farza (\*1981), D. Leclercq (\*1982 et \*\*1991), M. Samodi (\*1985), E. Gaviot (\*1985 et \*\*1998), M. El Moutaoukil (\*1986), C. Vultaggio (\*1987), L.Dutel (\*1988), P. Herin (\*1988), P. Razloznic (\*1988), S. Lassue (\*1989), A. Assam (\*1990), K.Lattef (\*1991), M. El Hazli (\*1993), A. Lachgar (\*1993), M. Rahmoun (\*1994), D. Defer (\*1994), L. Camberlein (\*1997), C. Machut (\*1997), Guilmain (\*1998), H. Randrianarisoa (\*1998), F.Polet (\*1999), K. Ziouche (\*1999),...etc.

La mise en place dans le laboratoire de Mesures Automatiques d'une activité spécifiquement centrée sur le traitement numérique du signal prend véritablement corps fin 1977 lorsque J.P.Dubus décide de quitter son domai-

ne de recherche originel, à savoir la géopropagation, pour apporter au laboratoire de A.Lebrun une composante "Signal". Celle-ci est pleinement opportune comme support d'accompagnement des multiples réalisations d'instrumentation à base d'électronique pratiquées dans le laboratoire. En fait, J.P. Dubus, par le jeu des circonstances, va ouvrir une voie particulièrement originale couplant recherche algorithmique et recherche d'architectures de circuits numériques, d'abord dans le domaine du langage et ensuite dans celui de l'imagerie dynamique. Au fil des années une solide équipe va se constituer autour de J.P. Dubus. V. Devlaminck, P. Loosfelt seront amenés à le seconder plus particulièrement auprès des chercheurs, et F. Wattrelot assurera la logistique de l'équipe. Au début des années 90, au plus fort de sa croissance, l'équipe essaiera une partie de son activité à Calais, à l'occasion du lancement de l'IUP de Génie des Procédés Industriels. J.P. Dubus apportant une contribution déterminante à la mise en place de cet établissement tant sur le plan des enseignements que sur le plan de la recherche. Ainsi va se créer sur Calais le LISIR : Laboratoire du Signal, de l'Image et des Réseaux. Après 1995, avec l'effacement définitif de A.Lebrun, la question du Laboratoire de tutelle de l'équipe va se poser. Elle sera résolue par un rattachement au Laboratoire d'Automatique I3D "Interaction-Image-Ingénierie de la Décision".

Le tout début de l'activité de J.P. Dubus, fin 1977, est amorcé par une demande de l'Ecole pour aveugles et amblyopes de Loos portant sur la réalisation d'un transcripateur des caractères d'imprimerie en Braille. La suite va porter logiquement sur l'opération inverse avec la réalisation d'un transcripateur du Braille en caractères d'imprimerie. Ces premiers travaux vont être l'occasion pour J.P. Dubus et ses chercheurs de se familiariser avec l'analyse du langage, les techniques spécialisées d'informatique s'y rapportant, et de commencer à s'intéresser au traitement d'image et aux problèmes de bruit numérique. L'évolution de l'équipe vers le traitement d'image va se poursuivre de plus en plus largement, à partir de demandes émanant des milieux hospitaliers, en particulier le CHR de Lille, pour essayer d'apporter une aide dans l'u-



tilisation de l'imagerie médicale. L'équipe va se spécialiser dans la reconstruction 3D et en présence de mouvement dans les images. Ses travaux porteront non seulement sur les méthodes d'analyse mais aussi sur l'instrumentation à mettre en œuvre. A côté de cet axe principal de l'imagerie médicale, orchestrée par J.P. Dubus, l'équipe développe des études spécifiques sur les techniques et architectures originales. Ce secteur d'activité est principalement animé par P.Loosfelt. Responsable du Département de Mathématiques au CUEEP, celui-ci s'est fait une spécialité de l'aide à la pédagogie par l'informatique (EAO) et, dans ce but, poursuit sans relâche la recherche de nouveaux outils tout en apportant sa contribution aux travaux de l'équipe de J.P. Dubus et du Laboratoire de A.Lebrun. Ainsi, P. Loosfelt sera d'abord promoteur de logiciels d'EAO pour l'enseignement des Mathématiques, puis, dans les années 80, sera, avec quatre collègues du CUEEP (T. Balenghien, X.Coine, C.Vieville, A.Derycke), à la base d'une des toutes premières réalisations de mise en réseau de machines pour l'enseignement de l'informatique dans les collèges et les Lycées. Cette épopée, appelée "Nanoréseaux" et soutenue ministériellement, va conduire à l'implantation de 20 000 ensembles sur la France. P.Loosfelt

sera aussi inventeur d'un type tout à fait original de "mémoires associatives" au début des années 90, puis, toujours inventif, se penchera sur le dialogue vocal avec les ordinateurs et enfin sur le pilotage des ordinateurs à partir de l'œil, avec la "souris oculaire".

Tout ce bouillonnement de l'équipe de J.P.Dubus, où chaque idée d'algorithme est creusée jusqu'à sa mise en application complète, donne évidemment lieu à de très nombreux travaux de thèses et aussi de mémoires CNAM, J.P.Dubus étant, comme A.Lebrun, un animateur convaincu de cette institution. En se limitant aux Thèses de 3ème cycle ou Université (\*) et aux Thèses d'Etat (\*\*), on retiendra celles de : A.Mandar (\*1982), M.Mortreux (\*1985), M.Benjelloun (\*1986), P. Onanga (\*1986), P.Loosfelt (\*\*1986), V.Devlaminck (\*1988,\*\*1995), F.Wauquier (\*1988), A.A.Taleb (\*1992), P.Nikyema (\*1993), J.B.Choquel (\*1994), I.Dehon (\*1994), F.Dufresnois (\*1994), A.Thery (\*1995), Reboul (\*1995), A. Chrradi (\*1995), P. Christiaen (\*1996), A. Yacoubi (\*1996), L. Lelaurin (\*1996), O.Leteneur (\*1997), T. Saint Michel (\*1997), S.Lecoeuche (\*1998), D.Deguillemont (\*1998), M. Halit (\*1999),...

### *3.2 Le Laboratoire R.Gabillard : " Radiopropagation et Electronique "*

En 1968, presque une décennie s'est écoulée depuis la nomination de R.Gabillard comme Professeur à la Faculté des Sciences de Lille et son laboratoire est résolument engagé dans l'activité de recherche qui va faire sa notoriété : la propagation des ondes électromagnétiques dans les milieux complexes et absorbants. Cette activité va se développer sous la direction de R.Gabillard jusqu'au début des années 90 et celui-ci, lors de son départ en retraite (1995), sera relayé par P.Degauque secondé par B.Démoulin.

Initialisée dans le domaine géophysique avec la prospection pétrolière et minière, l'activi-

té du "Laboratoire de Radiopropagation et d'Electronique" (LRPE) va s'étendre, ensuite, naturellement, aux problèmes de transmission dans le sol, sous la mer, dans les galeries et les tunnels. Puis, avec l'avènement des préoccupations de compatibilité électromagnétique (CEM), elle va se prolonger par l'étude des problèmes de propagations et rayonnements parasites des équipements. Et, en dernier lieu, avec l'irruption de la téléphonie mobile, elle va déborder largement sur les problèmes spécifiques à ce nouveau domaine des télécommunications. L'originalité et la compétence du LRPE font l'objet de sa reconnaissance avec le label

"URA CNRS" dès 1977. Mais, laboratoire de radiopropagation, le LRPE est aussi amené à s'intéresser, à côté de son activité centrale sur la propagation, aux problèmes connexes de l'instrumentation, des signaux, de leur traitement, et des circuits chargés de les élaborer. Cette large et polyvalente expérience va permettre au LRPE de s'impliquer dans divers autres domaines, en particulier les transports et les sports nautiques, où R.Gabillard, par son ouverture d'esprit et son inventivité, s'attire nombre de sollicitations. Cette rapide entrée en matière sur l'activité du

LRPE permet d'y distinguer cinq thèmes qui sont : la géophysique, les transports, les sports nautiques, la CEM et les télécommunications. En raison d'un certain chevauchement de ces thèmes il est parfois difficile, voire arbitraire, de rattacher le travail de tel chercheur à l'un ou l'autre. C'est néanmoins cette forme de présentation qui a été choisie dans ce qui suit pour entrer plus avant dans la description des travaux du laboratoire.

### 3.2.1 La Géophysique.

En 1959, à sa nomination de Professeur lillois, R.Gabillard relance d'abord une petite équipe de chercheurs sur les travaux de résonance magnétique qu'il a lui-même initialisés lors de la préparation de sa thèse d'Etat à la Sorbonne. Plusieurs thèses sortent sur ce thème jusqu'en 1968. La liste en a été donnée par Y.Leroy dans son "Histoire de l'Institut Radiotechnique". C'est alors que des contacts noués avec l'Institut Français du Pétrole (IFP) incitent R.Gabillard à s'intéresser à la prospection pétrolière, et c'est ainsi que les trois dernières thèses clôturant ce thème de la résonance magnétique portent sur l'utilisation du champ magnétique terrestre (thèse 3ème cycle A.Berthe en 1968, thèse 3ème cycle J. Citerne en 1970 et thèse d'Etat Y.Crosnier en 1973). Mais, dans le même temps, percevant toutes les potentialités offertes par les ondes électromagnétiques basses fréquences pour la prospection géophysique, R.Gabillard décide d'orienter ses investigations dans cette nouvelle direction. Celle-ci va, alors, constituer l'axe principal des travaux de son laboratoire pendant une longue période et être à la base de tous les développements ultérieurs de son activité.

Cette période d'activité intensive en "géopropagation" va couvrir une quinzaine d'années et aboutir à des applications pratiques particulièrement retentissantes comme le procédé "Télélog" de prospection de gisements pour l'industrie pétrolière, les liaisons entre terminaux souterrains pour les transmissions militaires et

minières, et la détection de cavités souterraines pour le génie civil (notamment utilisée lors de l'implantation de l'urbanisation de l'Est de Lille et Villeneuve d'Ascq). Ces travaux conduisent à la mise au point d'un savoir faire en matière de réalisation d'équipements d'émission et de réception en régime entretenu ou en impulsions à des fréquences comprises entre le Hertz et quelques KiloHertz, et en matière de modélisations très pointues de propagations en milieux hétérogènes. La liste des thèses de 3ème cycle ou Ingénieur Docteur (\*) et des thèses d'Etat (\*\*) portant sur ces travaux est imposante. On y trouve : J. Marchant (\*1967,\*\*1977), P. Cornille (\*1968), J.P. Dubus (\*1968,\*\*1974), D. Podvin (\*1968), C. Clarisse (\*1969), J.M. Fontaine (\*1965,\*\*1969), F. Louage (\*\*1969), P.Degauque (\*1970,\*\*1974), M. Quintin (\*1970), M.Cauterman (\*1971,\*\*1975), Z. Bassiouni (\*\*1972), M. Soiron (\*1973), J.C. Vachon (\*1973), L.P. Doco (\*1974), R. Bavandi(\*1976), J.L. Martin (\*1978), A. Zeddani (\*1980,\*\*1988), ... Signalons, pour la logistique de tous ces travaux, la part importante qui revient à J.Baudet en tant qu'Ingénieur responsable de l'"Atelier d'Electronique", alors service général du secteur Electronique de l'U.E.R. I.E.E.A.

Après cette phase fondatrice d'activité, d'autres orientations de recherche ayant surgi, il faut attendre les années 90 pour qu'il y ait une réactivation des études de "géopropagation", avec le fait marquant de l'utilisation de fréquences beaucoup plus élevées, l'exemple type en

étant fourni par le procédé de "tomographie" forage à forage pour la reconnaissance du sous-sol, à 200 MHz, mis au point pour les Ponts et Chaussées. On retiendra parmi les thèses effectuées au cours de cette période de réactivation

celles de : M. Kassilalou (\*1988), N. Benjelloun (\*1991), N. Levent (\*1995), A.M. Delabrière (\*1996), M. Dulongcourty (\*1996)...

### 3.2.2 Les transports.

Le point de départ des recherches du LRPE dans le domaine des transports se situe en 1970 quand le Directeur de l'Etablissement Public d'Aménagement de Lille Est ( EPALE ), ayant eu l'occasion d'apprécier les travaux de géopropagation effectués pour la reconnaissance du sous-sol de Villeneuve d'Ascq, demande à R.Gabillard de participer à la conception du métro sans conducteur destiné à relier Lille à Villeneuve d'Ascq : le V.A.L. Une pré étude amène R.Gabillard à avoir l'idée d'un système de fonctionnement automatique tout à fait original. Celui-ci est retenu, breveté et va servir de base à la réalisation par MATRA d'un ensemble véhicule-infrastructures très fiable dont les versions ultérieures seront ensuite largement commercialisées en France et dans le monde (Orly, Toulouse, Rennes, Chicago, Taïpei...). Une longue gestation du projet va être nécessaire pour faire admettre tout ce que comporte de révolutionnaire ce nouveau métro, et pour tirer le meilleur parti de la technologie microélectronique, alors en pleine explosion (c'est le début des microprocesseurs).

L'intervention du LRPE consiste en une assistance scientifique permanente sur tous les aspects relevant de la sécurité : matériel roulant, infrastructures, circuits électroniques, logiciels..., dans une étroite synergie entre ingénieurs de MATRA et chercheurs du Laboratoire. La plupart de ceux-ci seront embauchés par MATRA et la compagnie d'exploitation du métro. 1983 est marqué par la première mise en circulation du V.A.L. Après quoi, le métro étant devenu opérationnel, les interventions du Laboratoire sur ce sujet vont se limiter à des perfectionnements augmentant, toujours plus, sécurité et efficacité de l'exploitation. Ce métro est une réalisation emblématique qui doit beaucoup à l'extraordinaire inventivité de R.Gabillard et qui va lui valoir de recevoir de

nombreuses distinctions honorifiques et dans les médias le titre de "Père du V.A.L.". C'est, à coup sûr, l'un des meilleurs exemples, en France, de débouché de la recherche universitaire. Concrètement, ce succès va occasionner une retombée de taille avec l'implantation à Villeneuve d'Ascq de l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS). Et un "Groupement Régional de Recherches dans les Transports" (GRRT) va être constitué entre les Universités de Lille, Valenciennes, l'INRETS, les écoles d'ingénieurs locales et la profession, notamment Alstom et la SNCF, pour impulser et féliciter les activités régionales de recherche et de transfert dans le domaine des transports.

A partir de 1987 une nouvelle voie de recherche est mise en route. Elle porte sur la cinémométrie Doppler et consiste à mesurer la vitesse et le parcours d'un véhicule en utilisant la rétro diffusion d'ondes électromagnétiques par le défilement du sol. Cette activité, qui a pour partenaires la SNCF, la Région, Renault Véhicules Industriels..., va réunir pendant six ans, dans une étroite collaboration, le laboratoire de E.Constant (équipe de J.Vindevoghel) pour la partie Hyperfréquences, le LRPE pour la partie traitement du signal ( J. Baudet et l'Atelier d'Electronique) et l'INRETS. Redoutable challenge, en raison du caractère de quasi bruit du signal de rétro diffusion, le projet aboutit à un véritable succès avec de mémorables essais ferroviaires sur la ligne Paris-Le Havre, et avec la mise en place d'un transfert de savoir faire au Centre Régional de l'Innovation et de Transfert Technologique (CRITT) de Lannion pour adaptation du procédé aux tracteurs agricoles. Pour plus de détails on pourra consulter l'excellente synthèse fournie sur ce cinémomètre par la HDR de J. Baudet (1998).

Au début des années 90 apparaît un autre

sujet qui va, lui aussi, connaître un important développement : les balises de localisation. Il s'agit, en l'occurrence, de balises entièrement passives, donc ayant une grande immunité aux brouillages et parasites, qui permettent la transmission de messages entre le sol et un véhicule pour localiser celui-ci. Engagé sous le patronage de MATRA et de la SNCF ce thème va entraîner, pour plusieurs années, R.Gabillard, C. Semet (alors Ingénieur de Recherche au LRPE) et leurs thésards dans les prestigieux projets "METEOR" de la RATP et "ASTREE" de la SNCF.

Dans toute cette succession de travaux on notera le rôle éminemment moteur de R.Gabillard, en tant qu'interlocuteur très écouté auprès de nombre de décideurs des organismes publics et des entreprises travaillant dans ce domaine des transports. C'est cette notoriété qui le fait désigner comme expert ou comme conseiller dans différents grands chantiers

nationaux et internationaux, en particulier celui du Tunnel sous la Manche.

Bien que tournée vers des applications immédiates, cette recherche tous azimuts dans le domaine des transports présente beaucoup d'aspects scientifiques très originaux sur les systèmes et le traitement du signal. Il en a résulté un grand nombre de thèses d'Ingénieur Docteur ou de 3ème cycle, ou d'Université, dont celles de : P.J. Beurent ( 1974 ), J.P. Lestamps (1974), J.F.Dhalluin (1983), C. Magniez (1985), Watguiri (1986), M. ElKoursi (1986), A.Mahmelghi (1987), F. Baranowski (1987), S.Magniez-Baranowski (1988), N. ElSaleous (1990), Y. Nguyen (1991), H. Wang (1992), J.ElHouma (1992), M. Hamzaoui (1992), P.Lecocq (1992), A. Jbara (1993), M. Ghazli (1994), L. Kafouni (1994), A. Woesteland (1994), P. Meganck (1995)....

### 3.2.3 Les sports nautiques .

Il peut paraître surprenant pour un laboratoire universitaire de faire des sports nautiques un thème de recherche. Quand il s'agit du LRPE cela va de soi car le bouillonnement d'idées s'y arrête rarement, même dans les loisirs et, en particulier, pour la voile dont R.Gabillard est un grand adepte. C'est ainsi qu'en 1978, les microprocesseurs étant en plein essor et le LRPE s'étant déjà forgé une solide expérience en la matière, R.Gabillard a l'idée d'utiliser cette électronique révolutionnaire pour instituer le "monitoring" dans les sports nautiques. Son objectif est de faire du bateau et de l'homme à bord une véritable centrale de mesures permettant de corriger et parfaire, le plus souvent en temps réel, leur préparation à la compétition. Cette activité va s'étendre sur cinq années et

s'appliquer aux entraînements des équipes de France de voile et de canoë-kayak dans le cadre d'évènements prestigieux, notamment l'America Cup et les Jeux olympiques. Des retombées industrielles s'en suivent concernant la météorologie marine et les centrales de navigation. La partie scientifique revient à R.Gabillard et F. Louage tandis que J. Baudet et son Atelier d'Electronique assurent les réalisations techniques. Tous ces travaux constituent autant d'études intéressantes pour des thèses d'Ingénieur Docteur, 3ème cycle ou Université, notamment celles de : B. Gabillard (1981), C.Devaux (1981), Clavel (1981), A. Verney (1982), Mery (1983), A. Grare (1985), B. Lourme (1985) ...



### 3.2.4 La compatibilité électromagnétique.

Pour un laboratoire comme le LRPE, baignant dès l'origine dans l'électromagnétisme et la propagation des ondes, il était dans l'ordre des choses que la compatibilité électromagnétique (CEM) devienne dans la décennie 80, et surtout dans la décennie 90, un axe de recherche majeur. Dans ce domaine l'évolution suivie par le LRPE reflète directement l'évolution ambiante de la communauté scientifique. L'étude des perturbations d'origine électromagnétique dans les systèmes de transmission et appareils électroniques n'a acquis, en effet, que récemment ses lettres de noblesse et sa reconnaissance comme discipline scientifique à part entière. Historiquement, le tout début de l'activité CEM du LRPE remonte à 1970 quand, dans le cadre d'un contrat avec le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA), B.Démoulin est amené à étudier des câbles à haute immunité de blindage pour la mesure de courants minuscules dans les réacteurs nucléaires. Cette étude va faire l'objet de son DEA et de sa thèse de 3ème cycle (1973). Ensuite, répondant à une demande du Centre de Recherche des Charbonnages de France (CERCHAR), B.Démoulin poursuit ses investigations en cherchant à faire du défaut de blindage des tresses de câbles un moyen de transmission. Cette étude aboutit à la réalisation d'un câble spécial, le " CERLIL ", à tresse optimisée pour avoir un bon rayonnement et une faible atténuation, avec un système complet de transmission à 7 MHz, le tout conduisant à sa thèse d'Etat en 1981. C'est à cette date que les milieux industriels et militaires prennent soudain un intérêt particulier pour les questions de blindage et que, à l'instigation de P.Degauque, se tient le 1er congrès national de CEM. Celle-ci, devenant une préoccupation générale, va, dès lors, constituer pour B. Démoulin son axe majeur de recherche et l'entraîner de développements en développements. Le LRPE va ainsi acquérir une position d'expertise incontournable qui va trouver son couronnement avec l'avènement des normes réglementant la CEM, et encore tout dernièrement, en 1996, lorsque paraissent les directives européennes en la matière.

Le groupe de recherche, dont B.Démoulin est devenu naturellement le chef de file, va couvrir trois grands thèmes qui, bien que spécifiques de la CEM, sont dans la droite ligne de la thématique générale du LRPE : les bancs de mesure, la théorie des couplages et la sensibilité des composants électroniques. La partie "mesures", d'abord focalisée sur l'impédance de transfert caractérisant l'efficacité du blindage des câbles, s'enrichit progressivement d'un vaste ensemble de métrologie. C'est ainsi que, de 1990 à 1993, est aménagé au rez-de-chaussée du bâtiment P3 un centre de ressources d'une superficie de 900 m<sup>2</sup>, comportant une chambre anéchoïque et une chambre réverbérante à brassage de modes qui placent le laboratoire au meilleur niveau mondial. Il faut, à ce propos, souligner l'aide particulièrement précieuse apportée dans la mise en oeuvre de ces équipements de haute volée par les ingénieurs de l'équipe que sont C.Semet et L. Koné. Avec l'étude des couplages, c'est-à-dire des phénomènes régissant l'agression à travers un blindage d'un rayonnement électromagnétique sur le cœur d'un équipement, les chercheurs de B. Démoulin s'attaquent à des problèmes particulièrement ardu, allant jusqu'à des topologies complexes comme les lignes multifilaires, les faisceaux et réseaux de câbles ... Quant à l'étude de la sensibilité des composants électroniques, s'y plonger requiert à la fois d'être un électronicien averti, au faite de la technologie, de la physique et du fonctionnement des circuits, et d'être un spécialiste des mécanismes électromagnétiques régissant l'entrée des agressions sur ces circuits. Il faut amplement souligner combien est profitable dans ces investigations l'expertise en matière de composants et circuits apportée par J. Baudet. Une partie de sa HDR va, de ce fait, y être consacrée. Les sollicitations faites au LRPE sur ces thèmes émanent de tous les horizons. Les plus nombreuses sont pour l'aéronautique, le CEA, le RER parisien. Il s'en suit un nombre impressionnant de thèses de 3ème cycle ou Université (\*) et de thèses d'Etat ou HDR (\*\*), dont celles de : S.E.Nader (\*1980), G.Chandesris (\*1981), M.Heddebaut

(\*1983), P.Duvinage (\*1984), M.Rifi (\*1987), S. El Assad (\*1987), S. Ficheux (\*1988), A. Zeddami (\*\*1988), L. Koné (\*1989), P.Pignet (\*1990), M.Rochdi (\*1990), A. Ghetreff (\*1991), C. Lardé (\*1991), J.P.Parmantier (\*1991), B. Heddebaut (\*1992), M. Klinger (\*1992), C.Poudroux (\*1992), M. Steinberg (\*1992), P.Besnier (\*1993), B.Coudouro (\*1993), D.Maciel (\*1993), K.Dogbé

(\*1994), C.Opigez-Maréchal (\*1994), M.H.Ranaivoarison (\*1994), P. Wallet (\*1995), N.Lamblain (\*1996), N. Mohamudally (\*1996), D.Warin (\*1996), O. Druant (\*1998), I.Hochart (\*1998), E. Leroux (\*1998), B.Meyniel (\*1998), F. Pez in (\* 1 9 9 8 ), J. B a u d e t ( \*\* 1 9 9 8 ), F.Duchemin(\*1999), Z. Nadir (\*1999) ...

### 3.2.5 Les Télécommunications.

Comme pour la CEM on peut dire que les Télécommunications ont toujours fait partie des thèmes fondamentaux du LRPE. Dès 1966, les travaux effectués dans le cadre de la géophysique avaient pour objectif non seulement la prospection du sous-sol mais aussi la transmission d'informations. Le thème des Télécommunications était déjà en germe mais dans le domaine des très basses fréquences et des très bas débits propres à la géopropagation. La véritable entrée du laboratoire dans les radio-communications hautes fréquences et hyperfréquences se situe vers 1985, dans la continuité des travaux alors effectués dans le domaine des transports. Il s'agit, en effet, de trouver une solution au difficile problème des liaisons sol-véhicule dans les tunnels. Les premiers dispositifs étudiés concernent le métro parisien, dans une collaboration avec l'INRETS et sous un contrat GEC-Alsthom. Ils reposent sur l'utilisation d'un guide rayonnant, dans la bande 2,4-2,5 GHz, posé le long de la voie. Les investigations sur le guide rayonnant vont se poursuivre pendant de nombreuses années. Ce guide d'ondes, baptisé "IAGO", fait d'abord l'objet d'un brevet commun USTL-Alsthom-INRETS. Puis, pendant plusieurs années, Alsthom teste et améliore ce produit et son électronique associée pour qu'il puissent répondre au cahier des charges correspondant à l'environnement "transports ferroviaires". Des résultats tout à fait satisfaisants étant fournis au cours de ces nombreux tests, Alsthom propose alors le système " IAGO " lors des différents appels d'offre faits à travers le monde pour la construction de métros lourds. C'est ainsi qu'une grande retombée industrielle aura lieu

plus tard avec l'implantation de ce système sur la première ligne du métro de Singapour. Celle-ci sera inaugurée en 2003 en ayant le record de longueur parmi tous les réseaux de métros automatiques. Une autre solution est étudiée au LRPE reposant sur l'utilisation de câbles coaxiaux rayonnants et mettant à profit l'expérience acquise par B. Démoulin lors de sa thèse d'Etat. Cette solution peut s'appliquer pour des bandes de fréquences situées en dessous ou au voisinage de 1 Ghz. Elle va avoir pour cadre de développement plusieurs contrats européens.

Une nouvelle étape de l'activité Télécommunications du laboratoire commence au début des années 90 avec l'avènement du téléphone mobile paneuropéen GSM à 900 MHz. Le LRPE se tourne alors vers la propagation libre avec diffraction sur obstacles. D'abord pour les liaisons dans les tunnels, qui sont devenues sa spécialité. Ensuite, cette nouvelle compétence s'étend à tous les types de milieux confinés : galeries de mines, intérieurs des bâtiments, centrales nucléaires ...L'acquisition de cette compétence entraîne la mise en place d'outils de modélisation et d'une instrumentation spécifiquement adaptés aux problèmes de diffraction des propagations multi trajets propres aux milieux confinés. C'est P.Degauque qui en est le manager principal. P. Mariage et M. Finet-Liénard vont venir l'épauler après leurs thèses pour la partie théorique et l'expérimentation de terrain. L'Atelier d'Electronique de J. Baudet, devenu équipe technique à part entière avec D.Degardin et R. Kassi comme principaux collaborateurs, va mettre sur pieds une instrumentation très originale. Ainsi, à partir de 1995, vont

être réalisés le système "CARCOR", effectuant la caractérisation par corrélation du canal de transmission en milieux confinés, et, également, le système "COMOB" pour la mesure des taux d'erreurs en communications mobiles à des débits allant jusqu'à 40 Mbit/s. Avec ces travaux, alliant modulation numérique de la porteuse et propagation multitrajets, l'équipe de P.Degauque se trouve confrontée à une problématique de la transmission radicalement différente de celle qui a prévalu au sein du LRPE au cours de tout son passé. En effet, consacrés à des applications n'utilisant que des transmissions analogiques, les travaux antérieurs du laboratoire se sont déroulés en séparant totalement les études d'électromagnétisme des études de traitement de signal, la condition prédominante d'une bonne transmission étant alors de disposer d'un bon rapport signal sur bruit. Avec les communications numériques multitrajets ce critère du rapport signal sur bruit devient caduque pour assurer l'intégrité de la transmission de l'information car celle-ci est alors étroitement dépendante du risque d'interférences entre bits. Etudes d'électromagnétisme et études de traitement du signal sont alors indissociables. L'immersion de l'équipe de P.Degauque dans les communications numériques fait qu'elle doit maintenant s'intéresser de très près aux techniques de traitement du signal numérique et aux parades permettant de surmonter ces problèmes d'interférences entre symboles. C'est ainsi que

vont être développées, à l'approche de l'an 2000 et surtout après cette date, des travaux faisant intervenir: codage correcteur d'erreurs, entrelacements de bits, techniques multi antennes... , tous ces nouveaux développements étant pratiqués avec le même souci de pragmatisme et d'expérimentation continue sur le terrain que par le passé, et dans la même symbiose avec les grands industriels des transports, en particulier Alstom.

Ce tour d'horizon montre combien a été grande l'évolution du LRPE en matière de Télécommunications, depuis ses débuts, et la faculté d'adaptation dont il a fait preuve en se hissant au cours des dernières années parmi les spécialistes des communications mobiles. Les Télécommunications n'étant devenues un thème à part entière du laboratoire que depuis un peu plus d'une décennie, à l'orée de l'an 2000 le nombre de thèses d'Université (\*) et de HDR (\*\*) soutenues sur ce thème est encore peu important en comparaison de certains des autres thèmes, en particulier la géophysique et la CEM. On y retiendra les noms de : V. Gobin (\*1989), M.Agunuaou (\*1990), O. Benlamlih (\*1991), P. Mariage (\*1992), M. Finet-Liénard (\*1993), F.Labarre (\*1996), J. Vandamme (\*1996), P. Fiorot (\*1998), J.Baudet (\*\*1998), M.Stanislawiak (\*1998), S. Bétrencourt (\*1999), S. Baranowski (\*\*1999)...

### 3.3 Le Laboratoire E. Constant : le " C.H.S. " puis l' " I.E.M.N. " .

#### 3.3.1 Présentation générale :

La transplantation en 1967 du Service d'Electronique de Lille au nouveau campus scientifique d'Annappes donne à E.Constant la possibilité de développer son propre laboratoire, à côté des deux laboratoires de R.Gabillard et A.Lebrun, venant ainsi renforcer le potentiel de recherche en Electronique lillois. Ce jeune laboratoire, intitulé dans un premier temps "Centre

de Recherche sur les Propriétés Hyperfréquences des Milieux Condensés", s'installe au 2ème étage du bâtiment P3, mais, rapidement, va s'étendre aussi sur les 1er et 2ème étages du bâtiment P4. En effet, le Département de Génie Electrique de l'I.U.T., tout nouvellement créé, après avoir occupé le bâtiment P4 de manière provisoire le libère pour s'installer sur

son site définitif du campus d'Annappes, à quelques centaines de mètres. Dans la continuité de ses orientations amorcées à Lille, le laboratoire de E.Constant poursuit ses activités principalement dans trois directions : la spectroscopie des liquides, les études de base des semi-conducteurs et les diodes à avalanche. La spectroscopie est, rappelons le, l'activité de recherche historique du Service d'Electronique. Elle a été scindée en deux branches lors du déménagement à Annappes : étude des corps poreux dans le laboratoire de A.Lebrun et étude des liquides dans le laboratoire de E.Constant. Parallèlement à la poursuite de la spectroscopie, des études de base sur les propriétés physiques des semi-conducteurs viennent de commencer. Il s'agit de travaux sur le silicium suscités par la société L.T.T. , avec l'appui du Ministère de la Défense Nationale (DRET) , et c'est une des premières collaborations industrielles du laboratoire de E.Constant. On est alors en pleine explosion de l'électronique transistorisée et les études de fond s'avèrent indispensables pour mieux appréhender les phénomènes et limitations qui s'y rapportent. Enfin, en ce qui concerne les diodes à avalanche, leur étude vient de faire irruption dans les préoccupations de E.Constant, celui-ci découvrant leurs propriétés oscillatrices lors d'une étude sur leur bruit en avalanche pour un radiomètre de Dick. Cette découverte, faite en même temps qu'aux Etats-Unis, donne au laboratoire une incontestable position de précurseur. Elle va fournir la part la plus la plus importante de son activité pendant plus d'une décennie et fortement contribuer à établir sa notoriété.

Le début des années 70 est la période fondatrice où se constitue l'essentiel du noyau humain du laboratoire. Avec E.Constant, rejoint par Y.Leroy, L.Raczy et G.Salmer, le laboratoire dispose d'un "staff" de quatre jeunes Professeurs, fait rarissime à cette époque où l'individualisme est une règle quasi générale pour tout nouveau Professeur. Leur entente indéfectible va être à la base du formidable développement qui va mener successivement au C.H.S. et à l'I.E.M.N.. Leurs premiers thésards, M.Lefebvre, E.Allamando, R. Fauquembergue, J.L. Vaterkowski, J. Pribetich, B. Boittiaux, D.Decoster, M. Chivé, M. et J.Vindevoghel, P.A.Rolland..., sont les précurseurs de la longue lignée qui va suivre et, pour la plupart, vont

devenir eux-mêmes créateurs d'équipes et de filières de recherche de ce qui va être le "Centre Hyperfréquences et Semi-conducteurs" (C.H.S.). En effet, le laboratoire prend cette nouvelle appellation en 1974 en devenant Unité associée du C.N.R.S. Discipline historique de recherche des électroniciens lillois à travers l'instrumentation de spectroscopie, les "Hyperfréquences" vont constituer la spécialité première du C.H.S. Et celui-ci, en entrant résolument dans la course de la toute nouvelle microélectronique des micro-ondes, à base de silicium et, par la suite, d'Arséniure de Gallium, de Phosphore d'Indium et des composés qui leur sont liés, acquiert sa deuxième spécialité. Ainsi sont fixés les deux axes de recherche, étroitement associés, autour desquels va se développer l'essentiel de l'activité du laboratoire pendant près de vingt ans. Celui-ci va connaître une croissance considérable et, ainsi, au début des années 90 son effectif dépasse 150 personnes, dont presque la moitié sont des thésards. Il va comporter jusqu'à une dizaine d'équipes couvrant à peu près tous les secteurs de la microélectronique micro-onde, des matériaux de base aux systèmes de télécommunications et d'instrumentation médicale ou domotique, en passant par toutes les sortes de composants diodes et transistors au fur et à mesure de leurs apparitions.

Très tôt conscient que le développement de son laboratoire allait imposer une organisation stricte des équipements lourds E.Constant va payer inlassablement de sa personne pour mettre sur pieds deux services communs dotés à demeure d'un personnel spécialisé. Le premier en date, implanté dès 1970 au bâtiment P4, prend le nom de " Centrale de Caractérisation ". Il va être placé sous la responsabilité de E.Playez, ingénieur CNAM, et comportera jusqu'à quatre personnes (E. Delos, S. Lepillet,...). La caractérisation, dont il s'agit, consiste à mesurer les caractéristiques électriques des composants étudiés en régime continu et en régime sinusoïdal, et ce sur le plus large spectre fréquentiel possible. Pour le domaine des hyperfréquences dans lequel est spécialisé le laboratoire c'est sur la matrice "répartition", les paramètres S pour les anglo-saxons, c'est-à-dire l'ensemble de leurs coefficients de réflexion et de transfert, que repose cette caractérisation. A la fin des années 60 apparaissent les premières versions



commerciales de l'appareil qui, par la suite, va s'imposer comme l'outil incontournable de ce type de mesures : l'analyseur de réseaux. C'est ainsi que la Centrale de Caractérisation du CHS en se dotant du premier modèle construit par Hewlett-Packard, le HP 8410, débute un parc d'équipements qui, ensuite, va être régulièrement multiplié, complété et renouvelé, toujours à la pointe du progrès en matière d'automatisation, de précision et de montée en fréquence. C'est ainsi qu'au fil du renouvellement des familles d'analyseurs de réseaux le spectre couvert s'étendra successivement de 18 GHz à 40 GHz, puis 75GHz, 115 GHz ...etc.

L'autre service commun concerne la technologie microélectronique. Sa véritable mise en place va être plus tardive que pour la Centrale de Caractérisation bien que, au début des années 70, une bonne part des études du laboratoire porte déjà sur les semi-conducteurs. Mais les études du moment, sur le silicium ou les diodes à avalanche, sont alors effectuées avec un fort appui de l'extérieur pour l'essentiel de la technologie, la contribution du CHS se limitant à des interventions de préparation ou montage des échantillons avant de procéder à leurs mesures. A partir de la fin des années 60 et sur le début de la décennie 70 le CHS se dote progressivement de fours à diffusion, de fours de recuit, de bancs de photo réduction et photo répétition, d'aligneurs de masque à Ultra Violet, de micro soudeuses, de bâtis de métallisation sous vide... La plupart de ces matériels sont de récupération et c'est L.Raczy qui, grâce à d'excellentes relations avec les professionnels des composants électroniques, en assure la recherche et l'acquisition. J.Vanbremeersch, ingénieur CNAM lui aussi, va avoir la lourde responsabilité de superviser leur bonne marche et, par la suite, les nombreuses personnes, techniciens et ingénieurs, recrutées à cet effet. Ces équipements sont particulièrement opportuns car ils permettent au laboratoire d'effectuer un précieux apprentissage des opérations terminales sur les faces avant et arrière des composants actifs à semiconducteurs fournis en état brut, en particulier ceux provenant des laboratoires industriels dans le cadre des recherches, alors en cours, sur les diodes à avalanche. C'est grâce,

aussi, à l'un des bâtis sous vide nouvellement acquis que, sous la direction de L.Raczy et en autonomie complète du laboratoire, sont effectuées des premières réalisations de structures en couches minces isolant-métal-isolant. Leur étude va révéler de curieux phénomènes de bruit (thèse 3ème cycle Y. Brun, 1972). L'apprentissage à la technologie des couches minces, avec ces premiers équipements, se poursuit ainsi sur près d'une décennie, faisant franchir au laboratoire des étapes technologiques très importantes pour son avenir dans les composants. A ce propos, on ne peut oublier les mémorables travaux exploratoires effectués sur la technologie du contact métal-semiconducteur par Liu Chang Yong, étudiant chinois venu au CHS préparer une thèse d'Université. Celle-ci, achevée en 1982, après un labeur acharné occupant journées et nuits(!), va donner lieu à d'intéressantes réalisations en matière de limiteurs et modulateurs hyperfréquences à base d'Arséniure de Gallium.

C'est en 1981 que prend officiellement corps la "Centrale de Technologie". Par décision du CNRS le CHS devient "Pôle National de Technologie Globale" et, par un financement commun de cet organisme et des trois ministères de l'Enseignement Supérieur, de l'Industrie, de la Défense, 300 m<sup>2</sup> du 2ème étage du bâtiment P3 sont équipés de salles blanches et locaux techniques pour réunir dans une même enceinte l'ensemble des moyens de technologie du laboratoire. Dans les années qui suivent des bâtis de dépôt et gravure plasma viennent compléter l'équipement de "technologie froide" permettant d'élaborer à partir des couches actives fournies extérieurement la plupart des composants microélectroniques et circuits hyperfréquences. Un microscope électronique à balayage Cambridge est ajouté à cet ensemble, indispensable outil de contrôle et d'analyse des réalisations. En 1985, grâce à une nouvelle décision de ses autorités de tutelle, le CHS peut faire l'acquisition du maillon qui manquait jusque là : un bâti d'épitaxie par jets moléculaires à sources solides. Là encore, L.Raczy joue un rôle important dans les choix qui sont faits auprès du constructeur, en l'occurrence: RIBER Avec ce bâti d'épitaxie c'est l'élaboration complète, de A jusqu'à

Z, des composants de la famille des Arséniures qui devient possible. Le CHS dispose alors de sa propre "fonderie". Les sujets de recherche à fort contenu technologique se multipliant à grande vitesse et devenant de plus en plus exigeants, la Centrale de Technologie se trouve dans une course permanente pour la mise à niveau des équipements, leur accroissement et l'accroissement du personnel qui atteint la demi-douzaine au début de la décennie 90. Cette période est assez délicate car face à cette croissance permanente la Centrale de Technologie commence à être à l'étroit dans ses locaux du bâtiment P3 et il devient urgent de trouver une solution d'agrandissement. Celle-ci se présente très opportunément avec, en 1992, la création de l' "Institut d'Electronique et de Microélectronique du Nord" (IEMN) et la construction sur le campus même de Villeneuve d'Ascq d'un vaste laboratoire comportant 1000 m<sup>2</sup> de salles blanches pour accueillir la technologie.

L'idée directrice de cette création de l'IEMN est de fédérer dans un vaste ensemble l'essentiel des forces régionales de recherche dans le domaine de l'électronique et de sa physique. Réunir dans une même synergie la micro-électronique micro-ondes du CHS, la partie physique des semi-conducteurs de l'Institut Supérieur d'Electronique du Nord (ISEN) et la partie ondes acoustiques de l'Université de Valenciennes apparaît aux quatre protagonistes respectifs de cette fédération que sont E.Constant, G.Salmer, M. Lannoo et C. Bruneel comme la condition incontournable pour atteindre un niveau européen, voire mondial. La conjugaison de leurs volontés et les indispensables appuis des instances régionales et nationales de recherche permettent à cet ambitieux projet de se réaliser. Constitué Unité Mixte de Recherche CNRS, l'IEMN regroupe ainsi le CHS de l'Université de Lille I, le Laboratoire d'Opto-Acousto-Electronique de l'Université de Valenciennes et le Laboratoire de Physique du Solide et Ultrasons de l'ISEN avec comme premiers responsables respectifs G.Salmer, C.Bruneel et M. Lannoo, et c'est à E.Constant que revient la tâche d'être Directeur de l'ensemble. La mise sur pieds de l'IEMN est l'occasion d'un nouveau bon en avant des équipements technologiques, représentant d'imposants inves-

tissements. Les plus importants consistent en l'installation d'un autre bâti d'épitaxie par jets moléculaires RIBER, cette fois à sources gazeuses et plus particulièrement dédié à la famille des phosphures, l'introduction du masquage direct par faisceau électronique avec un nano masqueur LEICA, et l'installation d'un implan-teur ionique EATON. Le doublement du personnel de la Centrale de Technologie accompagne opportunément l'afflux des équipements. En 1995 celui-ci atteint la douzaine.

Cette envolée, liée à la création de l'IEMN, va se poursuivre dans cette décennie 90 par l'engagement résolu de plusieurs chercheurs dans la voie révolutionnaire des "Microsystèmes" associant tout à la fois micro-mécanique, microélectronique, micro optique... dans des dispositifs dont le dimensionnement voisine le micron. C'est dans le cadre de cette nouvelle voie que, à partir de 1994, l'IEMN va apporter une contribution essentielle au développement d'une antenne CNRS au Japon, appelée le LIMMS (Laboratory for Integrated Micro-Mechatronic Systems), sur le site de l'Université de Tokyo. C'est encore dans ce cadre que, plus tard, vers la fin des années 90, il va être procédé à l'installation d'une extension de la Centrale de Technologie portant à 1500 m<sup>2</sup> la surface des salles propres, avec de nouveaux équipements exclusivement dédiés aux microsystèmes sur Silicium.

Ce survol rapide du cadre général et des grandes orientations du CHS, puis, à sa suite, de l'IEMN sur trente années d'histoire n'est représentatif que de la "face visible" du laboratoire. Or des centaines de personnes y sont venues, y sont restées ou en sont parties : chercheurs, enseignants, thésards, ingénieurs, techniciens et administratifs. Ils sont la "face cachée" du laboratoire avec toute l'activité sous-jacente que cela suppose. Cette "face cachée" ce sont aussi les multiples équipes de recherche qui se sont constituées au fil du temps et des événements, avec leurs propres démarches scientifiques et leurs propres notoriétés, chacune étant un laboratoire à part entière.... dans le Laboratoire. C'est ce deuxième aspect que nous nous efforçons de montrer dans ce qui suit par une présentation à la fois chronologique et à la fois thématique, et en dégagant comment, autour de grands thè-

mes, se sont constitués équipes et groupements d'équipes.

C'est ainsi que nous allons voir, maintenant, plus en détails comment se sont développés les travaux :

- sur les matériaux, avec les diélectriques liquides, les propriétés du Silicium puis des composés III-V, les cristaux liquides, les polymères électroactifs, les supraconducteurs haute température, les processus de réalisation technologiques puis la micro technologie et les micro capteurs.

- sur les composants, avec les diodes oscillatrices à avalanche ou Gunn, les composants quantiques et TéraHertz, et les multiples

familles de transistors à effet de champ et bipolaires.

- sur les circuits et les systèmes micro-électroniques micro-ondes, dans le cadre de multiples applications de transmissions, d'identification, de localisation, de contrôle, d'imagerie..., ayant toutes comme point commun l'utilisation d'ondes hyperfréquences.

- enfin, sur deux domaines un peu à part, mais néanmoins étroitement liés à l'ensemble de l'activité du Laboratoire, avec l'optoélectronique et l'électromagnétisme des circuits.

### 3.3.2 De la Spectroscopie Diélectrique aux matériaux pour Microélectronique

Comme il a déjà été évoqué plus haut le déménagement sur le campus d'Annappes en 1967 est l'occasion d'un partage en deux parties des études de Spectroscopie Diélectrique, l'activité de recherche historique des Electroniciens lillois : au Laboratoire de A.Lebrun les corps poreux et au Laboratoire de E.Constant les liquides. La spectroscopie des liquides a constitué antérieurement à 1967 le domaine de prédilection de beaucoup de thèses lilloises mais elle a principalement porté sur la liaison hydrogène dans certains alcools et acides. Le nouvel objectif visé par E.Constant est de reprendre à la base l'étude de la dynamique moléculaire à partir de molécules de formes simples ( chloroforme, bromoforme, iodométhane, acétonitrile...). La molécule dite "toupie symétrique" va avoir les faveurs de ces nouvelles investigations dont le début est concrétisé par la thèse d'Etat de Y.Leroy (1967) et la fin par les thèses d'Etat de R.Fauquemberg (1977) et M.Constant-Flodrops (1978). La plage fréquentielle de mesure est fortement étendue dans sa partie haute pour couvrir largement le domaine de la relaxation dipolaire. Le parc d'instrumentation de spectroscopie d'absorption dipolaire du Laboratoire de E Constant est, de ce fait, renforcé dans la gamme de l'infra rouge lointain. L'extraction de la permittivité complexe ( $\epsilon^*$ ) est

alors pratiquée par mesure de TOS jusqu'à 10 GHz, par réflectométrie jusqu'à 70 GHz et par interférométrie de type Michelson avec guides surdimensionnés de 70 à 300 GHz. Pour la gamme de 300 GHz à l'infrarouge lointain la mesure porte sur l'indice de réfraction ( $n$ ) et le coefficient d'absorption ( $\kappa$ ) et tout un arsenal de spectromètres a été mis sur pieds à cet effet (CAMECA, PERKINS-ELMER, BECKMAN...). Grâce à ces équipements le CHS va être le premier laboratoire à mettre en évidence expérimentalement le retour à la transparence des liquides polaires dans le domaine de l'infrarouge lointain, comportement apportant un démenti formel aux prédictions de la célèbre théorie relaxationnelle de Debye. L'interprétation des mesures fait un grand pas à partir du moment où le laboratoire se met à utiliser pour ses développements théoriques la fonction de corrélation du moment dipolaire, reliée à l'absorption par une transformée de Fourier. Un affinement supplémentaire est encore apporté en y adjoignant le formalisme de la fonction mémoire. Enfin, ultime perfectionnement, il est fait appel aux techniques de type Monte Carlo, alors en tout début de développement au laboratoire, pour compléter l'arsenal d'analyse. Tous ces efforts vont s'avérer payants pour le thème des diélectriques liquides. Ils vont permettre de

mettre au clair les phénomènes observés en infrarouge lointain, comme l'absorption excédentaire et le retour à la transparence. Ce dernier étant finalement attribué à un effet inertiel dû au fait qu'aux temps courts l'inertie de la molécule empêche celle-ci de s'orienter dans le champ électrique. Au titre de prolongements de l'ensemble de ces études il importe de signaler, d'une part, les comparaisons tout à fait instructives et novatrices obtenues sur la phase liquide des molécules toupies symétriques en complétant les investigations spectroscopiques du CHS par celles faites avec le laboratoire de Spectroscopie Infrarouge et Raman (LASIR) de l'UFR de Chimie, dans le cadre des thèses de M. Constant-Flodrops, et, d'autre part, l'extension des investigations aux molécules toupies symétriques mais, cette fois, en phase gazeuse comprimée, dans le cadre de la thèse d'Etat de F. Bliot. Pour en terminer avec cet épisode des liquides il importe, aussi, de noter combien tout ce perfectionnement des mesures, de leur exploitation et des traitements théoriques des phénomènes électroniques de la matière constitue un très utile apprentissage pour le futur. Cela va grandement faciliter le passage du laboratoire au domaine des diodes et des transistors micro-ondes et à leurs multiples problèmes sous-jacents du transport électronique dans les semi-conducteurs. Dans l'ensemble de travaux se rattachant de près et moins près à cet approfondissement des phénomènes de relaxation dipolaire on peut retenir les thèses d'Ingénieur-Docteur ou 3ème cycle (\*) et thèses d'Etat (\*\*) de : J. L. Barrois (\*1967), Y. Leroy (\*\*1967), R. Fauquemberg (\*1968, \*\*1977), P. Desplanques (\*1969, \*\*1974), P. Descheerder (\* ), Mme D. Lobry (\*1972), D. Decoster (\*1973), M. Constant-Flodrops (\*1972, \*\*1978), F. Bliot (\*\*1973)...

C'est tout à fait dans la continuité des études de spectroscopie diélectrique décrites ci-dessus que vient se greffer, à partir de 1971, l'activité sur les propriétés de transport électronique dans le Silicium. La disponibilité d'une instrumentation de spectroscopie couvrant tout le spectre de fréquences jusqu'à l'infra rouge lointain et l'expérience acquise dans le maniement des concepts théoriques ( temps de relaxation, fonction de corrélation ...) sont deux atouts qui expliquent ce passage relativement aisé d'un

domaine à l'autre. La circonstance déclenchante étant une forte incitation de la Défense Nationale, en l'occurrence la DRET, pour que le Laboratoire s'engage sur ce sujet du Silicium, dans une étroite collaboration avec l'établissement de L.T.T. de Conflans-Ste Honorine. Y. Leroy, qui a passé sa thèse d'Etat en spectroscopie diélectrique liquide et désire se reconverter, prend la tête d'une petite équipe. E. Constant, plongé depuis 1965 dans les semi-conducteurs par ses travaux sur les diodes à avalanche, s'intéresse immédiatement de près à cette nouvelle activité dont l'importance fondamentale ne lui échappe pas. Les études commencent par le régime des champs électriques faibles avec des mesures de transmission en gammes millimétriques et infra rouge lointain. La suite concerne le régime des champs forts, particulièrement à l'ordre du jour pour aider les études sur les diodes à avalanche menées parallèlement au Laboratoire. Mesures de conductivité complexe mais aussi, fait nouveau, mesures de bruit sont exploitées pour connaître les paramètres usuels que sont le temps de relaxation du moment et le temps de relaxation de l'énergie. Outre ces aspects spécifiquement matériaux, quelques travaux relatifs à des structures N+N N+ utilisées en modulateurs et limiteurs hyperfréquences constituent un fructueux apprentissage pour les caractérisations et simulations fonctionnelles de composants. La méthode de simulation de Monte-Carlo, mise à profit par R. Fauquemberg dans le cas des diélectriques liquides, trouve avec le Silicium un autre terrain de développement. Il va être ainsi possible de traiter la dynamique de transport des porteurs (vitesse, énergie) et de remonter aux paramètres statistiques du matériau ( conductivité, coefficient de diffusion ). Dès 1976, J. Zimmerman s'implique fortement dans cette activité. Un long séjour post-doctoral à l'Université du Colorado lui permet de faire des échanges d'expériences avec les américains. A partir du tout début des années 80, lui et R. Fauquemberg vont se trouver à la pointe de l'activité " Simulation Monte-Carlo " des composants hyperfréquences, diodes et transistors à base de Silicium et surtout à base de matériaux III-V, activité qui va constituer un élément important de la notoriété du Laboratoire. Les thèses d'Ingénieur-Docteur ou 3ème cycle (\*) et thèses d'Etat (\*\*) directement



liées à cet "intermédiaire Silicium" de la décennie 70 sont relativement peu nombreuses mais, par contre, sont très riches d'aspects fondamentaux préfigurant les études ultérieures, cette fois très nombreuses, qui vont concerner les matériaux et composants III-V. On retiendra, en particulier, celles de: M.Vindevoghel (\*1973), J.Zimmerman (\*1975,\*\*1980), S. Bonfils (\*1976), Y. Becquelin (\*1977), B. Boittiaux (\*\*1978), J.Vindevoghel (\*\*1980) ...

C'est aussi dans la pleine continuité de l'activité "Spectroscopie" du CHS que vient s'ajouter, à partir de 1973, l'étude des cristaux liquides. Ce thème, comme nous l'avons évoqué précédemment en décrivant les activités du Laboratoire de A.Lebrun, est l'occasion de la mise sur pieds d'une équipe mixte réunissant les compétences de ce laboratoire à celles du CHS. Cette équipe mixte, suscitée à la base par E.Constant, a pour mentors A.Chapoton et J.M.Wacrenier et, comme nous l'avons vu, va être le creuset des nombreux travaux ayant pour protagonistes D. Lippens, J.P. Parneix, J.Depret, R. Njeumo, A.R. Zounon, M.Bouamza, D.Decoster, C. Druon, C.Legrand ... A l'époque, les cristaux liquides les plus en pointe sont ceux dits "nématiques" et "smectiques". Ils présentent une phase intermédiaire entre phase liquide et phase solide. L'anisotropie de leurs paramètres physiques est à la base d'un considérable champ d'applications dans le domaine des afficheurs et des écrans plats. Le succès remporté par ces applications au cours des décennies qui ont suivi et la large diffusion commerciale qu'elles connaissent maintenant montrent la pertinence du choix de cette voie de recherche par E.Constant. Il faut également souligner les capacités hors pair en équipements expérimentaux dont disposent alors le laboratoire de A.Lebrun et le CHS pour couvrir l'ensemble du spectre fréquentiel : ponts de mesures, analyseurs de réseaux, spectromètres submillimétriques, spectromètres infra rouge lointain ...etc. Dans une large investigation de la faculté des cristaux liquides à s'orienter sous l'action d'une surface spécialement traitée ou sous l'action d'un champ magnétique les chercheurs des deux laboratoires rivalisent d'ingéniosité pour mettre au point des cellules et dispositifs de mesure adaptés à

tous les cas de figures. La haute spécificité de la préparation et de la connaissance des propriétés structurales de ces substances impose des collaborations étroites. Avec le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, avec le Collège de France (Prof. Billard), avec le Centre Paul Pascal de Bordeaux, avec le Laboratoire Central de Recherches de Thomson-CSF d'Orsay, et, aussi, localement, sur le site de LilleI, avec le Laboratoire de Dynamique et Structures des Matériaux Moléculaires (N.Isaert) et avec le LASIR (M.Constant).

L'étude des cristaux liquides passe entièrement au CHS en 1980, lors du départ en retraite de A.Lebrun. C'est une des activités de l'équipe " Nouveaux Matériaux " dont A.Chapoton va être pour longtemps le principal animateur. Comme on va le voir dans ce qui suit cette équipe va se disperser, J.P. Parneix partant en 1988 à l'Université de Bordeaux, D. Lippens, D.Decoster et C. Druon effectuant des reconversions thématiques à l'intérieur même du CHS. C. Legrand se trouve être le dernier à travailler dans ce domaine avec les nouvelles substances dites " ferroélectriques " et à explorer les perspectives qu'elles ouvrent pour l'affichage à cadence rapide. Le départ de C. Legrand, vers 1994, à l'Université Calais-Dunkerque Côte d'Opale et le transfert de l'étude des cristaux liquides au Laboratoire des Matériaux pour l'Electronique (LEMCEL) de cette jeune Université mettent un point final à cette activité dans le cadre du CHS devenu, entre temps, IEMN.

Comme on a pu le constater dans ce qui précède, l'étude des cristaux liquides a marqué une évolution importante dans la démarche de recherche du CHS, celle-ci passant d'un certain académisme (physique moléculaire) à des préoccupations d'applications électroniques (affichage et écrans plats). Bénéficiant des progrès considérables accomplis par les chimistes en matière de synthèse des matériaux organiques, cette évolution vers les applications va se poursuivre et s'amplifier au sein de l'équipe "Nouveaux Matériaux" avec l'exploration de la nouvelle voie des "Polymères Electroactifs". Les travaux relatés dans les lignes qui suivent constituent les prémices de cette électronique orga-

nique moléculaire prédite comme possible révolution technologique du 21ème siècle.

Dans un premier temps ce sont les propriétés d'absorbant micro-onde qui focalisent ces travaux. Il s'agit d'examiner les applications militaires de furtivité liées aux peintures à base de polymères conducteurs. Ce sujet fait l'objet des thèses d'Université de S. Villers (\*1985), N.Contanceau-Monteil (\*1989, Paris VI), J.J.Bonte (\*1990) et de la thèse d'Etat de M.El.Kadiri (\*\*1986). J.P. Parneix, qui, dans l'équipe de A.Chapoton, s'est particulièrement consacré à l'encadrement de ces thèses, est nommé Professeur à l'Université de Bordeaux en 1988. Il va poursuivre cette voie de recherche dans son nouveau laboratoire et A.Chapoton décide de réorienter les travaux lillois sur les polymères électroactifs en direction des composants électroniques, à savoir : les diodes électroluminescentes et les transistors à effet de champ à grille isolée du type MISFET. La facilité de réalisation de couches minces par utilisation d'une simple tournette, le faible coût et la possibilité d'extension à de grandes surfaces sont autant de motivations pour entreprendre cette nouvelle voie de recherche. L'objectif ultime est de mettre en œuvre une technologie pour écrans plats, alternative de celle reposant sur les cristaux liquides et sans l'inconvénient de l'angle critique d'observation propre à ces derniers. Les difficultés majeures vont se situer dans la réalisation des contacts et dans la rapidité de dégradation du matériau par l'atmosphère. Tout un ensemble de collaborations est mis sur pieds. Avec les chimistes de l'ENSC de Montpellier, le LRPME de Cergy-Pontoise, Alcatel Marcoussis et Thomson, le LAMAC de Maubeuge, le LPM d'Orsay, le LEMCEL de Calais...etc. En interne, à partir de 1992, ces travaux sont l'occasion d'un rapprochement dans le cadre de l'IEMN entre l'équipe " Nouveaux Matériaux " et l'équipe de D. Vuillaume du groupe physique de l'ISEN. D.Vuillaume s'est, lui aussi, lancé dans l'étude des films organiques. Son objectif est de réaliser des composants électroniques à couches actives monomoléculaires. Sa démarche, plus en amont que celle de A.Chapoton, est tout à fait complémentaire. Le savoir faire de l'équipe "Nouveaux Matériaux" va se traduire par trois thèses d'Université : O. Brihaye (\*1992) et O. Tharaud (\*1998) à propos du MISFET, et K. Lmimouni

(\*1997) pour les diodes électroluminescentes.

Parallèlement à ces travaux concernant la physique et la technologie de composants que l'on peut qualifier de " demain ", l'activité sur les films et matériaux organiques est accompagnée par un foisonnement de travaux annexes concernant leurs propriétés. C'est ainsi que de nouvelles méthodes de caractérisation de la perméabilité, de la permittivité et des constantes de propagation sont mises sur pieds à partir de lignes plaquées réalisées, in situ, en ayant un film du matériau organique lui-même comme substrat. Ce type d'étude relevant d'une approche théorique très élaborée est supervisé par L. Faucon, chercheur chevronné antérieurement membre de l'équipe "Electromagnétisme des Circuits Micro-ondes" du CHS. Deux thèses d'Université en sont l'aboutissement : celles de J.Hinojosa (\*1995) et de E.Glangetas (\*1997). Par ailleurs, dans le cadre de ses collaborations extérieures, l'équipe "Nouveaux Matériaux" est entraînée dans des investigations les plus diverses. C'est ainsi le cas de l'étude effectuée avec l'Ecole des Mines de Douai sur les polymères thermoplastiques en cours de transformation lors de leur extrusion. C'est aussi le cas de l'étude effectuée avec l'INRA et le renfort de l'équipe "Applicateurs Micro-ondes" de M. Chivé à propos du couteau de boucherie "intelligent", apte à distinguer muscles, tendons et graisses. C'est encore le cas de l'étude effectuée avec l'Institut Supérieur des Matériaux du Mans (A.Leméhauté) sur les interactions électromagnétiques liées aux objets à géométrie fractale déterministe. C'est de ces travaux que découlent les thèses d'Université de A.M. Boughriet (\*1997) et L. Nivanen (\*1997).

Ainsi la décennie 90 correspond pour l'équipe "Nouveaux Matériaux" à une large diversification allant d'aspects aussi fondamentaux que les diodes et les transistors sur films organiques jusqu'à des applications très concrètes concernant des domaines parfois inattendus.

La fin de la décennie 90 va être marquée par la refonte et la redéfinition des activités de cette équipe en raison du prochain départ en retraite de A.Chapoton, celui-ci étant programmé pour le tout début des années 2000. L'équipe ne compterait plus que deux chercheurs permanents, et relativement récents : K. Lmimouni et C.Dufour (venant de l'UFR de Physique de Lille)

et entré dans l'IEMN en 1997). Il est alors décidé, au sein de l'IEMN, de regrouper la composante DHS et la composante ISEN de D.Vuillaume dans une équipe unique animée par ce dernier et focalisant essentiellement son activité sur les matériaux et composants moléculaires organiques.

Dans la logique d'exploration systématique de toutes les nouveautés en matière de matériaux susceptibles d'applications électroniques le laboratoire de E.Constant ne pouvait passer à côté de l'engouement soulevé, au cours des années 80, par l'apparition des nouveaux supraconducteurs dits à "haute température critique" (SHTC). C'est la faculté de devenir supraconducteurs à des températures supérieures à celle de l'azote liquide (77K), donc ne nécessitant que des moyens cryogéniques abordables, qui est alors à la base de l'immense intérêt pour ces matériaux. Parmi ceux-ci les oxydes YBaCuO et TiBaCuO vont se révéler les plus accessibles à la fabrication, l'épithaxie par jet moléculaire et l'ablation laser étant les procédés généralement utilisés.

A la fin des années 80 diverses sollicitations extérieures (DRET, programmes européens...) convainquent E.Constant de l'opportunité de lancer quelques chercheurs de son laboratoire dans cette nouvelle voie. J.C. Carru, de la mouvance Wacrenier-Chapoton, récemment sorti de sa thèse d'Etat sur les zéolithes et expérimentateur chevronné, se porte volontaire pour animer un petit groupe pluridisciplinaire auquel l'équipe d'Electromagnétisme des circuits micro-ondes, avec P. Kennis, et l'équipe Composants et dispositifs de puissance micro-ondes, avec Y. Crosnier, vont également apporter leurs concours. La fourniture du matériau sous forme de couches minces sur substrat de MgO ou de saphir est assurée à travers des partenariats avec les laboratoires de Alstom Marcoussis, du LETI à Grenoble, de l'IMEC à Louvain, de Supelec (LGEP), de l'Université de Rennes (LCSIM), ...L'activité du petit groupe de J.C. Carru est consacrée à la caractérisation des propriétés micro-ondes des couches, c'est-à-dire, essentiellement, à l'étude de la température critique, de la transition état isolant-état supraconducteur, de la résistance de surface et de la conductivité complexe en fonction de la

température... Ceci donne lieu à la mise en œuvre de méthodes de mesure et d'extraction particulièrement originales, entraînant la réalisation de cavités spéciales, de résonateurs et filtres en structures micro ruban ou coplanaire, voire de circuits actifs hybrides comportant un transistor (oscillateur réalisé en collaboration avec l'IMEC et le LETI)... Analyses des mesures et extractions des paramètres recherchés, étant donné la particularité des matériaux, constituent un travail théorique difficile alliant simulations électromagnétiques, simulations circuits et simulations systèmes. La réalisation des cellules et composants tests nécessite de la part du CHS, devenu IEMN à partir de 1992, une laborieuse mise au point de techniques de gravures, de prise de contacts et d'implantation non dégradantes pour le supraconducteur. Avec, parallèlement, l'acquisition d'une grande maîtrise des techniques cryogéniques, basées dans un premier temps sur des cryostats à Hélium liquide et, ensuite, sur des cryogénérateurs à Hélium gazeux. Les travaux de l'équipe de J.C. Carru rencontrent nombre de vicissitudes liées soit à la dégradabilité du matériau, soit aux aléas de reproductibilité de la fabrication. Ces difficultés, qui sont éprouvées à travers le monde par la plupart des laboratoires ayant abordé le sujet, vont constituer un sérieux frein au développement pratique de ces nouveaux matériaux par l'industrie microélectronique. Pour les lillois l'aventure va se terminer à l'orée de l'année 2000. Néanmoins, une demi douzaine de thèses d'Université (\*) concrétisent l'expertise ainsi acquise dans le maniement des supraconducteurs à haute température critique. Il s'agit de celles de : D. Chauvel (\*1993), F. Mehri (\*1994), E. Husse (\*1996), P. Lepercq (\*1996), Y. Rollens (\*2000), et A. Achani (\*2000).

Nous allons terminer cette revue des activités dites "matériaux" dans le laboratoire de E.Constant par trois d'entre-elles que l'on pourrait aussi bien placer dans la rubrique des composants semi-conducteurs et dans celle de l'instrumentation. Il s'agit des travaux relatifs à l'épithaxie par jet moléculaire, à la technique d'hydrogénation et à la microtechnique. Bien que dans les trois cas des applications précises soient visées, diodes, transistors, micro capteurs et

autres micro dispositifs, la place occupée par la préoccupation "matériaux" y est très importante. Il ne paraît donc pas déplacé d'en parler ici mais sans perdre de vue que ces activités même si elles ont une forte teneur de recherche amont sont aussi largement conditionnées par leur aval.

Comme nous l'avons vu plus haut, l'installation de l'épitaxie par jet moléculaire (EJM), en 1985, a constitué l'étape terminale de la Centrale de Technologie du laboratoire de E.Constant, apportant la pièce finale à sa panoplie d'équipements et lui permettant de réaliser de A jusqu'à Z, en toute indépendance, une grande variété de composants microélectroniques et de micro dispositifs. On a souligné précédemment le rôle initiateur de L.Raczy dans l'acquisition de ces équipements mais c'est à Y.Druelle, assisté par J.L. Lorriaux qui est ingénieur chimiste de formation, que va revenir la supervision de la marche de cette installation et la responsabilité de mettre en route la réalisation de couches épitaxiées pour composants III-V. Y.Druelle, qui vient de passer sa thèse d'Etat, a toujours montré un goût très développé pour la technologie. Il devient l'interlocuteur privilégié de la firme RIBER, l'entreprise française choisie pour la mise en œuvre des bâtis à ultra vide de cette installation d'EJM. Ce premier équipement comporte une chambre d'épitaxie à sources solides de gallium, arsenic, indium, aluminium et silicium, permettant de réaliser à volonté toutes les couches de composants utilisant la catégorie des composés arséniures. Il sera complété, en 1992 lors de la transformation du CHS en IEMN, par un deuxième équipement disposant de sources gazeuses d'arsine et de phosphine et apportant la possibilité de réaliser, également, les couches nécessaires aux composants utilisant les composés phosphures. Dans toute la phase de mise en route de cette activité d'épitaxie Y.Druelle est sur tous les fronts. Une petite équipe d'ingénieurs et chercheurs est constituée autour de lui. Il s'agit de J.L. Lorriaux, J.L.Codron et X.Wallart. Ceux-ci vont être rejoints plus tard par F. Mollot et Y. Cordier. Par la suite, Y. Druelle étant appelé à d'autres responsabilités (chef du Département Electronique de l'ENIC à partir de 1996), c'est à F. Mollot que revient la tâche d'animer l'équipe d'épitaxie. Les uns et les autres apportent leurs

contributions à la mise sur pieds de méthodes de travail rigoureuses reposant sur tout un ensemble de techniques d'analyses physiques telles que : effet Hall et magnétorésistance, diagramme de diffraction de Rheed, diffraction X, spectroscopie de photoluminescence, spectroscopie de masse (SIMS) ... Il faut souligner la difficulté de la tâche incombant à cette équipe, entre recherche et production. Recherche avec les études amont indispensables à la maîtrise de croissances très complexes, comme celles des couches dites pseudomorphiques sur substrats GaAs ou InP, ou comme celles des couches dites métamorphiques sur substrat GaAs, ou encore comme celles des couches de GaAs dites basse température. Production avec les multiples commandes passées par les différentes équipes du laboratoire pour couvrir des besoins aussi variés que transistors faible bruit, transistors de puissance, transistors de logique rapide, diodes à effet Tunnel résonnant et diodes varactors, lasers solides... Tous ces efforts pour offrir des prestations toujours au meilleur niveau et toute cette disponibilité vont se révéler essentiels pour permettre au laboratoire de E.Constant d'acquiescer un savoir faire particulièrement apprécié et un large rayonnement en matière de composants microélectroniques et optoélectroniques micro-ondes. Le caractère très particulier des travaux de recherche en épitaxie fait que le nombre des thésards attirés par le sujet est plutôt restreint. On retiendra, cependant, les thèses d'Université (\*) passées par : X. Wallart (\*1988), Y. Cordier (\*1992), B. Splingart (\*1993), B.Layati (\*1996), O. Schuler (\*1998), ... Par ailleurs, un peu en marge de l'activité de l'équipe épitaxie, il faut également signaler les thèses d'Université soutenues par N.E. Bourzgui (\*1991) et N.E. Belbounaguia (\*1993) dans le cadre de la caractérisation des couches semiconductrices. Il s'agit d'une méthode novatrice de mesure de magnétorésistance en hyperfréquences et donc sans contact avec l'échantillon. Ces travaux, encadrés essentiellement par C. Druon et P. Tabourier, des proches de la mouvance Chapoton, vont susciter un certain intérêt dans les milieux industriels fabricant couches semiconductrices et composants pour hyperfréquences, en particulier chez PICOGIGA et UMS.

Avec la technique d'hydrogénation on est



en présence de l'exemple type d'une étude fondamentalement amont sur les matériaux. Cette étude est initiée vers la fin des années 80 par E.Constant et va être menée de bout en bout, pendant une décennie, par lui-même dans une coopération étroite avec le laboratoire CNRS de Bellevue de J. Chevallier. Elle va apporter de précieuses indications sur les mécanismes physiques de la neutralisation dans un semi-conducteur des ions silicium par les ions hydrogène à travers la formation du complexe SiH. Jusque là, ce phénomène était surtout considéré comme néfaste par les praticiens des semi-conducteurs en raison de l'instabilité du complexe SiH et de sa propension à se dissocier sous l'effet d'une température élevée, ou d'un champ électrique élevé, ou encore en présence d'un rayonnement UV. E.Constant entreprend de revisiter la question de manière systématique, d'une part pour délimiter clairement les conditions de formation et de dissociation du complexe SiH et les problèmes correspondants de fiabilité, et, d'autre part, pour essayer de tirer parti du phénomène en le maîtrisant et en l'utilisant comme procédé technologique de fabrication de composants microélectroniques et de micro dispositifs. Deux bâtis d'exposition plasma, un pour l'hydrogène et un autre pour son isotope le deutérium, sont conçus avec l'aide du laboratoire de Bellevue et, en 1992, font partie des équipements installés dans la centrale de technologie en accompagnement de la naissance de l'IEMN. Parmi les applications les plus originales explorées on peut retenir : la réalisation de transistors à effet de champ à résistances d'accès ultra réduites, l'amélioration considérable de fiabilité obtenue en remplaçant l'hydrogène par son isotope le deutérium, l'écriture directe sur le matériau par dissociation du complexe SiH avec un masqueur électronique, et, toujours par dissociation du complexe SiH, la réalisation de dosimètre UV faible coût (dans une collaboration avec M. Constant du LASIR). Ces études, hors des "sentiers battus", sont accompagnées par nombre d'analyses reposant sur les moyens de caractérisation physique du laboratoire et aussi par des simulations numériques reproduisant toutes les phases du processus technologique et permettant d'avoir des informations quantitatives sur les grandeurs physiques mises en jeu. Plusieurs thèses de 3ème cycle ou

Université (\*) se succèdent sur le sujet avec, à chaque fois, une bonne dose d'idées nouvelles apportées par E.Constant. Il s'agit des travaux de N. Caglio (\*1989), N. Ng Ching Hing (\*1995), S. Mézière (\*1997), D. Loridant-Bernard (\*1997) et S. Silvestre (\*2001).

Après l'épitaxie par jet moléculaire et l'hydrogénation venons en à la microtechnique, activité du domaine des matériaux la plus jeune du laboratoire, offrant à celui-ci la possibilité de s'insérer dans cette formidable avancée des "micro systèmes", promise pour les années 2000.

C'est l'installation du nouveau laboratoire de l'IEMN qui, en 1992, constitue l'évènement clé du lancement de cette activité. En effet, avec des équipements parmi les plus performants en matière de dépôt, gravure et métallisation, lithographie optique et électronique, contrôle par microscopie électronique, microscopie Tunnel (STM), microscopie à force atomique (AFM),... tous les atouts sont alors réunis pour non seulement faire des composants microélectroniques sophistiqués mais aussi passer à des micro structures complexes, bi dimensionnelles ou tri dimensionnelles, alliant semi-conducteurs, matériaux magnétostrictifs, matériaux piézoélectriques, et combinant tout à la fois fonctions électroniques et mécaniques. Les premières réalisations sont effectuées avec la filière usuelle du laboratoire, c'est-à-dire les semi-conducteurs III-V. Par la suite, à partir de 1999, pour la raison évidente de beaucoup plus larges possibilités de développement industriel, le virage vers la technologie silicium est pris. Il est concrétisé par une extension de la Centrale de Technologie de l'IEMN apportant 400 m<sup>2</sup> supplémentaires de salles blanches. Ces nouvelles ressources technologiques, financées conjointement par le CNRS, la Région et la Communauté Européenne, comportent des équipements de base en matière de fours et de lithographie pour les réalisations de micro dispositifs et capteurs sur silicium.

Il faut aussi rappeler, à propos du développement de cette activité " Microsystèmes ", le rôle stimulant du " LIMMS ", cette antenne du CNRS implantée dans l'Université de Tokyo. A partir de 1995 plusieurs chercheurs du laboratoire vont s'y relayer, en particulier D. Chauvel, D.Collard, P. Gouy... Leur apprentissage va largement contribuer à propager le savoir-faire

des Japonais.

Au cours de cette phase de lancement des travaux sur les microsystèmes les initiatives fusent de tous côtés dans le laboratoire et dans plusieurs équipes, avec des objectifs très divers. D. Lippens, avec son équipe "Composants quantiques et dispositifs TéraHertz", et secondé plus particulièrement par P. Mounaix et E.Lheurette, fait figure de pionnier en la matière, voyant dans cette ouverture technologique une opportunité très intéressante pour ses réalisations de composants submillimétriques. E.Constant, lui-même, s'implique fortement dans cette voie des microsystèmes. Une fois de plus inépuisable pourvoyeur d'idées, il contribue efficacement au lancement de deux nouvelles filières de recherche, l'une, qui va être chapeautée par A.Vanovershelde, concerne les micro pointes et l'autre les micro capteurs thermiques, sous la direction conjointe de D.Leclercq et P. Godts. Pour ces trois chercheurs très chevronnés, ayant derrière eux de solides expériences de recherche, il s'agit d'un investissement très exigeant, nécessitant une large maîtrise des outils tant de technologie que des moyens associés d'analyse et contrôle.

C'est dans la seconde moitié de la décennie 90 que sont effectivement produites les premières réalisations, accompagnant contrats de recherche et thèses.

D. Lippens et son équipe deviennent spécialistes des microstructures suspendues, poutres et membranes. Avec ces dernières, utilisées comme substrat, ils réalisent des lignes et éléments de circuits pour gammes millimétrique et submillimétrique présentant des pertes et une dispersion d'une faiblesse record. Ils se tournent, ensuite, vers la réalisation de réseaux périodiques métalliques ou diélectriques résonants, basés sur le principe des structures cristallines à gap de photons (PGB), avec comme objectif d'application le filtrage pour micro-ondes et ondes quasi optiques. L'ensemble de ces travaux conduit aux thèses d'Université (\*) de P.Salzenstein (\*1996), J. Carbonnel (\*1998), J.Danglot (\*2001) et T. Akalin (\*2002).

De son côté, A. Vanovershelde se bat avec le problème ardu des micro pointes. Son objectif principal, très ambitieux, est de démontrer la faisabilité de micro tubes à émission par effet de

champ susceptibles de remplacer les traditionnels tubes hyperfréquences de puissance à émission thermoïonique. Ses travaux sont soutenus par la division "Tubes" de Thomson-Vélizy, par la DRET et par le CNRS. Les difficultés majeures sont l'obtention d'une très haute densité de pointes (de l'ordre de 10000 par mm<sup>2</sup>) pour fournir un courant d'émission élevé et l'intégration d'une grille de commande auto alignée. Après de nombreux efforts des résultats substantiels sont obtenus mais l'ampleur des difficultés rencontrées montre que le stade d'une industrialisation est encore éloigné. Tous ces efforts sont consignés dans les thèses d'Université (\*) de P. Kropfeld (\*1999) et O. Yaradou (\*2000).

Les microcapteurs thermiques, que l'on a déjà évoqués à propos du laboratoire de "Mesures Automatiques" de A.Lebrun, font, eux aussi, l'objet de développements spéciaux en microtechnologie. Comme on l'a vu, le départ définitif en retraite de A.Lebrun, en 1990, a été accompagné d'une restructuration de la branche "Capteurs et Instrumentation Thermiques". Une partie de ce groupe, sous l'impulsion de P.Théry, s'est alors rattachée à l'IEMN pour mettre en pratique, dans la réalisation des capteurs, des processus d'intégration technologique et de miniaturisation similaires à ceux de la microélectronique. C'est dans ce cadre de l'IEMN que D.Leclercq, tout premier collaborateur de P.Théry, constitue une petite équipe avec P.Godts, ancienne thésarde de E.Constant possédant à ce titre une utile expérience en technologie microélectronique. E.Constant lui-même se joint épisodiquement à leur binôme. Les résultats sont au rendez-vous dans la dernière partie de la décennie 90 avec des versions à couches minces, technologiquement très élaborées et très opérationnelles, de microradiomètres pour détection dans les gammes de l'infrarouge et de l'ultraviolet (jusqu'à plusieurs milliers sur 10 mm<sup>2</sup>). La diffusion industrielle de ces produits repose sur une collaboration étroite avec Jay Electronique et sur les moyens de CAPTEC et ICMC, deux sociétés nées des travaux de P.Théry dont on a déjà parlé précédemment à propos du laboratoire de A.Lebrun. Ultérieurement, une version encore plus élaborée et encore plus intégrée de ces radiomètres

est réalisée dans une technologie qui, cette fois, est à base de silicium et associe, tout à la fois, thermocouples en polysilicium et les techniques très spécifiques de membranes et poutres. Cette opération innovante, appuyée par le CNRS dans le cadre du Réseau National de Micro et Nano Technologies (RMNT) est aussi l'occasion d'une vaste coopération entre laboratoires du CNRS au sein du vaste projet nommé "INTERLAB", associant le LAAS de Toulouse, l'IEF d'Orsay et l'IEMN. De nombreuses thèses d'Université (\*) sont effectuées sur ces sujets de microthermique. Plusieurs ont déjà été citées précédemment dans la partie relative au laboratoire de A.Lebrun. Parmi les thésards plus particulièrement rattachables à cette phase d'activité au sein de l'IEMN on peut distinguer : L. Camberlein (\*1997), C. Machut (\*1997), S. Sakly (\*1998),

H.Randrianarisoa (\*1998), F. Polet (\*1999), K.Ziouche (\*1999), F. Rancoulès (\*2000), F.Brachelet (\*2001) ...

Il est à souligner que cette évolution des microradiomètres vers la technologie silicium se trouve être un des tout premiers signes du nouvel élan accompagnant la construction des 400 m<sup>2</sup> de salles blanches de l'IEMN spécialement dédiées "microsystèmes". Bien d'autres travaux vont suivre, dans un esprit d'ouverture pluridisciplinaire toujours plus étendu. C'est ainsi, à titre d'exemple, que l'année 2000 va être le point de lancement par C. Druon et P. Tabourier d'un vaste projet de microfluidique, associant micropompes, microvannes et microdébitmètres, pour l'analyse protéinique par spectrométrie de masse.

### 3.3.3 Des diodes à avalanche aux transistors micro-ondes.

Avec l'ensemble des travaux qui vont être décrits dans ce qui suit nous entrons dans la partie centrale de l'activité du laboratoire de E.Constant, celle qui constitue la base essentielle sur laquelle s'est bâtie sa renommée et qui, par la suite, va être en très grande partie à l'origine de la naissance de l'IEMN. Le formidable développement que va connaître le laboratoire doit beaucoup, comme on va le voir, à E.Constant lui-même, mais n'aurait certainement pas connu une réussite aussi complète sans la présence de G.Salmer à ses côtés. Tous deux vont diriger les travaux du laboratoire dans une entente exemplaire et un rayonnement partagé et, sur le plan administratif, G.Salmer relaiera E.Constant à la tête du CHS et ensuite de l'IEMN lorsque celui-ci aura atteint la limite de ses mandats.

Nous l'avons rappelé précédemment c'est en 1965 que commence cette activité sur les composants semi-conducteurs lorsque E.Constant, en étudiant les propriétés de bruit d'une diode en régime d'avalanche, est témoin d'un phénomène bizarre qui, après investigations, se révèle être une oscillation haute fréquence. Cette trouvaille fait de E.Constant l'un des découvreurs de ce qui va devenir la diode à avalanche et temps

de transit (diode ATT), composant "phare" pendant des décennies des sources de signaux hyperfréquences de télécommunications. Presque en même temps ce phénomène d'oscillations est aussi obtenu aux Etats-Unis, à la BELL TELEPHONE, et en Russie. Avec cette découverte se concrétise la proposition faite par l'américain W.T. Read en 1958 d'utiliser conjointement génération par ionisation et effet de transit des porteurs dans une jonction semi-conductrice sous forte polarisation inverse pour avoir un dispositif à résistance négative, donc susceptible de produire des oscillations.

L'engouement pour ce nouveau composant électronique atteint rapidement les laboratoires industriels travaillant dans le domaine des composants et systèmes hyperfréquences et c'est dans ce contexte que E.Constant, G.Salmer et une grande partie des chercheurs du laboratoire vont être entraînés, pendant près de vingt ans, dans une étroite collaboration avec le Laboratoire d'Electronique de Philips ( LEP ), à Limeil-Brévannes, et le Laboratoire Central de Recherche ( LCR ) ou directement les divisions de Thomson CSF, à Orsay. Les interventions du CHS vont couvrir tous les aspects physiques de

la diode ATT, toutes ses applications et toutes ses évolutions technologiques, mais comporter, aussi, des prolongements sur d'autres types de composants dipôles hyperfréquences, en particulier : la diode "Gunn", qui fera une longue carrière, et les diodes "Baritt" et "Tutt" qui, par contre, seront très éphémères.

Cette entrée du laboratoire dans le domaine des composants électroniques à semi-conducteurs peut surprendre. Elle s'inscrit cependant dans une logique prévisible : la thématique, centrée jusque là sur l'interaction ondes électriques-matière, avec pour objectif majeur de mieux connaître la dynamique moléculaire, prend une dimension supplémentaire en s'étendant aux matériaux semi-conducteurs, en plein envol de 1960 à 1970, et à leurs applications que sont les composants électroniques. Les techniques de mesures développées jusque là, essentiellement basées sur des appareillages radiofréquences et hyperfréquences, constituent une excellente base de départ pour aborder les études portant sur les semi-conducteurs et leurs composants, moyennant, bien sûr, quelques indispensables adaptations.

Dans une première période allant, en gros, de 1965 à 1975, les travaux du laboratoire portent essentiellement sur les mécanismes physiques fondamentaux régissant le fonctionnement de la diode ATT et responsables de ses multiples propriétés, à savoir :

- le phénomène d'avalanche lui-même en tant que source naturelle de bruit,
- le fait que l'association zone d'avalanche-zone de transit est à l'origine de l'effet de résistance négative et, par voie de conséquence, de la faculté oscillatrice et de la faculté amplificatrice,
- le fait que la forte non linéarité et la nature selfique du phénomène d'avalanche sont des facteurs déterminants pour la multiplication de fréquence à haut rang.

Tout cela donne lieu à de multiples modélisations menant de front l'analyse physique des phénomènes de génération et de transport des porteurs dans le composant, en régime linéaire ou en régime non linéaire, et l'extraction des grandeurs fonctionnelles intéressant le "système" : impédance, puissance, rendement, harmoniques ... Parallèlement, tout un arsenal de bancs et méthodes de mesures est développé pour accompagner les travaux théo-

riques. Les composants tests, majoritairement à base d'arséniure de gallium, proviennent du LEP et leurs fréquences de travail restent majoritairement cantonnées en dessous de 12 GHz dans la plupart des études. Des structures très diverses sont mises en compétition et celles à profil de dopage de types LO HI LO et HI LO sont particulièrement prisées. C'est à partir de l'ensemble de ces travaux qu'un modèle de diode à avalanche du CHS, particulièrement opérationnel, va permettre au LEP de réaliser des structures optimales avec un rendement en puissance record mondial. Accompagnant cette retentissante progression, une quinzaine de thèses de 3ème cycle ou Docteur-Ingénieur (\*) et une thèse d'Etat (\*\*) sont réalisées pendant cette décennie 65-75, avec pour auteurs : E.Allamando (\*1968, \*\*1973), B. Boittiaux (\*1968), B. Kramer (\*1968), J.M. Martinache (\*1969), G. Vaesken (\*1970), I. Doumbia (\*1971), J. Pribetich (\*1971), G.Vanborren (\*1971), P.M. Lebrun (\*1973), P.A.Rolland (\*1973), A.Leborgne (\*1974), A.Castelain (\*1975), B. Carnez (1975), A. Derycke (\*1975).

Deux autres thèses de 3ème cycle, ayant pour auteurs A. Vanoverschelde (\*1972) et Y.Brun (\*1972) , dont il déjà été question, sont encore réalisées dans cette même décennie, toutes deux hors du thème de la diode ATT mais portant sur l'intervention de l'effet Tunnel. Pour A. Vanoverschelde, il s'agit de la diode "TUTT", tentative visant à remplacer la zone d'avalanche de la diode ATT par une zone d'injection par effet Tunnel, en l'occurrence une barrière métal-semiconducteur. Pour Y. Brun, il s'agit d'une étude posant les bases théoriques d'une cascade de sauts Tunnel pour expliquer le claquage à haute tension de capacités intégrées métal-isolant-métal.

A partir de 1975, et sur une période couvrant à nouveau une dizaine d'années, les travaux du laboratoire sur les diodes génératrices hyperfréquences sont empreints d'une forte évolution. Les aspects physiques et les mécanismes fondamentaux de ces composants dans leurs fonctions oscillation, amplification et multiplication de fréquence étant, dès lors, relativement bien établis les études s'orientent désormais soit vers de vastes synthèses récapitulant l'expérience acquise pour la rendre mieux accessible aux utilisateurs industriels, soit vers une large diver-



sification du sujet sur de nouvelles pistes de recherche. Cette diversification va s'opérer dans deux directions principales, souvent reliées : d'une part, l'exploration de nouvelles structures semi-conductrices reposant sur d'autres principes et d'autres matériaux, et, d'autre part, la montée en fréquence des composants et des circuits de manière à répondre aux besoins toujours croissants des applications en gamme millimétrique. On assiste pendant cette période à un foisonnement de thèses de 3ème cycle, Docteur-Ingénieur ou Université (\*) et de thèses d'Etat (\*\*). Parmi celles-ci on peut distinguer :

- celles de R. Périchon (\*\*1977) et I. Doumbia (\*\*1978), comme approfondissement de tous les travaux antérieurs, sur le bruit en ce qui concerne le premier, et sur la modélisation du fonctionnement dynamique en oscillation et amplification, en particulier en gamme millimétrique, en ce qui concerne le second;
- celles de J.C. Dejaeger (\*1977) relative à l'extension des diodes ATT silicium à l'amplification en gamme millimétrique ;
- celles de P. Kennis (\*1977) et M. Chivé (\*\*1978) relatives à la contribution ou à l'utilisation de l'effet " Tunnel " dans le processus d'injection de porteurs (les diodes TUTT) ;
- celles de D. Meignant (\*1978) et A. Vanoverschelde (\*\*1980) relatives aux structures dénommées " BARITT " dans lesquelles l'injection de porteurs par avalanche est remplacée par une injection thermoionique, avec un dispositif s'apparentant à un transistor bipolaire sans électrode de base ;
- celles de J. Pribetich (\*\*1978) et R. Allam (\*1984) sur la recherche de structures de diodes ATT à très haut rendement de puissance d'oscillation ;
- celles de J.C. Dejaeger (\*\*1985), R. Kozlowski (\*1985) et T. Boun (\*1985) explorant la possibilité d'accroître l'efficacité d'ionisation et d'effet de transit des diodes ATT en utilisant une hétérojonction de matériaux ternaires ;
- celle de M.R. Friscourt (\*1982) sur les diodes à effet GUNN, en préliminaire de sa thèse d'Etat;
- celles de D. Hars (\*1976) et J.L. Vaterkowski (\*\*1978), résolument tournées vers les aspects systèmes, avec la réalisation de mélangeurs d'émission à diodes ATT pour télécommunications en gamme millimétrique;

- celles de P.A. Rolland (\*\*1978), A. Derycke (\*\*1986) et D. Degrugillier (\*1986), elles aussi à forte connotation système puisque relatives à la réalisation de sources à grande stabilité en gamme millimétrique par multiplication de fréquence à haut rang des diodes ATT, domaine dans lequel une remarquable expertise va être atteinte.

L'inflexion d'une bonne partie des travaux vers la gamme millimétrique, clairement visible dans l'énumération ci-dessus, ne va pas être qu'un événement épisodique. En effet, elle correspond à une réelle évolution de l'industrie électronique pour les communications et principalement pour les besoins de la Défense Nationale. C'est ainsi que la thèse d'Etat de P.A. Rolland, en 1978, marque le point de départ d'une intense collaboration avec Thomson-CSF au cours de laquelle vont être développées des diodes ATT silicium permettant d'atteindre la bande W ( 75-110 GHz), mais aussi une circuiterie spécifique reposant sur une technologie semi intégrée. Cette collaboration est à l'origine du développement de l'équipe dite " millimétrique " dont P.A. Rolland va se trouver naturellement chef de file. Le volet " systèmes " de l'activité de l'équipe va se traduire par la mise sur pieds, dans le cadre même du CHS, d'une station de métrologie, unique en son genre, pour sources millimétriques à haute stabilité de fréquence, permettant de mesurer de manière précise bruit de modulation d'amplitude et bruit de modulation de fréquence de celles-ci. Parallèlement à cette activité système, dans laquelle entrent les thèses de A. Derycke et D. Degrugillier, une autre activité, de caractère plus fondamental se développe également dans l'équipe. Elle concerne la modélisation des composants. L'approche qui a longtemps prévalu dans les travaux du laboratoire, consistant à utiliser un certain nombre de simplifications, notamment celle de négliger les effets de dynamique non stationnaire, est devenue insuffisante pour les composants millimétriques en raison de leurs très faibles dimensions. Une modélisation plus complète, plus rigoureuse, mais aussi nécessitant les moyens de calculateurs puissants est alors adoptée. Il s'agit d'un traitement découlant de l'équation de transport de Boltzmann, celle-ci étant mise sous la forme de trois équations traduisant la conservation du nombre de particules, du moment et



de l'énergie, avec des paramètres physiques tirés de simulations particulières de type Monte-Carlo qui sont l'apanage, comme on le verra plus loin, d'une autre équipe du CHS. C'est à tout un petit groupe du laboratoire, avec en particulier B. Carnez, G. Salmer (avec le D.E. de I. Doumbia), E. Constant... , que l'on doit, à partir de 1975, l'introduction au laboratoire de cette nouvelle modélisation. Son application va aussi s'étendre, peu après, aux transistors à effet de champ hyperfréquences, alors en pleine émergence comme axe de recherche du laboratoire, avec A. Cappy comme nouveau développeur. Dans l'équipe millimétrique cette nouvelle approche théorique est expérimentée dans deux thèses : celle d'Etat de M.R. Friscourt (\*\*1985) à propos de diodes à structures N+NN+ utilisant l'effet GUNN ; et celle d'Université de C. Dalle (\*1986) sur des diodes ATT au silicium ayant une double zone de transit. Dans les deux cas la fréquence de travail voisine les 100 GHz et les composants sont réalisés par Thomson CSF.

Cet effort de l'équipe ne s'arrête pas à l'introduction dans la modélisation de la dynamique non stationnaire mais se porte aussi sur les aspects spécifiques que revêt le phénomène d'avalanche dans le cadre des très faibles dimensions des composants millimétriques. C'est à D. Lippens que l'on doit l'investigation de ce problème. Après sa thèse de 3ème cycle sur les cristaux liquides puis un intermède de trois ans dans l'industrie, celui-ci décide en 1981 de réintégrer le CHS et, pour sa réorientation de recherche, choisit de rejoindre l'équipe millimétrique mais en se spécialisant dans les problèmes de l'électronique ultime, dans la perspective de composants fonctionnant au dessus de 100 GHz. Sa thèse d'Etat (\*\*1984), centrée sur le transport électronique et l'avalanche en régime non stationnaire, fait usage d'une originale simulation de type particulière. Cette thèse et celle, menée parallèlement, de J.L. Nieruchalski (\*1985) vont apporter de précieux renseignements sur ces questions, en particulier concernant le fameux "espace noir " délimitant la distance minimale en dessous de laquelle l'avalanche ne peut pas prendre corps. Ces études vont constituer une base solide pour beaucoup de travaux ultérieurs du laboratoire. Pour D. Lippens cette incursion dans le domaine des diodes à avalanche millimétriques préfigure l'orientation que va prendre

son activité lorsque, devenant autonome, il va se tourner vers les composants dipolaires carrément submillimétriques et fonder l'équipe dite des "composants quantiques et dispositifs Terahertz" ...autre histoire que nous allons détailler dans ce qui suit.

Le démarrage de l'activité de D. Lippens dans les composants quantiques s'effectue en 1987, à l'occasion d'une étude sur des photo détecteurs à multi puits quantiques inspirée par des travaux de l'américain F. Capasso. Cette étude, faite dans le cadre d'un contrat du Ministère de la Recherche, offre à D. Lippens l'opportunité d'une collaboration très étroite avec des équipes prestigieuses de physiciens et astrophysiciens du Laboratoire Central de Thomson CSF (LCR) d'Orsay et de l'Ecole Nationale Supérieure (ENS) de Paris. C'est pour lui l'occasion de découvrir le domaine passionnant de l'électronique quantique. Il s'y jette avec son enthousiasme coutumier et crée sa propre équipe de recherche. Les premiers travaux de celle-ci portent sur le composant basique qu'est la diode à effet "Tunnel résonnant". Celle-ci, en cette fin de décennie 80, est, alors, l'exemple type des perspectives ouvertes par les derniers progrès de la technologie des hétéro structures entre composés semi-conducteurs III-V. Ce système simple d'un puits entre deux barrières de potentiel, sandwich ultra mince de matériaux semi-conducteurs à petite et grande bandes interdites et combinaison d'effet Tunnel et d'états propres énergétiques, a en effet de quoi séduire l'électronicien par sa caractéristique courant-tension en forme de dent de scie. Résistance négative différentielle, forte non linéarité, réponse temporelle quasi instantanée (la picoseconde) sont autant d'atouts à exploiter pour la réalisation de dispositifs de génération de signaux et de transposition de fréquence, et ce dans la gamme très spéciale des fréquences comprises entre 100 Gigahertz et le Terahertz. Réalisés conjointement au LCR de Thomson CSF et au CHS même, les composants prototypes sont l'objet, dans l'équipe de D. Lippens d'intenses travaux d'analyse, de modélisation, d'optimisation technologique et de multiples dispositifs d'oscillateurs, détecteurs, multiplicateurs de fréquence, mélangeurs...capables de fonctionner bien au-delà des 100 Gigahertz. Tous ces travaux permettent à l'équipe d'asseoir sa notoriété

et leur aboutissement conduit aux thèses d'Université de L. de Saint Pol (\*1990), O. Vanbesien (\*1991), R. Bouregba (\*1991), P. Mounaix (\*1992), P. Bedu (\*1992), H. Leroux (\*1992) et V. Sadaune (\*1993). Sitôt leurs thèses passées O. Vanbesien et P. Mounaix obtiennent des postes de chercheurs CNRS et deviennent de précieux collaborateurs permanents pour D. Lippens, permettant ainsi à son équipe de poursuivre sa croissance.

Après cette première phase de travaux, essentiellement consacrée aux diodes à effet Tunnel résonnant, l'équipe reçoit de multiples sollicitations qui vont l'amener à une large diversification de ses activités. Le domaine des longueurs d'onde millimétriques et submillimétriques (de 30 GHz à 1 THz) étant dédié principalement à des spécialités telles que la radio-astronomie (nuages interstellaires), l'observation de la terre, la météorologie, la physico-chimie atmosphérique..., les collaborations de D. Lippens et ses chercheurs, initialement lancées avec le LCR de Thomson-CSF et l'ENS, englobent très vite l'observatoire de Paris-Meudon, le Centre National des Etudes Spatiales (CNES), l'Agence Spatiale Européenne (ESA), Matra Marconi Space.... La technologie des composants de l'équipe est entièrement réalisée en interne à partir de 1995, grâce au développement de la Centrale de technologie du laboratoire, et va couvrir non seulement la filière de l'Arséniure de Gallium (AsGa) mais aussi celle du Phosphore d'Indium (InP).

Un nouveau type de composant voit le jour : l'hétérovaractor. Antithèse, en quelque sorte, de la diode à effet Tunnel résonnant, cette hétérostructure utilise centralement non pas une couche puits de potentiel mais une couche barrière de potentiel et celle-ci est suffisamment épaisse pour empêcher la conduction par effet Tunnel. En présence de polarisation le phénomène électrique prédominant dans ce système est l'effet capacitif accompagnant la déplétion des couches semi-conductrices encadrant la couche centrale et utilisées comme réservoirs d'électrons. Une telle structure de couches, si elle est parfaitement symétrique et judicieusement conçue, présente un comportement de varactor qui peut être fortement non linéaire et avec une symétrie dans les deux sens de polarisation propice à la multiplication de fréquence par 3 ou 5.

C'est sur cette application que se focalisent les efforts de plusieurs chercheurs de l'équipe, couvrant modélisation, technologie, caractérisation... pour des dispositifs allant de la cellule élémentaire à des réalisations plus complexes associant plusieurs cellules élémentaires dans une mise en cascade ou dans des lignes de transmission, avec, bien évidemment, toujours l'objectif d'un fonctionnement largement au dessus de 100 GHz.

En même temps, l'équipe de D. Lippens poursuit sa progression vers l'ingénierie Terahertz pour couvrir le maximum de fonctions avec toujours plus de performances, utilisant de manière généralisée les techniques d'intégration et un dimensionnement de l'ordre du micron carré : oscillateurs avec les diodes à effet Tunnel résonnant, mélangeurs avec des diodes Schottky...

Parallèlement à ces efforts pour pousser cet arsenal électronique vers les fréquences extrêmes, un renouvellement des thèmes de recherche de l'équipe se dessine. L'approche du Terahertz par voie optique, jusque là laissée de côté, est maintenant prospectée. C'est ainsi que sont lancées des études préliminaires sur la génération d'impulsions ultra courtes par laser femtoseconde et sur le photo mélange par batttement de deux sources laser.

Par ailleurs, sur un plan encore plus prospectif, grâce aux outils de modélisation sophistiqués mis au point dans l'équipe, des travaux sont entrepris sur ces structures semiconductrices du futur à échelle nanométrique, les " nano structures ", qui, par généralisation du confinement dimensionnel d'un gaz d'électrons pourraient déboucher sur une circuiterie quantique capable d'atteindre le Terahertz.

Pour conclure sur cet ensemble d'activités, couvrant en gros la deuxième moitié de la décennie 90, il importe de noter les nombreuses thèses d'Université (\*) et les habilitations à diriger des recherches (\*\*) passées sur cette période, avec, notamment, celles de : D. Wojciechowski (\*1994), O. Tanguy (\*1995), E. Lheurette (\*1996), L. Burgnies (\*1997), A. Mikail (\*1998), R. Havart (\*1999), X. Mellique (\*1999), O. Dupuis (\*1999), V. Duez (\*2000), F. Podevin (\*2000), P. Mounaix (\*\*1999), O. Vanbesien (\*\*1999)... Cette énumération, soulignons le, ne reprenant pas les thèses mentionnées précédemment à

propos de l'activité de l'équipe plus axée sur les microtechniques.

Tout ceci permet de réaliser à quel point l'équipe créée par D. Lippens constitue une symbiose particulièrement réussie entre originalité, haut niveau scientifique, compétences en technologie électronique de pointe et ouverture sur les milieux professionnels, qualités parfaitement dans la ligne d'un laboratoire CNRS comme le CHS-IEMN, pour lequel l'électronique du futur constitue un axe de recherche majeur.

Comme l'a montré l'historique qui précède, l'activité du laboratoire sur les composants semi-conducteurs dipolaires s'est progressivement tournée vers le domaine des fréquences ultimes, ne conservant, en finale, avec l'équipe de D.Lippens, que des objectifs d'applications à plusieurs centaines de Gigahertz. Une telle évolution n'est pas particulière au CHS mais correspond à un état de fait très général, ayant concerné tous les milieux scientifiques et industriels travaillant dans le domaine des composants et applications hyperfréquences. En effet, à partir des années 1976-1977 surgissent les transistors hyperfréquences à base de composés semi-conducteurs III-V. Ces nouveaux composants vont présenter des performances de plus en plus alléchantes en matière de gain, bruit, puissance et montée en fréquence et se révéler rapidement de sérieux concurrents pour les diodes à avalanche ou à effet Gunn, remplaçant progressivement celles-ci dans les applications électroniques hyperfréquences. Ce tournant technologique, le CHS va se montrer tout à fait apte à y faire face grâce au formidable et concomitant développement de ses propres moyens en technologie, instrumentation d'analyse et de caractérisation. Il suffit de se remémorer ces quelques étapes déterminantes que sont : l'inauguration au bâtiment P3, en 1981, des premières salles blanches de technologie froide - l'installation dans ce même bâtiment P3, en 1985, du premier bâti d'épitaxie par jets moléculaires - la création, en 1992, de l'IEMN avec, dans ses nouveaux locaux, le quasi doublement des salles blanches et de leurs équipements de technologie et, également, dans le même temps, le doublement de la surface de la Centrale de caractérisation et la multiplication par trois ou quatre des bancs de mesures et analyseurs en tous genres

pour le test des composants fabriqués. Cette faculté d'adaptation du CHS à la transistorisation des applications hyperfréquences c'est bien à E.Constant et G.Salmer qu'il faut principalement en attribuer les mérites. Leur clairvoyance dans ce qu'allaient permettre les progrès foudroyants de la technologie des semi-conducteurs III-V est, en effet, à la base des choix heureux faits en ce début des années 80 pour fixer l'orientation long terme du CHS et placer le laboratoire à la pointe de ce domaine de recherche. E.Constant, lui-même, malgré ses nombreuses autres activités, va fortement s'impliquer dans le développement des installations technologiques et en donnant libre cours à son inventivité et à son goût du challenge à travers de multiples tests et réalisations de prototypes. Par une tacite entente avec les autres laboratoires nationaux s'étant engagés, eux aussi, dans le développement de transistors hyperfréquences, il est décidé que l'activité du CHS va se concentrer essentiellement sur les transistors à effet de champ. De ce fait, les transistors bipolaires ne vont donner lieu au CHS qu'à peu de travaux et avec aucune réalisation technologique en interne.

L'ampleur et la diversité de cette nouvelle voie de recherche va rapidement entraîner une certaine répartition des tâches. D'une organisation initiale, à la fin de la décennie 70, en deux équipes chapeautées respectivement par E.Constant et G.Salmer, on va passer, dans la seconde moitié de la décennie 80, à une organisation plus démultipliée et à un foisonnement d'équipes, chacune ayant une expertise particulière sur un thème donné. Dans cette multiplicité d'activités trois axes d'importances majeures vont se dégager. Il s'agit de :

- la simulation physique pour aider à la compréhension physique du fonctionnement des composants et à leur conception ;
- la problématique des composants faible bruit pour systèmes de réception;
- la problématique des composants de puissance, pour systèmes d'émission.

D'autres activités, quelque peu à la frange de ces axes majeurs mais se distinguant par leur originalité, vont aussi tenir une place appréciable. Quelques aperçus en seront donnés, un peu plus loin, en passant en revue les nombreuses filières technologiques que le CHS a été amené à étu-

dier ou à développer. Auparavant, voyons brièvement en quoi consistent les trois axes majeurs.

La simulation physique, outil traditionnellement d'excellence du CHS pour la compréhension du fonctionnement et la conception des composants, va faire l'objet d'un formidable effort d'adaptation pour prendre en compte au maximum les effets intervenant dans les transistors à effet de champ fabriqués en interne ou fournis par les collaborations industrielles. Condition indispensable pour la montée en fréquence de ceux-ci, leur grille est indispensablement de dimension submicronique. C'est à cette particularité que sont reliés les problèmes principaux à prendre en compte : effets de dynamique électronique non stationnaire et de survitesse des porteurs, effets de surface et de piégeages, injection dans le substrat, ionisation par impact... Dès 1978 un premier modèle simplifié de transistor à effet de champ à Arséniure de Gallium et grille Schottky submicronique, prenant en compte la dynamique non stationnaire, est présenté à la Conférence Internationale Micro-ondes (EMC) par B. Carnez, E.Constant, G.Salmer et A. Cappy. Il connaît immédiatement un grand retentissement par la démonstration sur des prototypes industriels de la justesse de ses prédictions.

Au cours des décennies 80 et 90, au fil d'une succession incessante de nouvelles technologies, la réactivation permanente des problèmes à résoudre va conduire à multiplier les travaux théoriques. Il faut souligner, une fois de plus, l'extrême importance du rôle fédérateur du duo E.Constant - G.Salmer dans l'articulation de tous ces travaux. Trois approches principales de simulations vont être parallèlement développées :

- une dite "hydrodynamique bidimensionnelle", d'abord développée par G.Salmer avec des chercheurs égyptiens de l'Université du Caire (Prof. El Sayed) puis reprise plus tard par J.C. DeJaeger avec l'aide de M. Lefebvre, consistant en la résolution par la méthode des différences finies complètement bidimensionnelle des équations macroscopiques de conservation du courant, de l'énergie et du moment déduites de l'équation de transport de Boltzmann ainsi que de l'équation de Poisson.
- une autre reposant sur le traitement de type particulière complètement bidimensionnel

du transport électronique avec la méthode de Monte-Carlo, lancée conjointement par R.Fauquembergue et J. Zimmerman vers 1980 puis pilotée par R. Fauquembergue seul, à partir de 1992, J. Zimmerman ayant alors quitté le CHS pour rejoindre le Laboratoire de Physique des Composants à Semi-conducteurs de l'ENSERG de Grenoble.

- une autre, enfin, dite "hydrodynamique quasi-bidimensionnelle", comportant un traitement macroscopique de type hydrodynamique assez voisin de celui utilisé dans la première approche mais avec une prise en compte simplifiée de la bidimensionnalité (méthode Q2D), développée par A.Cappy dans la foulée des travaux précurseurs évoqués plus haut, précédant 1980.

Ces trois approches vont atteindre une large notoriété en Europe et hors d'Europe par l'intermédiaire de l'essaimage de nombreux thésards et de plusieurs transferts de logiciels. Ainsi, à titre d'exemple, l'approche de Monte-Carlo fera l'objet d'adaptations particulières pour les technologies CMOS submicroniques d'IBM à Zurich. L'approche hydrodynamique bidimensionnelle sera à la base de la formation de plusieurs spécialistes égyptiens de l'Université du Caire, certains d'entre eux parvenant ensuite à une renommée mondiale. De même, l'approche hydrodynamique simplifiée Q2D constituera l'outil de CAO "coin de table" de nombre de concepteurs industriels chez Thomson, Philips et autres fondateurs de circuits microélectroniques micro-ondes, avant de déboucher finalement, en 1995, sur la commercialisation par l'éditeur Artech-House du logiciel "HELENA".

C'est, en 1981, la thèse d'Université d'Alain Cappy, faite sous la direction de G.Salmer, qui marque le point de départ des travaux sur la problématique des composants à effet de champ pour réception faible bruit. Première thèse du laboratoire sur le transistor à effet de champ hyperfréquence, celle-ci aborde le sujet de son fonctionnement dynamique petit signal sur un plan essentiellement théorique en mettant sur pieds la modélisation dite "quasi 2D". Compromis équilibré entre rigueur scientifique et approximations raisonnables, utilisant judicieusement les ressources de l'informatique, cette modélisation offre d'emblée une grande



souplesse d'adaptation à des évolutions ultérieures. Comme toute modélisation elle a un besoin impérieux de validation. A.Cappy ne tarde pas à en être convaincu et est parmi les tous premiers au CHS à s'investir dans les mesures des transistors à effet de champ. C'est ainsi, qu'avec le concours de la Centrale de Caractérisation, il amorce l'édification de toute une méthodologie basée sur le décorticage (deembedding pour les anglo-saxons) de mesures multifréquences faites à l'analyseur de réseaux (à l'époque du type HP 8410, fonctionnant jusqu'à 18 GHz avec une automatisation réalisée en interne par E. Playez). Sa thèse d'Université passée, il se tourne vers l'étude du bruit de fond dans les transistors à effet de champ. Ce sera le thème central de sa thèse d'Etat, en 1986, avec, sur le plan théorique, l'introduction dans la modélisation Q2D du traitement du bruit et, sur le plan expérimental, la mise en œuvre des premiers bancs de mesures du facteur de bruit sur des composants, souvent prototypes, venant de Thomson-CSF, Philips...etc. Le véritable essor de la thématique "réception faible bruit" s'effectue à partir de là, avec un flux croissant de thésards et, parallèlement, l'entrée dans l'équipe de tout un staff de chercheurs et enseignants chercheurs permanents dont, dans l'ordre chronologique, G.Dambrine, F.Danneville, H. Happy, S.Bollaert, V. Hoel et L. Picheta. Il va en résulter, sur la décennie qui va suivre, un considérable élargissement de la thématique avec, notamment :

- la modélisation, par F. Danneville, du bruit de fond des composants à effet de champ en régime non linéaire, en particulier dans les mélangeurs de réception ;
- la mise à jour et la formalisation, par H. Happy, de la modélisation Q2D jusqu'à sa forme commerciale "HELENA" ;
- le développement, par toute l'équipe et en symbiose avec la Centrale de Technologie du laboratoire, de multiples filières de transistors à effet de champ atteignant ou dépassant 100 GHz et, l'étude de la circuiterie permettant de les utiliser dans les récepteurs faible bruit ;
- et, pour accompagner ces réalisations, le développement continu, sous l'impulsion de G.Dambrine, de bancs analyseurs de réseaux et de bancs de mesures de facteur de bruit, avec les méthodes et logiciels de calibrage et d'extraction

associées, d'abord jusqu'à 40 GHz, puis 75 GHz et, enfin, 110 GHz.

Ce condensé de l'activité de l'équipe Cappy ne peut se terminer sans évoquer son abondante production de thèses et ses nombreuses collaborations non seulement avec les partenaires industriels habituels du laboratoire (Thomson-CSF, Philips, Dassault, le CNET ...), mais aussi, fait plus rare, avec des partenaires d'outre Atlantique particulièrement prestigieux comme le NIST (National Institut of Standard and Technology) et Hewlett Packard. Devant cette triple expertise en technologie III-V, instrumentation et modélisation, acquise au cours de deux décennies, on prend une juste mesure de la contribution apportée par l'équipe de A. Cappy au développement de l'ensemble du CHS et, ensuite, de l'IEMN.

La problématique des composants de puissance pour émission présente une certaine similitude d'évolution par rapport à la problématique faible bruit, à ceci près qu'elle n'a pas d'emblée été focalisée sur le seul transistor à effet de champ. En effet, curieusement, les études du CHS sur les transistors de puissance débutent avec deux composants originaux au silicium relevant, sur le plan des principes, à la fois des diodes à temps de transit et du transistor bipolaire. La première étude, commencée en 1975 et effectuée en collaboration avec le Centre Radiotechnique-Compelec (RTC) de Caen, est relative à un transistor NPN à avalanche contrôlée et temps de transit, appelé "CATT" (Controlled Avalanche Transit Time Transistor). La seconde étude, commencée vers 1980, en collaboration étroite avec le Laboratoire Central de Thomson-CSF, porte sur un transistor NPN à temps de transit (TTT) qui s'apparente à une diode BARITT munie d'une troisième électrode. Pour le CATT, du surcroît de courant lié à l'avalanche on attend un surcroît de puissance. Pour le TTT, de la structure BARITT on escompte un effet de résistance négative et, corrélativement, une augmentation des performances. Beaucoup de facteurs contraires vont faire obstacle à un résultat vraiment positif de ces deux études. La multiplication des porteurs du CATT en régime dynamique va se révéler être très amoindrie par l'effet de la réaction de charge d'espace. Le TTT, quant à lui, va s'avérer fondamentalement limi-



té en résistance négative par ses éléments parasites d'accès de base. Néanmoins, elles vont conduire à trois thèses : de 3ème cycle et d'Etat pour H. Gérard et M. Lefebvre (sur le CATT), et d'Etat pour Y. Druelle (sur le TTT), toutes chapeautées de concert par G.Salmer et Y. Crosnier. Pour ce dernier, entré au CHS en 1975 après douze années passées dans le laboratoire de R.Gabillard, c'est le début de l'aventure sur les composants de puissance qu'il va vivre pendant vingt cinq ans.

Les premières études de puissance sur le transistor à effet de champ commencent vers 1980, parallèlement à l'épisode TTT. Il s'agit, en collaboration avec le Centre Philips de Limeil-Brevannes, de rechercher les améliorations technologiques qui pourraient apporter une nette augmentation de la tension de claquage du composant de l'époque : le MESFET (Metal Semiconductor Field Effect Transistor). Travaux expérimentaux et modélisations se succèdent sur le sujet. Leur publication, par G.Salmer, Y.Crosnier, H. Gérard et R. Wroblewski, va faire autorité pendant longtemps. La tension de claquage va s'avérer néanmoins être un problème toujours récurrent pour chacune des nombreuses familles de composants à hétérojonctions et gaz d'électrons de type HEMT (High Electron Mobility Transistor) qui vont prendre la suite du MESFET. La puissance d'un transistor étant étroitement liée au produit de la tension qu'il peut supporter par le courant maximum qu'il peut délivrer, et ces deux grandeurs étant généralement antagonistes pour beaucoup de technologies, un compromis doit très souvent être trouvé entre elles.

A partir de 1985, date d'installation de l'épitaxie par jets moléculaires et de la pleine autonomie du CHS en matière de réalisation de composants, s'effectuent le véritable essor de la puissance et un partage des activités : Y. Crosnier centralisant la partie expérimentale, c'est-à-dire technologie et mesures, et G.Salmer puis J.C.Dejaeger s'occupant de la partie modélisation. Tous les nouveaux composants à effet de champ apparaissant au cours des quinze années qui suivent font l'objet, par l'équipe, d'investigations de leurs possibilités d'utilisation en puissance, à la demande des industriels et des organismes publics (Défense, CNRS, Communauté Européenne ...). Il s'en suit une indispensable

expansion du flux de thésards et aussi de leur encadrement. C'est ainsi que, vers la fin des années 90, sont chercheurs permanents : Y.Crosnier, H. Gérard, B. Bonte, D. Théron, B.Boudart, C. Gaquière et M. Zaknoute pour l'expérimentation, et J.C. Dejaeger, M. Lefebvre et M. Rousseau pour la modélisation.

Fait particulièrement significatif du considérable développement de cet axe puissance, à la fin des années 90 le parc d'instrumentation grand signal finit par occuper la moitié de la surface de la Centrale de Caractérisation du laboratoire. Il comporte plusieurs bancs de caractérisations impulsives quasi statiques et hyperfréquences, jusqu'à 20 GHz et de la température ambiante à 400°C, et un ensemble exceptionnel de bancs d'amplification de puissance à excitations mono et multi porteuses, de 10 MHz à 40 GHz.. Atout de poids pour le rayonnement de l'équipe, il contribue fortement à l'excellence des relations entretenues avec les partenaires du laboratoire, y compris ceux de l'instrumentation comme Hewlett Packard-Agilent, Rhodes et Schwartz... Enfin il est à l'origine de la micro société "MC2", fondée par deux anciens thésards, Frédéric Bué et Nicolas Vellas, et leur parrain C. Gaquière.

La cristallisation des efforts sur ces deux thèmes du "faible bruit" et de la "puissance" ne doit cependant pas occulter les autres études, en nombre non négligeable, toutes étant inspirées par une indéniable inventivité.

Il en est ainsi des structures bigrilles qui, par la multiplicité de leurs applications et par la complexité de leur fonctionnement, nécessitent régulièrement que l'on revisite leurs caractérisation et modélisation. Au fil des décennies et de l'évolution de la technologie et des besoins en montée en fréquence plusieurs thèses sont consacrées à ce thème avec E.Allamando, Y.Crosnier et G.Salmer pour managers successifs.

Autre thème faisant également l'objet d'études épisodiques, le comportement thermique des transistors dans des conditions extrêmes de chaleur et de froid propres aux applications spatiales et militaires est l'apanage de G.Salmer avec quelques thésards.

Enfin une mention spéciale doit être faite à propos d'un thème quelque peu à part dans les préoccupations courantes d'un praticien des

hyperfréquences: il s'agit des transistors en régime de commutation. Deux études se rapportent à ce thème. La première, commencée vers 1985, va mobiliser des efforts importants pendant plus d'une décennie sur ce composant tout-à-fait à part qu'est le HIGFET (Hétérostructure Insulator Gate FET). Basé sur une hétérostructure non dopée et une technologie autoalignée, et ayant un fonctionnement en accumulation à canal n ou p, ce composant paraît par son principe le candidat idéal pour des applications de logique à rapidité record. Sous l'impulsion de E.Constant des travaux préliminaires sont effectués par J. Zimmermann et son jeune thésard H.Fawaz sur des composants réalisés en commun par le CNET et le CHS. Puis, J.Zimmermann partant rejoindre son poste de Directeur de Recherche CNRS à l'ENSERG de Grenoble, le sujet est alors repris par G.Salmer, épaulé par R. Kozlowski et H. Fawaz devenu chercheur permanent. La réalisation du composant est bientôt entièrement effectuée en interne par l'équipe de G.Salmer et la ténacité de celle-ci permet finalement d'aboutir à une technologie suffisamment mature avec, en couronnement, différents démonstrateurs (oscillateurs en anneau) présentant un temps de propagation par étage de seulement 10 picosecondes. La seconde étude, plus restreinte, porte sur la réalisation de convertisseurs continu-continu pour applications spatiales sur satellites. Il s'agit d'un challenge consistant à utiliser des transistors de la filière AsGa comme composant de base des hâcheurs de façon à hisser la fréquence de fonctionnement à des valeurs jamais atteintes jusque là et, par voie de conséquence, diminuer fortement l'encombrement des équipements embarqués. C'est encore G.Salmer qui est à l'origine de cette autre étude. Lui et son thésard S. Ajram vont aboutir à des réalisations fonctionnant à plus de 100 Mhz avec des MESFETS AsGa.

Pour en terminer avec ces quelques vingt années d'activités sur les transistors à effet de champ un bref inventaire des filières développées au laboratoire s'impose.

Le MESFET à base d'Arséniure de Gallium (GaAs) est le plus basique et le plus ancien. Il commence à être traité au CHS au début des années 80, seulement sur le plan de la finition de surface car les couches ne sont pas encore fabriquées en interne. Beaucoup d'amé-

liorations suivront, le rendant fiable et performant. Il va surtout servir de composant de base des premiers circuits intégrés du laboratoire.

Avec l'installation, en 1985, du premier bâti d'épitaxie par jets moléculaires s'ouvre la possibilité de réaliser en interne des empilements de couches semi-conductrices complexes. C'est précisément l'époque où apparaissent, un peu partout dans le monde, les premiers transistors à hétérojonctions et gaz d'électrons, le plus avancé et le plus simple technologiquement étant alors le HEMT AlGaAs / GaAs sur substrat GaAs. Le CHS entreprend ses propres essais. Il s'en suit un grand nombre d'études sur les immanquables défauts de jeunesse du composant et sur ses diverses applications avec, notamment, les premières versions de HIGFETs à régime d'accumulation, et les premières versions de structures à double canal pour la puissance.

Entre-temps est apparu un autre type de HEMT avec des potentialités en courant et montée en fréquence meilleures. Il s'agit du HEMT pseudomorphique (P HEMT) AlGaAs / InGaAs sur substrat GaAs. Vers la fin de la décennie 80 le CHS aborde, à son tour, ce nouveau HEMT. Plusieurs études sont d'abord consacrées à la maîtrise de la principale difficulté, à savoir le désaccord de maille cristalline du matériau InGaAs par rapport au GaAs et à l'AlGaAs. Après quoi, plusieurs années d'efforts vont permettre au laboratoire d'égaliser l'état de l'art mondial des performances pour le faible bruit et la puissance. Au CHS, comme ailleurs, le P HEMT atteint sa pleine maturité vers le milieu de la décennie 90, devenant le composant de base de beaucoup de circuits intégrés pour les besoins des communications mobiles de 1 à 40 GHz (portables, station de bases, communications point à point...).

Alors que le P HEMT débute sa carrière deux autres filières sont apparues, potentiellement très concurrentes du P HEMT pour les applications en gamme millimétrique nécessitant une haute résolution spatiale ou un très haut débit (radar automobile, imagerie de la terre, télécommunications spatiales...). Il s'agit du LM HEMT (lattice matched) AlInAs / GaInAs, sur substrat InP (phosphure d'indium), et du M HEMT (metamorphic) AlInAs / GaInAs, sur substrat GaAs. C'est au pourcentage d'in-

dium de l'hétérojonction AlInAs / GaInAs que ces deux filières doivent leur supériorité en fréquence et courant sur le P. HEMT (50% et 30 à 40% pour le LM HEMT et le M HEMT, contre 20% pour le P HEMT). Sous la forte incitation de ses partenaires industriels habituels le laboratoire s'engage sur ces deux filières et va y consacrer beaucoup d'efforts. Des résultats très positifs sont obtenus avec le LM HEMT pour le faible bruit, débouchant sur la réalisation de circuits intégrés industriels à 94 GHz. Pour la puissance les résultats sont plus mitigés car la tension de claquage s'avère un problème fortement limitatif. Le M HEMT, quant à lui, va entraîner une longue et délicate étude de la couche servant de "tampon" entre substrat et canal. A l'orée des années 2000 les résultats prometteurs obtenus tant en faible bruit qu'en puissance laissent intactes les espérances placées dans cette filière. Toutes les filières, dont il vient d'être question, ont en commun de plutôt travailler en courant qu'en tension à cause d'une tenue au claquage ne dépassant pas la dizaine de volts. C'est une butée des applications de puissance. La surmonter implique de recourir à des matériaux semi-conducteurs extrêmement peu ionisants. Deux filières, répondant à ce critère, ont fait l'objet, au laboratoire, d'études approfondies.

La première consiste en l'utilisation d'une couche de GaAs épitaxiée à basse température (200°C) comme isolant de grille d'un MESFET AsGa. Une longue campagne de travaux, effectués de 1992 à 1996 avec les Universités d'Ulm et de Cardiff, permet d'éprouver le procédé. Celui-ci se révèle donner d'excellents résultats de puissance en basse fréquence mais être contrarié au dessus de 1 GHz par un effet de blocage du canal lié au matériau basse température. Ce problème va s'avérer surmontable mais au prix d'une complication technologique dissuasive pour un développement industriel.

La seconde est celle du nitrure de Gallium (GaN), dernier venu parmi les matériaux III-V, à l'origine dédié à l'élaboration de diodes électroluminescentes mais ayant aussi attiré l'attention des concepteurs de transistors à effet de champ pour sa bande interdite de largeur record et pour ses propriétés de transport électronique plus qu'honorables. Les études sur cette filière commencent au laboratoire à partir

de 1996, dans une collaboration avec le CRHEA de Valbonne, étendue ensuite au LCR THOMSON-THALES d'Orsay. Après une mise au point rendue difficile par la singularité de la filière, les premiers MESFETs GaN sont réalisés, suivis de peu par des HEMTs AlGaIn / GaN, les uns et les autres présentant des tensions de claquage de plusieurs dizaines de volts et des puissances deux à trois fois supérieures à celles des meilleures autres filières. A l'orée des années 2000 cette filière apparaît donc répondre aux espérances. Il reste à savoir si les derniers obstacles à son développement industriel, en particulier celui du substrat (saphir ou carbure de silicium et non GaN), seront surmontés en temps raisonnable.

Toute cette présentation de l'activité du laboratoire sur les transistors hyperfréquences, pendant les décennies 80 et 90, permet de mesurer son ampleur, sa diversité et son formidable rôle moteur dans le développement de la technologie. Cette activité a porté en presque totalité sur les transistors à effet de champ et marginalement sur les transistors bipolaires. Elle a fait travailler ensemble des chercheurs dirigés par E. Constant, G. Salmier, A. Cappy, R. Faugembergue, J. Zimmermann, J.C.DeJaeger, Y. Crosnier ... On se doit d'insister sur le fait que tout cela est aussi le résultat d'une synergie toujours plus grande entre le laboratoire et ses partenaires industriels nationaux et européens. Enfin, il faut souligner l'impressionnante production de thèses de 3ème cycle, Doct.Ing., Université (\*) ou de thèses d'état et HDR (\*\*) qui a accompagné cette "épopée" et dont les auteurs sont : A. Kaszynski (\*1979), H.Gérard (\*1979), A. Cappy (\*1981,\*\*1986), M.Lefebvre (\*\*1981), R. Yaquine (\*1982), M.Pernisek (\*1982,\*\*1990), S.El Ghazaly (\*1983), M.M. Ibrahim (\*1983), A. Ghys (\*1983), M.Charef (\*1983), C. Versnayen (\*1985), G.Halkias (\*1985), Y. Druelle (\*\*1985), M.Schortgen (\*1985), K. Ismail (\*1985), F. Perri (\*1986), J. Wyrwinski (\*1986), F. Héliodore (\*1987), D. Depreeuw (\*1988), P. Poubelle-Godts (\*1988), J.L. Thobel (\*1988,\*\*2000), Y. Wu (\*1988), A. Belache (\*1989), G. Dambrine (\*1989,\*\*1996), P. Fellon (\*1990), T. Shawki (\*1990), F.Temcamani (\*1990), B. Bonte (\*1990,\*\*1997), A.Amor (\*1991), K. Bellashni (\*1991), G.Mériaux (\*1991), P. Bourel (\*1991), C. Byl

(\*1991), F.Danneville (\*1991,\*\*1999), H. Kabbaj (\*1991), A.Baghdad (\*1992), Y. Cordier (\*1992), J.Gest (\*1992), Y. Gobert (\*1992), H. Happy (\*1992,\*\*1999), J. Alamkan (\*1993), L. Baudry (\*1993), T. Coupey (\*1993), H. El Idrissi (\*1993), H. Fawaz (\*1993), A. Bellarbi (\*1993), N.Matrullo (\*1993), I. Valin (\*1993), P. Win (\*1993), I.Mouatakif (\*1993), S.Bollaert (\*1994), K.M.Sherif (\*1994), C.Gaquière (\*1995,\*\*2001), J.F.Kruck (\*1995), Y.Mouquet (\*1995), F.Duhamel (\*1996), C.Kolanowski (\*1996), D.Langrez (\*1996), O.Mouton (\*1996), A. Sleiman (\*1996), J.F.Thiery (\*1996), R. Allam (\*\*1996), J.F. Belquin

(\*1997), C.Boyavalle (\*1997), C. Brosteaux (\*1997), Y.Butel (\*1997), F. Dhondt (\*1997), H.Fourré (\*1997), J. Hédoire (\*1997), P. Tadyszak (\*1997), L.Rullier (\*1997), M. Badirou (\*1998), P.Chevalier (\*1998), E. Bourcier (\*1998), F. Diette (\*1998), D. Théron (\*\*1998), S. Ajram (\*1998), F.Dessenne (\*1998), P.Borowicz (\*1998), V.Hoel (\*1998), S. Piotrowicz (\*1999), M. Zaknoune (\*1999), S. Boret (\*1999), F. Banse (\*1999), M.Touirat (\*2000), S. Trassaert (\*2000), X. Hue (\*2000)...

### 3.3.4 Des circuits aux systèmes micro-ondes

On vient de voir comment, après être parti d'une culture de l'électronique des matériaux, le laboratoire de E.Constant a progressivement évolué vers une culture des composants électroniques à base de semi-conducteurs pour hyperfréquences et ce, autant en amont, avec une analyse toujours plus poussée de leurs mécanismes physiques, qu'en aval, avec un souci toujours croissant de quantifier leurs performances. Dans son rôle de partenaire très proche des milieux industriels le laboratoire se devait de s'intéresser aussi, et de très près, au contexte d'utilisation des diodes et transistors étudiés, c'est-à-dire aux circuits et systèmes. C'est ce qui va naturellement se passer. D'abord parce que les formidables moyens technologiques développés au laboratoire, à partir de 1981, vont offrir à chacun de ses chercheurs la possibilité de ne pas se limiter à l'étude basique d'un composant donné mais d'aborder, aussi, ses applications à travers quelques circuits démonstrateurs. Et, conséquence logique, cette extension d'expérience va nécessairement entraîner de nouvelles sollicitations des partenaires industriels, orientées cette fois vers les circuits et systèmes, et qui seront toujours plus nombreuses au fil du temps. Tous les animateurs de groupes de recherche du laboratoire vont être confrontés, un jour ou l'autre, à ce genre de sollicitation. Pour la plupart, le thème "circuits-systèmes" deviendra une ramification de leur activité principale de recherche, plus

fondamentale. Pour quelques uns, c'est l'activité de recherche toute entière qui va basculer sur le thème des circuits et systèmes, de manière générale en reconversion ou aboutissement d'une première partie de carrière consacrée à des sujets beaucoup plus en amont. Cinq équipes vont ainsi être créées : celle des "circuits intégrés" avec E. Allamando, celle des "systèmes intégrés" avec J.Vindevoghel, celle des "circuits et systèmes" avec P.A.Rolland, celle des "nouvelles applications" avec Y.Leroy, et celle des "circuits et applicateurs" avec M. Chivé. Ce qui suit relate les principaux aspects de leurs développements.

La première équipe à laquelle nous allons nous intéresser est celle dite "circuits intégrés", dont la paternité revient à E. Allamando. Ses débuts remontent aux dernières années de la décennie 70, lorsque commencent au CHS les premiers travaux sur le composant constituant la grande nouveauté du moment : le MESFET GaAs. A l'irruption de celui-ci, E. Allamando est entrain d'achever des travaux d'approfondissement sur les diodes à avalanches, après avoir été un précurseur historique et un des tout premiers thésards du CHS sur ce thème (3ème cycle 1968, DE 1973). Son expérience des composants micro-ondes à semi-conducteurs III-V le désigne tout naturellement pour participer aux études qui sont entreprises au laboratoire à propos de ce nouveau transistor. Ce premier contact est déterminant car, d'emblée, il est séduit par les



très larges perspectives d'applications systèmes qu'offre le composant. La suite de son activité de recherche est dès lors toute tracée : entre modélisation fonctionnelle du composant et réalisation de circuits démonstrateurs en technologie intégrée monolithique.

Au cours des quelque vingt années qui suivent, E. Allamando va bâtir une panoplie de modèles de types circuits couvrant de nombreuses sortes de transistors à effet de champ, en version monogrilles ou bigrilles, en régime chaud ou froid (c'est-à-dire avec ou sans polarisation de drain), en fonctionnement linéaire ou non linéaire. Avec, en préalable, des mesures de caractérisation et des approches théoriques spécifiques à chaque application. Avec, dans chaque cas, l'implantation du circuit dans un logiciel de CAO propre à un fondeur industriel et, en retour de fabrication, les essais fonctionnels les plus complets. Ses réalisations vont ainsi englober à peu près toutes les fonctions existantes : amplificateur à gain contrôlé, échantillonneur, mélangeur d'émission ou de réception, transposeur, oscillateur commandé en tension, déphaseur et atténuateur contrôlés... la plupart des circuits étant réalisés dans le cadre de partenariats industriels, principalement avec Thomson et Alcatel. Il faut souligner, à ce propos, que c'est en grande partie à lui que l'on doit la mise sur pieds du laboratoire de CAO du CHS dans la deuxième moitié de la décennie 80. Et ses avis en tant qu'acteur et expert en techniques de simulation et conception micro-ondes vont compter pour beaucoup dans les développements ultérieurs des logiciels commerciaux et machines de ce laboratoire. Il faut souligner, encore, que cette expertise va être à la base d'une durable coopération inter universités avec l'école Polytechnique de Montréal (Professeur Ganouchi). Paradoxalement, malgré l'ampleur de la tâche accomplie, l'équipe de E.Allamando va toujours être très restreinte, avec rarement plus d'un thésard à la fois. Dans la liste de ses chercheurs, ayant passé une thèse de 3ème cycle ou d'Université, on retiendra les noms de : M.Bouhess (1983\*), N.E. Radhy (1985\*), L.Picheta (1994\*), E. Gosse (1996\*), C.W. Park (2001\*) ... A ces thèses il faut aussi ajouter le très remarqué mémoire CNAM (1990) de L. Loyal, prologue d'une longue et fructueuse collabora-

tion avec le centre de CAO d'Alcatel.

A la différence de l'équipe de E.Allamando, centrée comme on vient de le voir à mi chemin du composant et du circuit, l'équipe de J.Vindevoghel s'est placée, dès sa création au milieu des années 80, dans une voie médiane entre circuits et systèmes. L'engagement de J.Vindevoghel dans cette direction est une reconversion complète par rapport à son activité antérieure de thèse d'état. La toute récente mise en marche de la Centrale de technologie du laboratoire est pour beaucoup dans sa décision. Il va être rapidement placé au cœur du thème "circuits-systèmes" par un vaste projet. Il s'agit du Cinémomètre Doppler, dont il a déjà été question dans ce mémoire, qui implique, dans une étroite collaboration, le laboratoire de R.Gabillard, le CHS et l'INRETS pour des applications aux matériels roulants de la SNCF et de diverses autres utilisateurs. Le CHS est chargé de la réalisation de la partie micro-onde. Cette tâche difficile consiste à exploiter, à partir d'une antenne unique servant en émission et réception, le faisceau de rétro diffusion produit par le défilement du sol à une distance de moins d'un mètre. Le dispositif s'apparente à une antenne active et tout doit être fait pour assurer sa compacité. Les travaux vont s'étaler sur cinq années et comporter des réalisations en bande X (8-12 GHz) et en bande K (18-26 GHz) avec de nombreux essais sur sites. Avec de longues mises au point de substrats multicouches pour permettre l'implantation, dos à dos, d'un réseau d'antennes plaquées et des circuits d'émission-réception micro-ondes. Avec de nombreuses études visant à un maximum d'intégration des fonctions micro-ondes et mettant en jeu les ressources de fonderie AsGa de la Centrale de Technologie mais aussi de Philips-Limeil Brévannes (PML).

Fort de cette première et instructive expérience, et secondé à partir de 1992 par P. Descamp devenu enseignant chercheur après le passage de sa thèse, J.Vindevoghel va rester dans ce thème des micro antennes actives pour applications de très grande proximité en s'intéressant cette fois au domaine, alors en pleine expansion, des petits systèmes de communication que sont les badges d'identification, contrôle d'accès, gestion de stocks.... Les nouveaux



impératifs de miniaturisation et d'autonomie posés par ces petits dispositifs, dont le format doit être celui d'une carte de crédit, vont entraîner l'équipe dans toute une suite d'études visant à simplifier au maximum les architectures d'antennes et de circuits et à rechercher toutes les variantes technologiques propres à diminuer la consommation. Tout ceci étant mené avec une utilisation intensive des moyens de CAO et des moyens technologiques du laboratoire et dans une collaboration quasi permanente avec PML. Cette activité originale et, semble-il, promise à des possibilités réelles de développement, va malheureusement tourner court à l'orée des années 2000, J.Vindevoghel décédant à la suite de gros problèmes cardiaques et P. Descamps étant nommé Professeur à Caen. Avec une quinzaine d'année d'existence, cette petite équipe a néanmoins apporté une contribution substantielle à la formation de thésards, avec notamment : L. Dhalluin (\*1989), G. Dumoulin (\*1989), S. Hembert (\*1990), M. El Bekkali (\*1991), P. Descamps (\*1992, \*\*1998), J.L. Oszustowick (\*1995), F. Bouazza (\*1996), S. Sadek (\*1996), F. Carrez (\*1997), F. Doom (\*1998), M. Grzeskowiak (\*1999), E. Vanabelle (\*1999), E. Vestiel (\*2000) ...

Avec l'équipe "circuits et systèmes" de P.A. Rolland, on a l'exemple type de l'aboutissement d'une prédisposition clairement discernable dans les travaux antérieurs de son chef de file. En effet, comme on l'a relaté dans l'histoire de la période des diodes génératrices, sa thèse d'Etat est déjà largement imprégnée de préoccupations systèmes. Elle marque aussi, comme on l'a vu, l'inflexion des études sur les diodes vers les fréquences très élevées, et la formation d'une première équipe, dite "millimétrique", dont certains thésards, notamment M.R. Friscourt et C. Dalle, vont devenir les proches collaborateurs de P.A. Rolland.

C'est à partir de la seconde moitié de la décennie 80 que l'équipe ouvre très largement ses activités sur les multiples aspects des systèmes de communications millimétriques, mettant à profit ses vastes compétences en composants actifs, circuits et antennes. Ainsi, elle se trouve entraînée dans une collaboration avec l'INRETS et la Régie Renault pour travailler sur la nouvelle application que constitue le radar anticollisions pour automobiles. Les études vont s'étaler

sur une demi douzaine d'années, avec plusieurs réalisations de la bande X (8-12 GHz) à la bande V (50-75 GHz) et de nombreux essais sur sites. Ceci va permettre de résoudre progressivement les problèmes posés, en particulier celui de l'intégration quasi optique, condition indispensable pour satisfaire les impératifs de compacité et de bas coût. Tout un savoir faire va être développé pour mener à bien la réalisation d'antennes actives miniatures intégrant les fonctions d'émission et réception et de dispositifs quasi optiques, lentilles de Fresnel en transmission ou paraboles en réflexion, pour assurer la directivité du faisceau d'illumination. Avec sa thèse d'Université, passée en 1989, N. Haese fait figure de pionnière du sujet. C'est dans la foulée de cette première expérience qu'elle va devenir permanente de l'équipe et, ensuite, être une très active promotrice de l'activité système.

A partir du début des années 90 l'équipe reçoit de très nombreuses sollicitations concernant, principalement, les communications par satellites, les communications véhicule-véhicule et les réseaux locaux intra bâtiments, applications faisant toutes usage de fréquences comprises en bandes K (26-40 GHz) et V (50-75 GHz). Elle est amenée à trouver des solutions innovantes pour les circuits et dispositifs de base, c'est-à-dire amplificateurs, oscillateurs commandés en tension, mélangeurs, commutateurs, diviseurs et multiplicateurs de fréquence, modulateurs et démodulateurs vectoriels..., n'existant pas encore commercialement. Les interventions de l'équipe vont des développements CAO circuits et systèmes préliminaires jusqu'à l'assemblage complet de prototypes et, ce, dans une collaboration très étroite avec une myriade de partenaires tels que : PML, UMS, le CEA-LETI, France Telecom, le CNET, Alcatel Espace... Un effort particulièrement important est consacré à faire sauter un des principaux verrous de la mise en œuvre des systèmes de communications millimétriques à haut débit, à savoir la réalisation de sources stables programmables. Ce qui va conduire à la réalisation d'oscillateurs commandés en tension à haute optimisation du bruit de phase, avec des architectures complètement inédites de boucles de verrouillage analogiques ou à échantillonnage.

Débordant du strict cadre du millimétrique, l'équipe de P.A. Rolland se lance égale-

ment dans les systèmes mixtes fibre-radio pour très hauts débits. Elle est ainsi amenée à intervenir aux cotés de diverses partenaires, dont l'équipe "optoélectronique" de D. Decoster, dans de vastes projets, commandités par les organismes de télécommunications, visant à passer de la transmission optique sur fibre (à 1,3 et 1,55 m) à la transmission hertzienne (à 60 GHz) pour couvrir les derniers mètres de la distribution à l'abonné.

Parallèlement à tous ces travaux sur les systèmes l'activité de base sur les composants n'en n'est pas moins poursuivie par ceux mêmes qui l'ont mise en route, c'est-à-dire P.A.Rolland, C. Dalle et M.R. Friscourt. Elle est même étendue à de nouveaux composants comme, par exemple, le FECTED (Field Effect Cathode Transferred Electron Device) et autres transistors utilisant l'effet GUNN, et surtout à de nouveaux types de modélisations, dites "globales", consistant à grouper sur une même plateforme logicielle simulations physiques, électriques, électromagnétiques, thermiques, optiques ... Ce genre de modélisation va permettre d'apporter une aide déterminante aux partenaires industriels de l'équipe pour résoudre nombre de problèmes très concrets dont, en particulier, les problèmes thermiques rencontrés dans les sources de puissance à 94 GHz utilisant des diodes ATT en impulsions courtes, ou ceux relatifs à l'emballage (effet Crunch) des amplificateurs de puissance à base de transistors bipolaires à hétérojonctions.

On ne peut terminer ce tour d'horizon des activités systèmes de l'équipe de P.A.Rolland sans souligner la remarquable immersion effectuée par celle-ci dans les préoccupations de ses partenaires industriels. La double fonction de P.A.Rolland, comme responsable de l'option micro-onde de l'EUDIL et comme chef de file d'une équipe de recherche, y est pour beaucoup. Projets et stages industriels en dernière année d'Ecole offrent d'excellentes opportunités pour servir de travaux préliminaires à des études plus approfondies et, éventuellement, à des sujets de thèses. Toutes les études systèmes relatées ci-dessus ont, grâce à cette symbiose, pu être conduites avec un nombre relativement restreint de thésards. Il s'agit, Maîtres-es-Sciences et Ingénieurs confondus, de: N. Haese (\*1989), M.Berbineau (\*1989), M.Akkar

(\*1992), M.Benlamlah(\*1993), A. Nezzari (\*1993), F. Driouch (\*1993), . Wagbé(\*1994), A. Tachafine (\*1994), D.Cailleu (\*1995), P. Wangeluwe (\*1996), F.Dhondt (\*1997), S. Beaussart (\*1997), F. Agha Mohammadi (\*1998), Ali Youssou (\*1998), M.B.Bibey (\*1998), C. Salmer (\*1999), G.Lewandowski (\*2000), C. Loyer (\*2000), A.Girardot (\*2000), A. Chamseddine (\*2001), P.Lefebvre (\*2001) ...

Avec l'équipe de P.A.Rolland nous venons de voir des activités tournées principalement vers les systèmes de communications. Nous arrivons, maintenant, avec l'équipe "Nouvelles Applications des Micro-ondes" (NAMO ) de Y.Leroy et l'équipe "Circuits et Appicateurs" de M. Chivé, à des activités portant cette fois sur des systèmes micro-ondes dédiés à des applications médicales et industrielles, débordant largement le champ usuel de préoccupations de l'électronicien classique. Il importe de souligner, ici, le rôle primordial joué par ces deux équipes, à partir de la décennie 80, pour assurer au laboratoire de E.Constant son indispensable ouverture sur les applications et conforter, ainsi, auprès des forces vives régionales la reconnaissance de son utilité publique. La radiométrie micro-onde est pratiquée dans le laboratoire depuis 1964. C'est elle qui, on l'a vu, a été à l'origine de l'épopée des diodes à avalanche au cours de travaux de E.Constant. Celui-ci, continuant à porter un vif intérêt à ce thème de la radiométrie, va, parallèlement aux équipes Leroy et Chivé, développer des études très originales en vue de la réalisation d'un thermomètre micro-onde miniature. On y reviendra après la présentation des activités des équipes Leroy et Chivé.

C'est en 1976 que l'équipe NAMO de Y.Leroy voit le jour. Ce dernier a été absorbé, presque à temps plein, pendant plusieurs années par la direction du Département de Génie Electrique de l'IUT et il vient d'arriver à la fin de son mandat. Rompant avec ses activités de recherche antérieures dans la physique électronique des matériaux il décide de se lancer dans l'investigation de nouvelles applications des micro-ondes, hors du classique domaine des télécommunications, et en allant jusqu'à suivre leur transfert pratique par un industriel. L'occasion du démarrage dans ce nouveau domaine lui est fournie par l'idée qui est alors

dans l'air, en particulier aux USA, que la thermographie micro-onde pourrait être utilisée comme méthode de détection et de caractérisation des cancers du sein. Il s'agit d'utiliser le bruit thermique généré par les tissus humains en gamme micro-onde pour obtenir une image de la carte de température de ceux-ci et, par contraste, révéler la présence d'une tumeur éventuelle et son ampleur.

Un premier radiomètre est opérationnel en 1978. La sonde radiométrique est réalisée à partir d'un guide d'onde ouvert rempli de diélectrique, dispositif qui sera longtemps utilisé. Le problème essentiel réside dans la désadaptation existant de manière générale entre le matériau à mesurer et la sonde. Une judicieuse méthode de zéro est mise au point pour le surmonter. Les circuits électroniques de traitement du signal, complément indispensable de la partie micro-onde du radiomètre, sont l'œuvre de J. Baudet et J.C. Van de Velde, dans le cadre de l'Atelier d'Electronique (qui existe encore, à cette époque, en tant que service commun de l'UFR IEEA).

Très rapidement, au cours des quelques années qui suivent, ces travaux intéressent les milieux médicaux et industriels. Des contacts étroits sont établis avec le CHR et le Centre Oscar Lambret de Lille. L'Unité de Technologie Biomédicale du Centre lillois de l'INSERM, dirigé par Y. Moschetto, se lance dans la réalisation du système de balayage nécessaire à l'imagerie. Un ingénieur, J.P. Sozanski, y est affecté. C'est le début pour lui d'une longue et étroite coopération avec, d'abord, l'équipe de Y.Leroy puis, ensuite, avec celle de M. Chivé. Le projet reçoit le soutien du Pôle Régional Nord Pas-de-Calais de Génie Biologique et Médical qui vient de se créer. La société Brucker, située à Wissembourg, entreprend l'industrialisation du radiomètre et deux séries d'appareils sont construites sous les appellations : TMO 3000 et TMO 10000 (pour 3 GHz et 10 GHz). Dans la foulée, l'équipe NAMO aborde un autre sujet intéressant également les milieux médicaux : le traitement du cancer par chauffage micro-onde. Cette technique, baptisée "Hyperthermie", consiste à détruire les tumeurs en les portant à une température de l'ordre de 43°. Tout le problème de sa mise en application est de ne pas léser les tissus sains environnants et, par conséquent, de cibler avec précision le

chauffage en contrôlant en permanence la température. Une étude, essentiellement de faisabilité, est lancée. Ses résultats, tout à fait encourageants, décident la société Brucker à lancer un développement industriel, et ainsi prend corps un premier système d'hyperthermie nommé "HYLCARI". Pour faire face à ce bouillonnement d'activité Y.Leroy s'est entouré d'une solide équipe. Ainsi, au début des années 80, le staff de chercheurs permanents comprend A. Mamouni, M. Hochedez-Robillard, J.J. Fabre, trois des premiers thésards sur la radiométrie, et M. Chivé et F. Bliot, deux chercheurs chevronnés mais, comme on l'a vu précédemment, ayant passé leurs thèses d'Etat sur de tout autres sujets. F. Bliot va faire profiter de sa large expérience en matière d'étude des propriétés diélectriques des matériaux en mettant au point de nouveaux bancs de mesure propres à affiner la connaissance des paramètres électriques des tissus biologiques et, par voie de conséquence, la modélisation des systèmes de radiométrie réalisés dans l'équipe. Quant à M. Chivé, après quelques années passées dans l'équipe NAMO, il va se focaliser sur la technique d'hyperthermie et faire son cheval de bataille de la conception des sondes appropriées. Le développement du sujet va l'amener, en 1984, à créer sa propre équipe sous l'appellation: "circuits et applicateurs". Désormais, les équipes de Y.Leroy et M.Chivé vont suivre des voies clairement différenciées quant aux objectifs.

Pour l'équipe de Y.Leroy l'imagerie des tissus humains par radiométrie du bruit thermique va être longtemps un thème dominant, entraînant de nombreux travaux ayant tous pour finalité d'améliorer la résolution des images radiométriques et leur interprétation : calcul des paramètres de couplage électromagnétiques, mise en œuvre de méthodes sophistiquées de reconstitution, mise au point d'appareillages multi sondes, utilisation des techniques de corrélation et d'interférométrie... Le tout étant effectué dans une étroite collaboration avec des équipes universitaires de Rome, Glasgow, Shizuoka, Supelec et divers centres cliniques, notamment la clinique Bourgogne de Lille. Une large diversification des sujets suit cette phase fondatrice de l'équipe NAMO. Ainsi, faisant aussi appel à la radiométrie du bruit, la thermométrie industrielle sans contact



va occuper une place importante et faire l'objet de multiples applications : la thermométrie des matériaux en nappe, conduite avec l'Institut Textile de France (ITF) et qui vaut à l'équipe le prix Applica 1988, la thermométrie des explosifs, la thermométrie des enrobés bitumeux et l'auscultation des bétons dans le cadre des BTP, la thermométrie dans l'agro-alimentaire ... A côté de cette exploitation tous azimuts du bruit thermique, l'équipe effectue aussi nombre de travaux en ondes monochromatiques. Certains se rapportent au domaine des mesures d'humidité et du contrôle non destructif, menant à la réalisation de divers systèmes basés sur la matrice [S] et l'extraction de la permittivité, avec des applications concernant les sables de fonderie (pour Renault), le sucre (pour la Générale Sucrière), la débitmétrie polyphasique des produits pétroliers (pour l'IFP), les textiles ... D'autres travaux ouvrent largement le thème de la télémétrie-cinémométrie avec de grandes perspectives pour l'avenir. Constituant une extension de l'expérience acquise en matière de corrélation et d'interférométrie au cas du traitement d'ondes multi trajets issues d'une même source monochromatique, ils vont aboutir à de multiples applications dont, en particulier, la mise au point d'un procédé de repérage très concurrentiel du GPS par sa résolution, de seulement quelques mètres, et sa faculté de pouvoir être utilisé même en milieu confiné. Tous ces thèmes vont être traités plus ou moins en parallèle jusqu'en 2000 par Y.Leroy, avec son staff de permanents : A.Mamouni, F. Bliot, M.Hochedez-Robillard, B. Bocquet, D. Matton (quelques années seulement), T. Lasri, A. Ben Larbi-Delaï... et à travers de nombreuses thèses de 3ème cycle, Ing. Doct. ou Université (\*) et Thèses d'Etat ou HDR (\*\*), dont celles de : A.Mamouni (1978\*,1988\*\*), D.D. Nguyen (1981\*), M. Hochedez-Robillard (1981\*), J.J.Fabre (1982\*), L. Bellarbi (1984\*), L. Enel (1985\*), B.Dujardin (1985\*), Y. Bonnaire (1988\*), P.Lauer (1988\*), D. Matton (1988\*), A. Dervin-Lauer (1989\*), B. Bocquet (1989\*,1998\*\*), P.Dehour (1992\*), T. Lasri (1992\*,2000\*\*), A.BenLarbi-Delaï (1992\*,2000\*\*), P. Waro (1992\*), J.C. Sainson (1994\*), D. Allal (1996\*), R.Aït-Abelmalek (1996\*), X. Derobert (1997\*), S.Mouty (1998\*), D. Glay (1998\*), J.P. Covillers (1999\*), K.Ridaoui (2000\*) ... A propos de tous

ces travaux il importe de rappeler le rôle essentiel de J.C. Van de Velde et R. Ringot, dans le cadre du support technique fourni par le CHS et, ensuite, l'IEMN. Tous deux, vont acquérir une solide compétence dans les différents sujets et R. Ringot concrétisera la sienne à travers son mémoire d'Ingénieur CNAM.

Quant à l'équipe de M. Chivé, son thème initial de l'hyperthermie va très largement se développer, couvrant progressivement de multiples formes de cancers : sein, langue, gorge, œsophage, colon, utérus, urètre, vessie, prostate ..., avec, dans chaque cas, la recherche de la topologie d'applicateur la plus adaptée aux contraintes anatomiques et la mise au point des logiciels correspondants de dosimétrie de la puissance de chauffage micro-onde. Pour les usages externes, d'originaux applicateurs planaires sont développés, la technologie plaquée remplaçant le classique guide d'onde ouvert. Pour les usages internes, interstitiels et endocavitaires, des solutions à base d'applicateurs filaires sont trouvées, avec le câble coaxial ouvert pour dispositif élémentaire. Les études électromagnétiques conduisant à la conception des applicateurs vont connaître une évolution considérable. Abordées dans les années 80 à partir de modèles analytiques ou semi analytiques, elles sont réalisées à partir de 1990 en utilisant la méthode dite de "l'Approche dans le Domaine Spectral", en étroite collaboration avec l'équipe "Electromagnétisme des Circuits Micro ondes" qui en est l'instigatrice au laboratoire. C'est la venue de J. Pribetich dans l'équipe, au début de la décennie 90, qui apporte sa pleine dimension théorique à celle-ci. Ce dernier, devenu expert dans l'utilisation des méthodes numériques par ses travaux antérieurs sur les diodes à avalanche, introduit, alors, la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD). L'adjonction dans l'ensemble du traitement de l'équation de la chaleur vient, par la suite, compléter de manière déterminante la modélisation des applicateurs, faisant de celle-ci un outil de prédiction particulièrement bien adapté aux conditions opératoires de l'hyperthermie. Tous ces travaux suscitent un vif intérêt auprès des milieux médicaux. Il se concrétise, dès 1984, par la création du "Groupe d'Hyperthermie de Lille", réunissant l'équipe de M. Chivé, l'Unité

INSERM de Y. Moschetto, plusieurs services des hopitaux de l'agglomération lilloise et le Centre Oscar Lambret de Lille. Comme dans le cas de la radiométrie l'hyperthermie fait l'objet de transferts industriels, et par la même société ODAM-BRUCKER. Plusieurs générations de machines sont ainsi proposées commercialement, sous les appellations : HYL CAR II, puis HIMCAR, PROSTCAR ... Cette concentration d'activités sur le thème de l'hyperthermie n'empêche cependant pas une certaine diversification, surtout à partir de 1995. Ainsi, l'équipe vient à s'intéresser à des aspects très particuliers des applications médicales et industrielles, comme la mesure de la température des nourrissons, le contrôle des températures au cours des cycles de congélation et décongélation dans l'industrie agro-alimentaire, la vitrification de gel de silice par électrothermie à des fins environnementales de stockage des déchets... Pour tous ces travaux M. Chivé est épaulé par un staff de permanents particulièrement efficace, avec, dans l'ordre chronologique de leur arrivée : J.J. Fabre, L. Dubois, D. Van Loot, J. Pribetich, J.C. Camart, J.P. Sozanski... Et il s'en est suivi un nombre important de thèses de 3ème cycle, Ing. Doct. ou Université (\*) et de thèses d'Etat ou HDR (\*\*), dont celles de : M. Plancot (1985\*), R. Ledée (1987\*), D. Van Loot (1987\*), J. Bera (1990\*), L. Dubois (1991\*), J.C. Camart (1993\*, 2000\*\*), F. Duhamel (1994\*), F. Morganti (1994\*),

P.Y. Cresson (1995\*), J.P. Sozanski (1995\*), C. Michel (1996\*), D. Despretz (1997\*), V. Sagot-Tessier (1997\*), C. Vanoverschelde (2000\*), A. Dietsch (2001\*) ...

Cette narration des activités des équipes de Y. Leroy et M. Chivé permet de réaliser pleinement la remarquable percée effectuée par toutes deux, leurs travaux ayant effectivement conduit à de nombreuses applications sur le terrain avec des réalisations industrielles à la clé. C'est une performance au sein d'un laboratoire CNRS destiné, à priori, à des préoccupations plus en amont. La persévérance et l'ingéniosité montrées par ces deux équipes doivent beaucoup, il faut le souligner, à l'indéfectible soutien apporté par les responsables successifs du laboratoire, c'est-à-dire E. Constant et G. Salmer. E. Constant s'est personnellement impliqué dans ce domaine de la radiométrie micro-onde en supervisant des études ayant pour objectif la réalisation d'un thermomètre miniature. Secondé dans ces travaux par J.C. Van de Velde, il est à la base de la réalisation de circuits intégrés micro ondes, d'abord en interne, avec la Centrale de Technologie du laboratoire, et, par la suite, avec la fonderie AsGa de Philips-Limeil Brevannes dans le cadre d'un projet pour les fours micro ondes de la société TEFAL. Travaux qui ont fait l'objet des thèses de R. Bertin (1987\*) et de S. Reda (1995\*).

### 3.3.5 L'Electromagnétisme des Circuits Micro-ondes et l'Optoélectronique

Après ce tour d'horizon des multiples activités déployées, dans le cadre du CHS puis de l'IEMN, sur les matériaux, les composants et les systèmes propres à la microélectronique micro-onde nous voilà arrivés aux deux derniers secteurs d'activité qui, dans le laboratoire de E. Constant, occupent une place non moins digne d'intérêt mais un peu à part. Il s'agit, d'une part, de l'électromagnétisme des circuits micro-ondes et, d'autre part, de l'optoélectronique pour télécommunications purement optiques ou utilisant, conjointement, optique et micro-ondes. Ce qui suit va permettre de distinguer le côté spécifique de ces deux activités. Respectant l'ordre historique de leurs débuts,

nous allons aborder en premier l'électromagnétisme des circuits micro-ondes puis passerons à l'optoélectronique.

Parmi tous les thèmes de recherche du Laboratoire de E. Constant celui de l'électromagnétisme propre aux circuits micro-ondes est un des plus anciens puisqu'il prend naissance au début des années 70. Deux raisons en sont à l'origine. La première est l'opportunité d'une demande de collaboration, émanant de la Société L.T.T., concernant l'étude théorique d'éléments de circuits micro-ondes alors en pleine émergence dans les milieux industriels : les résonateurs diélectriques et les guides d'ondes planaires. L. Raczky, récemment muté à Lille après



ses débuts de jeune Professeur à Valenciennes, va assumer la responsabilité du lancement de cette collaboration. La deuxième raison est l'arrivée dans le Laboratoire de E.Constant de J.Citerne. En effet, celui-ci, après sa thèse de 3ème cycle de Résonance Magnétique Nucléaire dans le Laboratoire de G. Gabillard, souhaite se reconverter et opte pour la toute nouvelle activité d'Electromagnétisme du Laboratoire de E.Constant. Par la suite, L.Raczy étant accaparé par d'autres responsabilités, J. Citerne va devenir le principal animateur de cette équipe et, qui plus est, être le chef de file d'une véritable lignée de chercheurs qui s'essaimera dans toute la France. Ainsi, J. Citerne quitte Lille en 1980 pour devenir Professeur à l'I.N.S.A. de Rennes. Il est remplacé à la tête de l'équipe par S.Toutain et P. Gelin, mais brièvement puisque l'un et l'autre quittent Lille, à leurs tours, respectivement en 1982 et 1984, pour s'implanter à l'E.N.S.T. de Brest. La responsabilité de l'équipe est alors assurée conjointement par P. Kennis et P.Pribetich jusqu'en 1994, date à laquelle ce dernier émigre vers la Bourgogne, à l'Université de Dijon. P. Kennis se retrouve seul animateur de l'équipe mais celle-ci, bénéficiant de la présence de chercheurs chevronnés comme J.F. Legier, C.Séguinot, F. Huret et E. Paleczny, va néanmoins continuer son activité en s'adaptant aux nouvelles possibilités de développement offertes par la mise en place de l'I.E.M.N.

Aux débuts de l'équipe, c'est-à-dire pendant la décennie 70, la collaboration avec L.T.T. et l'apprentissage des nouvelles structures micro-ondes que sont les lignes fentes, microrubans et coplanaires nécessitent rapidement le besoin d'analyses électromagnétiques spécifiquement adaptées. La plupart des études de l'équipe vont alors se dérouler avec une utilisation massive de la méthode dite de "l'Approche dans le Domaine Spectral" qui, par transposition dans le domaine de la transformée de Fourier, permet de trouver élégamment le spectre des modes de propagation propres à toute structure dès lors que celle-ci est constituée par un empilement de couches idéalement planes. Après le problème des modes de propagation sur les lignes planaires l'équipe s'attaque aux circuits micro-ondes élaborés avec ces lignes et, en particulier, au délicat problème posé par leurs intersections et discontinuités. Cette nouvelle phase

des activités de l'équipe est l'occasion pour celle-ci de se lancer dans les techniques de "Raccordement de champs et de modes". Puis, dans la décennie 80 la palette des sujets s'élargit encore avec l'introduction dans les simulations de structures planaires de semi-conducteurs, de contacts Schottky..., éléments faisant que le circuit de passif peut devenir actif. Dès lors, les préoccupations de l'équipe se tournent résolument vers les circuits intégrés analogiques micro-ondes ou opto-microondes, mais aussi vers les circuits intégrés digitaux sur Silicium. L'objectif n'est pas de vouloir concurrencer les logiciels généralistes de simulation mis sur le marché par plusieurs grandes sociétés mais d'essayer de résoudre des points particuliers de conception des circuits peu ou mal traités par ces logiciels : ponts à air des circuits coplanaires millimétriques, couplages entre tronçons de lignes micro-ondes voisins, interconnexions des circuits VLSI multi niveaux...etc. La réponse de l'équipe à ces besoins s'opère en mettant en œuvre des simulations capables de traiter les problèmes de propagation dans les trois dimensions. Ces simulations, basées sur la "Méthode des Equations Intégrales", la "Méthode des Eléments Finis" et la "Méthode des Lignes" (TLM), vont connaître leur plein développement dans la décennie 90. Ainsi, après trente années d'une activité toujours relancée, l'équipe "Electromagnétisme des Circuits Micro-ondes" dispose d'une panoplie très complète réunissant quasiment toutes les méthodes de simulation existantes. Ayant constitué une véritable "boîte à outils" pour résoudre les problèmes particuliers non couverts par les logiciels commerciaux généralistes, elle ne s'est jamais départie de son rôle d'expertise, dispensant ses services aux différentes équipes du Laboratoire, et à l'extérieur, à travers des contrats et collaborations, en particulier dans le cadre des télécommunications optiques avec le C.N.E.T., et dans le cadre des circuits intégrés digitaux avec des laboratoires tels que le LIRM de Montpellier, le LEMO de Grenoble et les INSA de Lyon et Toulouse... Il importe, à ce propos, de souligner l'excellent esprit de coopération qui a toujours prévalu, dans l'exercice de cette expertise, entre le petit groupe lillois et le très expérimenté groupe d'electromagnétisme de l'IRCOM (Institut de Recherche en Communications Optiques et

Microondes) de Limoges. L'étendue des travaux, la diversité des méthodes de traitement électromagnétique mises en œuvre et la permanence d'un solide noyau de chercheurs chevronnés sont autant d'atouts qui permettent d'expliquer que notre petit groupe lillois ait pu atteindre une telle qualité et une telle intensité de production scientifique. Il en résulte un nombre respectable de thèses de 3ème cycle ou Université (\*) et thèses d'Etat ou HDR (\*\*), dont celles de : S. Toutain (\*1975, \*\*1986), P. Choteau (\*1976), P. Gelin (\*1976, \*\*1981), J. Citerne (\*\*1978), L. Faucon (\*1978), J.F. Légier (\*1984), P.Gamand (\*1984,\*\*1995), P. Pribetich (\*1984,\*\*1989), A. Derycke (\*1986), C. Séguinot (\*1988), R. Delrue (\*1989), F. Huret (\*1991, \*\*2000), D. Kinowski (\*1994), Y. Delplanque (\*1995), P. Pannier (\*1997), L. Kadri (\*1999), L.Kenmei (\*1999), ....

Après l'Electromagnétisme des Circuits Micro-ondes, nous voilà arrivés à la fin de cette présentation avec l' Optoélectronique. C'est la "Cerise sur le gâteau " qui, à partir du début des années 80, va permettre au laboratoire de E.Constant d'étendre son savoir-faire en matière de composants à semi-conducteurs au domaine, alors en pleine émergence, des communications optiques. Ajouter la préoccupation du rayonnement optique à une thématique jusque là centrée principalement sur les composants micro-ondes constitue un challenge dont l'importance stratégique pour l'avenir n'échappe pas, une fois de plus, à E.Constant et, avec tout le poids de son dynamisme, il va encourager le développement d'une activité à part entière et le lancement d'une équipe de recherche dans cette direction.

C'est un peu le hasard qui va déterminer la première orientation de cette nouvelle activité. L'Arséniure de Gallium (GaAs) est alors, un peu partout dans le monde, au stade des premières réalisations de composants micro-ondes mais ses propriétés électroniques sont encore mal connues. Le CHS, fort de ses antécédents en matière de physique électronique des matériaux, s'intéresse à la question à la fois sur le plan théorique, avec des modélisations de types particuliers (Monte-Carlo), et sur le plan expérimental avec divers bancs de mesure et, en particulier, un dit de "temps de vol", reposant sur la réponse photoconductrice du matériau à une excitation par faisceau laser. Ce banc est essen-

tiellement l'œuvre de J.L. Vaterkowski qui, après avoir été l'un des thésards historiques de E.Constant, est devenu un animateur de recherche permanent du laboratoire. Des mesures pratiquées avec ce banc résulte une véritable découverte, à savoir un gain de photoconduction d'une valeur considérable (10 000 et plus), impliquant une durée de vie des paires électrons-trous photo créées d'une longueur surprenante. Le grand intérêt de ce phénomène attise l'attention des organismes de télécommunications optiques et une étude exhaustive est demandée au CHS à ce propos. Plusieurs thèses vont y être consacrées et, finalement il va être démontré que cette longueur inusitée de la durée de vie des paires électrons-trous photo créées est le résultat d'un effet de piégeage des trous par courbure de la structure de bandes au voisinage de la surface du matériau. Ces travaux préliminaires sont effectués avec la participation du laboratoire de spectrométrie Raman de l'Université (LASIR) et, en particulier, de M. Constant-Flodrops. Il va en résulter, comme retombée pratique, l'introduction des photoconducteurs III-V dans les têtes de détection des spectromètres.

Le développement de l'activité optoélectronique va, dès lors, s'effectuer on ne peut plus naturellement et, ce, malgré le changement de son chef de file. En effet, J.L. Vaterkowski, nommé Professeur à Besançon, est amené à quitter Lille en 1982. Il assure néanmoins en 1983 la transition de l'encadrement des thèses en cours, jusqu'à ce que D. Decoster, ayant terminé ses travaux de thèse d'Etat sur les cristaux liquides, prenne le relais... et quel relais, puisqu'il va formidablement développer l'activité " opto " en l'ouvrant sur tous ses aspects !

Un premier aboutissement concret de ces travaux préliminaires est apporté en 1984 par la thèse de 3ème cycle de J.P. Vilcot. Celle-ci porte sur la réalisation de têtes optiques intégrées de réception associant sur le même substrat GaAs photorésistance et amplificateur à transistors MESFET. C'est un des premiers circuits intégrés entièrement faits en interne par la toute récente Centrale de technologie du CHS (inaugurée en 1981). Pour J.P. Vilcot il s'agit d'un premier pas dans l'optoélectronique et vers un futur très riche en expérimentations de toutes sortes. Il devient en effet, quelques temps plus tard, chercheur CNRS et le premier collaborateur perma-

nement de D. Decoster.

La toute jeune équipe de D. Decoster effectue une rapide montée en puissance. Une collaboration privilégiée s'établit avec le laboratoire central de Thomson CSF et, plus particulièrement, avec M. Razeghi qui fait mondialement autorité en matière d'épitaxie de matériaux III-V et, ce qui est exceptionnel à l'époque, en matière d'hétéro-épitaxie.. De ce fait, l'équipe Decoster peut multiplier ses investigations sur les photorésistances en recourant à d'autres matériaux III-V que GaAs, en particulier à l'alliage GaInAs, celui-ci ayant le grand intérêt d'avoir une bande interdite suffisamment étroite pour couvrir les besoins des transmissions optiques sur fibres dans les deux fenêtres usuelles des longueurs d'onde 1,3 et 1,55  $\mu\text{m}$ . C'est avec la présentation des photorésistances à base d'hétéro-matériaux réalisées en commun avec le laboratoire de M. Razeghi que, en 1986 et 1987, lors du congrès SOTAPOX, l'équipe effectue sa percée internationale et que D. Decoster accède au cercle restreint des spécialistes de l'optoélectronique.

Une autre importante collaboration est pareillement ouverte avec le département optoélectronique du laboratoire d'électronique Philips de Limeil-Brévannes (LEP). Cela va donner à l'équipe Decoster l'occasion de s'initier au domaine des photodiodes. Nombre d'études communes vont suivre, en particulier sur les photodiodes PIN, avec le développement de modélisations de plus en plus complexes. Dans la foulée, l'équipe va aussi se plonger dans l'étude des photodiodes à avalanches et dans l'étude des photodétecteurs à contacts Schottky, dits "MSM" (métal-semiconducteur-métal), l'une et l'autre dans une synergie très étroite avec les laboratoires de recherche de Thomson, Philips et enfin Alcatel.

Parallèlement à ces études de fond sur les photorésistances et les photodiodes une partie de l'activité de l'équipe déborde déjà sur des aspects plus systèmes des télécommunications optiques et, en particulier, sur les problèmes posés par les projets d'intégration monolithique des composants et équipements. C'est ainsi que, dans le cadre des partenariats industriels évoqués précédemment et souvent en "solo", grâce aux progrès constants de la technologie du CHS, plusieurs thèses sont consacrées à la réalisation

de photodétecteurs en structures guide d'onde optique, et plusieurs autres à la réalisation de modulateurs électro-optiques du type Mach Zender.

Vers la fin des années 80 l'équipe entre dans une nouvelle phase de son expansion avec l'avènement des systèmes mixtes de communications, utilisant conjointement optique et micro-ondes. Le mariage fibre-radio est entrain de s'imposer par les avantages qu'il cumule : très faibles pertes de transmission et immunité aux parasites électriques pour la première, flexibilité d'implantation pour la seconde. Le fait d'appartenir à un laboratoire massivement engagé dans les études micro-ondes est un atout de poids pour que l'équipe Decoster se lance dans cette nouvelle direction. L'incitation lui en est fournie par le centre de recherche Alcatel de Marcoussis. Dès lors, beaucoup de thèses vont comporter des études alliant optique et micro-ondes, la préoccupation principale étant d'assurer le meilleur interfaçage possible entre les différents maillons de la chaîne de transmission, de l'émission à la réception, à la fois sur le plan optique et sur le plan micro-ondes.

La première moitié de la décennie 90 est la période où le nombre des chercheurs permanents de l'équipe atteint son apogée avec la venue, à l'issue de leurs thèses, de J.P. Gouy, J. Harari et S. Maricot. Ce renfort du staff d'encadrement permet une nouvelle avancée des études sur les composants optiques et opto-microondes et leur évolution vers des fonctionnalités de plus en plus complexes, à forte implication "systèmes". C'est ce que nous allons voir dans ce qui suit en passant en revue les principales nouveautés émaillant l'activité de l'équipe sur toute la décennie 90.

Il y a, d'abord, en tout début de cette décennie, l'irruption des lasers dans la panoplie déjà bien fournie des travaux de l'équipe. Il s'agit des lasers à semi-conducteurs. Leur arrivée à maturité un peu partout dans le monde, avec un fonctionnement à température ambiante, doit beaucoup aux récents progrès accomplis en matière de croissance épitaxiale. La maîtrise des hétérojonctions et des puits quantiques en semi-conducteurs III-V s'avère décisive pour assurer l'indispensable confinement optique créant la cavité laser. C'est, encore, dans une collabora-

tion avec Thomson que l'équipe se lance dans cette voie supplémentaire. Sa première contribution consiste à élaborer une modélisation de type circuit pour les lasers de la filière GaAs réalisés par l'industriel. Cette première intervention, basée essentiellement sur une approche théorique et des mesures de caractérisation, va servir abondamment dans les travaux ultérieurs. La technologie du laboratoire prend ensuite un rôle croissant, principalement après 1992 lorsque le CHS devient IEMN. L'équipe de D. Decoster est alors amenée à participer à la plupart des avancées effectuées sur cette période et ce, en synergie permanente avec les laboratoires de Thomson, d'Alcatel-Marcoussis, du CNET ... C'est ainsi que vont se révéler particulièrement marquantes ses études sur les lasers multi électrodes pour applications hyperfréquences et, par ailleurs, ses travaux concernant les lasers 1,3 et 1,55  $\mu\text{m}$  sur substrat InP avec pour couches de confinement des multipuits quantiques à base d'alliages GaInAs, AlGaInAs et GaInAsP

L'extension des réalisations à des filières de semi-conducteurs III-V autrement plus difficiles que la filière GaAs n'est pas la seule prouesse accomplie par l'équipe sur le plan "technologie". En effet, la diversification porte sur beaucoup d'autres sujets. Ainsi, la technique de l'éclairage latéral par la tranche des photodétecteurs devient quasiment la règle, aussi bien pour les diodes que pour les transistors, ceci permettant de découpler optimisation optique et optimisation hyperfréquence. Par ailleurs, des études exploratoires sont effectuées sur la technique de report des composants opto sur silicium, dans le but d'une hybridation des réalisations et d'un abaissement des coûts. Enfin, la filière des polymères est également explorée, pour la réalisation de guides et circuits optiques. Cette dernière étude venant compléter les travaux sur les diodes et transistors à base de ces matériaux faits au sein l'équipe "Nouveaux Matériaux" de A.Chapoton.

Les aspects proprement dits " systèmes " ne sont pas en reste. Ainsi, la synthèse de retards à grande dynamique par guides optiques fait l'objet d'une vaste étude, en vue d'applications aux antennes actives à balayage. Des ensembles complexes de commutateurs optiques sont ainsi réalisés en filière GaInAs/InP, la fonction

"miroir" étant remplie par variation d'indice sous injection de porteurs. Egaleme nt sur ce plan "systèmes", les projets de réseaux picocellulaires des télécommunications, avec distribution sur porteuse hertzienne millimétrique en extrémité de liaison optique, donnent cours à de multiples investigations. Le problème majeur étant de trouver la technique la meilleure pour assurer la transduction optique-millimétrique, l'équipe est amenée à se plonger dans des techniques aussi élaborées que :

- le battement de deux ondes optiques dans le photodétecteur, impliquant en émission un laser bimodes ou deux lasers couplés,
- la génération d'harmoniques à partir du laser d'émission,
- le verrouillage optique d'oscillateurs millimétriques utilisant soit des phototransistors à hétérojonctions soit des transistors "FEC-TED", à effet GUNN, réalisés avec l'équipe de P.A.Rolland.

Il va sans dire que le développement de tout cet ensemble de travaux nécessite, en parallèle, le développement de modélisations extrêmement puissantes, à deux, voire trois, dimensions, résolvant, à l'intérieur de chaque partie de composant ou circuit, les équations de transport électronique et les équations de propagation optique. C'est ainsi que va être développée par l'équipe toute une panoplie de modèles basés sur la méthode des faisceaux propagés (BPM), méthode permettant de calculer le champ à l'intérieur d'une structure, aussi complexe soit-elle, et de visualiser le parcours du faisceau lumineux.

A l'orée de l'année 2000, c'est-à-dire à peine vingt ans après le début de cette activité "optoélectronique", le chemin parcouru est impressionnant. L'équipe de D. Decoster a acquis une très large notoriété. Ses nombreuses coopérations avec Thomson, Philips, Dassault, Alcatel, le CNET, la DGA, le CEA-LETI, British-Telecom... et avec les laboratoires universitaires nationaux et internationaux les plus renommés en témoignent de manière éloquent e. Cette percée repose sur une remarquable expertise au plan théorique et sur une intégration complète des possibilités offertes par les installations technologiques du laboratoire. Enfin, signe révélateur de l'ampleur du travail accompli, une quarantaine de thèses sont à mettre au crédit de



l'équipe " opto ", avec pour auteurs : L.Joannes (1994\*), I. Sobhy (1994\*), E.R. Peredo  
M.H.Évanno (1983\*), M. Berdaï (1984\*), Perez (1994\*), Y. Raffle (1994\*), R. Hamelin  
J.P.Vilcot (1984\*), D. Remiens (1986\*), A. Boyodi (1995\*), O. Rabii (1995\*), I.S. Achour (1995\*),  
(1987\*), J.Ramdani (1987\*), H. Verrielle (1987\*), F.Journet (1996\*), J. Van de Castele (1996\*),  
F.Mallecot (1988\*), J.P. Gouy (1989\*), E.Goutain (1996\*), G. Jin (1997\*), S. Mezzour  
H.Téhérani (1989\*), D. Bourreau (1989\*), (1997\*), W. Tchana (1997\*), V. Magnin (1998\*),  
J.F.Vinchant (1990\*), S. Aboulhouda (1990\*), I.Cayrefourcq (1998\*), M. Fendler (1999\*),  
A. Aboudou (1991\*), J. Harari (1991\*), S. Maricot F.Jorge (1999\*), C. Sion (1999\*), B. Bellini (2000\*),  
(1992\*), F. Oustati (1992\*), H. Elkhadi (1993\*), S.Dupont (2000\*), ...  
E.Dogheche (1993\*), A. Bellarbi (1993\*),



## 4. Conclusion

Au terme de cette rétrospective il paraît opportun de porter un dernier regard, cette fois global, sur ce qu'a été l'activité des électroniciens lillois au cours des trois décennies comprises entre 1968 et 2000. L'impression dominante que le lecteur peut en garder est celle d'un bouillonnement très souvent effréné, voire d'une certaine "cacophonie", dans la mesure où, dans le feu de l'action, les très nombreuses initiatives des uns et des autres ont été parfois jusqu'à la compétition interne. Ce bouillonnement est bien une réalité et, somme toute, n'est que le reflet naturel au plan local lillois de la formidable expansion que connaît partout la discipline électronique depuis l'avènement des semi-conducteurs. Depuis 1970 c'est bien à une véritable avalanche d'avancées technologiques que l'on a assisté en matière de transmission du signal, un nouveau composant ou une nouvelle technique venant, sans arrêt, supplanter ce qui précède. Les électroniciens lillois se sont impliqués avec une belle vitalité dans cette course permanente et, comme on l'a vu, sont souvent parvenus à se glisser dans le peloton de tête.

Quel chemin parcouru de 1968 à 2000 entre l'activité fondatrice, presque artisanale, de l'Institut Radiotechnique et les fleurons de recherche avancée développés dans le cadre de structures telles que l'INRETS et l'IEMN ! Et pourtant, dans toute cette évolution, allant des propriétés diélectriques des liquides aux composants microélectroniques les plus divers, deux thèmes s'imposent par leur permanence. Il s'agit de la physique électronique et des ondes. Ces deux thèmes vont constituer le socle du développement de l'électronique lilloise et le demeurer même si, en raison des exigences de l'évolution des besoins, une part de plus en plus importante des préoccupations va être consacrée aux aspects touchant le traitement du signal, tant analogique que numérique.

Dosage raisonnable entre une approche par l'intérieur, par essence physique, et une approche par l'extérieur de nature fonctionnelle, cette orientation a reçu un large et permanent

satisfecit d'une part des étudiants et d'autre part des milieux professionnels. Ainsi, au cours des trente années considérées et si on se réfère aux seules formations dont l'UER IEEA a eu directement la responsabilité, le décompte des étudiants diplômés indique qu'ils ont été un peu plus de 2000 pour la Maîtrise EEA filière électronique et la Maîtrise Télécommunications, environ 600 dans les trois DESS de Microélectronique - Microondes, Communications Mobiles et Technologie et Logistique en Biologie et Médecine, et un peu plus de 500 en Doctorat d'Electronique. A ces étudiants, relevant en propre de l'UER IEEA, on peut également ajouter un nombre probablement tout aussi important de diplômés issus d'autres entités de formation comme l'EUDIL, l'ENIC, l'IUT, le CNAM... ayant chacune une spécialisation ou une option à laquelle participent activement les électroniciens de l'Université de Lille I. L'essaimage régulier de tous ces étudiants dans l'activité professionnelle fait, qu'en l'an 2000, rares sont les entreprises de l'hexagone et grands groupes européens travaillant dans les télécommunications, la défense, l'aéronautique, le spatial, la domotique... qui ne connaissent pas encore le pôle lillois d'électronique.

Après cette synthèse finale et ayant vu auparavant, de manière détaillée, les éléments sur lesquels elle se fonde, il nous reste, maintenant à donner quelques projections de ce qu'il peut advenir comme évolutions du pôle électronique lillois au-delà de ce symbolique an 2000. Tout d'abord sur le plan de la formation une profonde refonte du cadre des enseignements est à prévoir, compte tenu de la mise en œuvre de la réforme dite "LMD" (Licence, Mastère, Doctorat). Cette réforme, avec un découpage flexible en modules et un séquençement à bac+3, bac+5 et bac+8, doit donner au 2ème et 3ème cycles universitaires français un format enfin compatible avec leurs homologues anglo-saxons et européens. En particulier, le DEA et les DESS doivent, sous l'effet de cette refonte, devenir

2ème année de Mastère tandis que la filière électronique de la Maîtrise EEA et la Maîtrise Télécommunications doivent se muer en 1ère année de Mastère ! De cette réforme doit, à coup sûr, résulter une ouverture accrue de l'électronique lilloise sur l'Europe et au delà de l'Atlantique. Le brassage d'étudiants et, également, de chercheurs et enseignants, amorcé dans la décennie 90, ne peut que s'amplifier. Au delà de la mise en place de la réforme LMD la dimension internationale du Doctorat devrait aussi largement bénéficier de la création, annoncée comme imminente, des "collèges européens". Ceux-ci constituent pour les laboratoires d'électronique une importante opportunité de pérenniser une présence, maintenant solidement établie, au sein des réseaux doctoraux internationaux.

Sur le plan des orientations de recherche on peut pronostiquer, sans grand risque de se tromper, à la fois la poursuite du regroupement des électroniciens lillois mais aussi de la Région Nord Pas-de-Calais autour de cette vaste structure fédérative qu'est l'IEMN, et une évolution de plus en plus rapide des thèmes du "micro" vers le "nano" avec, à la clé, la mise en œuvre de coopérations transversales et pluridisciplinaires associant dans des projets communs électroniciens, informaticiens, biologistes, chimistes, mécaniciens ... Cette évolution vers la pluridisciplinarité est déjà en germe dans la décision prise par le Ministère de la Recherche et de la Technologie et par la Région Nord-Pas de Calais de mettre sur pieds, sur le site de la Haute Borne à Villeneuve d'Ascq, un Institut de Recherche sur les Composants logiciels et matériels pour l'Information et la Communication Avancée

("IRCICA").. Le fait qu'un électronicien et ancien directeur de l'IEMN, en l'occurrence G.Salmer, soit chargé de cette mission est, sans aucun doute, le signe que l'électronique lilloise sera bien présente dans cette coopération avec les autres disciplines. Le passage du "micro" vers le "nano", quant à lui, risque d'être accompagné de nombreux bouleversements technologiques. En effet, la miniaturisation des composants n'est pas illimitée et, comme il a déjà été prouvé (à l'exemple des transistors), celle-ci va se heurter aux limites de validité des lois de la physique classique. Ainsi, la diminution ultime des dispositifs ne peut être accompagnée de performances à la hauteur des enjeux que dans la mesure où de véritables ruptures sont effectuées en matière de matériaux, avec la mise en œuvre de nouvelles filières et, bien entendu, un accompagnement adapté d'outils de caractérisation et modélisation. Des exemples tangibles en sont déjà fournis. Ce sont, entre autres, les nanotubes de carbone avec leur remarquable éventail de propriétés (thermiques, mécaniques, électriques), mais, aussi, les nouveaux polymères et leurs perspectives d'applications aux vêtements communicants et étiquettes d'identification (technique RFID), ou, encore, les matériaux biocompatibles et leurs perspectives d'intégration dans l'organisme humain... Il est clair que les électroniciens lillois sont déjà largement préparés à de telles ruptures et que cette électronique ultra miniaturisée, multi matériaux, multi applications, fondement incontournable du "monde communicant" de demain, ne devrait pas leur poser trop de remises en question culturelles.



# ANNEXE I

## **Personnels attachés en 1968\* au service Electronique du Département E.E.A. au titre de l'enseignement et/ou de la recherche**

### **Professeurs et Maîtres de Conférences\*\* :**

M. Abbar, E.Constant, R.Gabillard, A.Lebrun, R. Liébaert, Y.Leroy, M. Moriamez, L.Raczy, G.Salmer \*\*\*

### **Maître Assistants et Assistants :**

F. Bliot, B. Boittiaux, M. Brayer, M. Chivé, Y. Crosnier, P. Delecroix, M. Descamp, J.P. Dubus, R. Fauquemberg, J.M. Fontaine, J.P. Fontaine, M. Lefebvre, M. Lobry, F. louage, B. Ponchel, A. Risbourg, P. Tabourier, P. Théry, J.M. Wacrenier

### **Chercheurs et Ingénieurs CNRS ou autres :**

A.Chapoton, J. Baudet

### **Techniciens, agents de service et administratifs :**

J.C. Andries, J.P. Dehorter, C. Druon, Haquette, J.C. Jennequin, J. Lemaire, J.P. Lestamps, P. Michon, G. Pluquet, J. Vanbremeersch, D. Van loot, F. Wattrélot  
Mmes Copin, Frankin, Haquette, Y. Knudde, Pasquier

- \* recensement établi partiellement avec le Guide de l'Etudiant de l'Université de Lille de 1968 et complété par des témoins de cette époque.
- \*\* le Maître de Conférences de 1968 est équivalent au Professeur de 2ème classe d'aujourd'hui.
- \*\*\* nommé effectivement en 1969, à son retour de coopération.



## ANNEXE II

### **Personnels attachés en 1992\* au service Electronique de l'U.F.R. I.E.E.A. au titre de l'enseignement et/ou de la recherche**

#### **Professeurs et Directeurs de recherche CNRS :**

E. Allamando, A. Cappy, E.Constant, A.Chapoton, M. Chivé, Y. Crosnier, P.Degauque, D.Decoster, J.C. Dejaeger, A. Derycke, Y. Druelle, C. Druon, J.P. Dubus, R. Fauquembergue, R.Gabillard, P. Kennis, A.Lebrun, M. Lefebvre, Y.Leroy, D. Lippens, F. Louage, J.Pribetich, L.Raczy, P.A.Rolland, G.Salmer, P. Tabourier, P. Théry, J.Vindevoghel, J.M.Wacrenier, J. Zimmerman,

#### **Maîtres de Conférences, Attachés d'enseignement et de recherche et Chargés de recherche CNRS :**

R. Allam, N. Baghdad, S. Baranowski, A. Benlarbi, B. Bocquet, B. Boittiaux, B. Bonte, J.C. Carru, C. Dalle, F. Danneville, G. Dambrinne, P. Delecroix, B. Démoulin, M. Descamp, P. Descheerder, P. Desplanques, V. Devlaminck, L. Dubois, B. Dujardin, J.J. Fabre, L. Faucon, M.R. Friscourt, E.Gaviot, H. Gérard, P. Godts, N. Haese, H. Happy, M. Hochedez, F. Huret, R. Kozlowski, D. Leclercq, J.F. Légier, C. Legrand, P. Loosfelt, A. Mamouni, P. Mariage, Y. Nguyen, D. Matton, J. Pauquet, M. Pernisek, P. Pribetich, G. Ravalitera, C. Sion, P. Razloznik, C. Séguinot, J.L. Thobel, J.P. Vilcot, M. Vindevoghel, F. Wattiau, F. Wauquier

#### **Ingénieurs et Techniciens CNRS ou autres :**

J.C. Andries, J. Baudet, D. Dégardin, J.P. Dehorter, M. Démoulin, E. Delos, M. François, B. Grimbert, A. Fattorini, J.C. Jennequin, L. Kone, P. Legry, J. Lemaire, S. Lepilliet, A. Leroy, J.L. Lorriaux, M. Miens, P. Michon, M. Muller, E. Playez, C. Semet, P. Tilmant, J.C. Vandevelde, J.Vanbremeersch, D. Vandermoere, B. Verbeke, F. Wattrelot

#### **Administratifs et Agents de service :**

D. Abraham, P. Armant, J. Atienza, R. Castegnier, J.M. Charlet, J. Charvet, C. Cheroutre, B. Dekimpe, J. Fall, M. Fargue, M. Fugère, J. Lechien, J. Louchard, N. Meesmaecker, D. Vanbremeersch

recensement effectué à partir de la liste électorale de l'U.F.R. I.E.E.A. (élections au Conseil d'U.F.R.) et de recoupements dans les rapports d'activité des laboratoires de recherche du service Electronique.

## ANNEXE III

### La filière des Techniciens Supérieurs en 2ème cycle E.E.A.

L'ouverture, dès 1968, du 2ème cycle universitaire aux techniciens supérieurs titulaires d'un D.U.T. ou d'un B.T.S. est une particularité lilloise qui a accompagné le démarrage de la licence et de la maîtrise E.E.A.

Les Instituts Universitaires de Technologie (I.U.T.) ayant été officiellement ouverts en 1966, l'année 1968 vit la sortie de leurs premières promotions. Lille fut dans ce cas. En effet, la Faculté des Sciences de Lille possédait déjà, depuis longtemps, dans le cadre de l'Institut Radiotechnique, une section de B.T.S. et, compte-tenu de son contexte universitaire, celle-ci avait quasiment toutes les caractéristiques pouvant la faire assimiler à un département d'I.U.T. C'est la raison pour laquelle, à la demande de son Directeur de l'époque, R. Liébaert, elle se transforma illico en Département de "Génie Electrique" et que sa première promotion titulaire du D.U.T. sortit, comme dans toute la France, en 1968.

Ce nouveau 1er cycle universitaire, à vocation technologique et destiné en principe à préparer à une insertion professionnelle immédiate, ne pouvait pas rester sans possibilité d'ouverture sur une éventuelle poursuite d'études. Le Ministère de l'Education Nationale, conscient du problème, décida donc, par un décret promulgué fin 1967, d'ouvrir le 2ème cycle universitaire aux meilleurs étudiants des I.U.T. sur examen de dossier et par attribution de dispenses. Et, pour que les étudiants issus des sections de B.T.S. ne soient pas oubliés, un second décret, les concernant et reprenant le même type de dispositions, suivit au début de 1968.

C'est ainsi que, dès Juillet 1968, une cinquantaine de candidatures d'étudiants ayant obtenu un D.U.T. ou un B.T.S. furent adressées à l'E.E.A. lilloise. A. Risbourg, dont l'affinité et la sympathie pour les formations de techniciens supérieurs étaient de notoriété publique, voulut bien prendre en main cette première "fournée" de dossiers... La "Commission des Dispenses" était née ! Au cours des années suivantes, le flux des demandes d'admission ne cessant de croître et la question des dispenses de techniciens supérieurs dépassant le simple cadre de l'E.E.A., la Commission des Dispenses devint un organisme de l'ensemble de l'Université avec des prérogatives qui, par la force des choses, s'étendirent aussi à tous les niveaux universitaires, c'est-à-dire 1er, 2ème et 3ème cycles, et à de multiples catégories de postulants, autres que les techniciens supérieurs. Compte-tenu de sa position de précurseur et de sa compétence en la matière, A. Risbourg fut appelé à jouer un rôle essentiel au sein de cette commission, d'une part comme représentant de l'E.E.A. et, finalement comme Président. A titre indicatif, pour situer l'importance du travail accompli par la dite commission, en 1990 A. Risbourg eu à traiter personnellement quelque 800 dossiers !

Cet historique de la filière des Techniciens Supérieurs en E.E.A. ne peut se terminer sans mettre en exergue son bien fondé. En effet, il est patent que les étudiants recrutés par les I.U.T., à l'époque de leur création et au cours des premières décennies de leur existence, étaient avant tout attirés par le professionnalisme de ce type de formation et par la quasi certitude d'avoir un diplôme débouchant sur un emploi généralement intéressant, avec un bagage permettant une adaptation relativement aisée aux évolutions du monde professionnel. Il est clair que les meilleurs d'entre eux auraient pu, tout aussi bien, se lancer d'emblée dans une filière d'études universitaires longues. Cette possibilité de passer d'un premier cycle de technicien supérieur à un deuxième cycle d'université a institué une passerelle particulièrement opportune. Une "deuxième chance" en quelque



sorte ! Les exemples de réussite éclatante à l'issue de ce cursus sont très nombreux. Beaucoup, parmi ces anciens techniciens supérieurs, ont poursuivi leurs études bien au delà du 2ème cycle, en intégrant une école d'ingénieurs ou un DESS, ou en devenant enseignant après un CAPES, CAPET ou une Agrégation, ou en devenant enseignant-chercheur dans l'enseignement supérieur après une thèse....

Et, il n'est pas rare de retrouver certains d'entre-eux dans les plus hautes fonctions comme responsables d'importants services ou comme dirigeants dans les organismes publics et dans les entreprises.

## ILLUSTRATIONS



André Lebrun (à droite), au cours d'un colloque, au milieu des années 60.



Robert Gabillard (à gauche) et André Lebrun, au milieu des années 60.



**Eugène Constant, en pleine manipulation, vers la fin des années 60.**



**Georges Salmer (au premier plan), devant le stand du Centre Hyperfréquences et Semiconducteurs lors d'une exposition au Palais Rameau de Lille, en 1982.**





**Les bâtiments P3 et P4 (en arrière plan), lieux de l'implantation initiale en 1967 du service d'Electronique sur le campus de l'Université de Lille I à Villeneuve d'Ascq.**

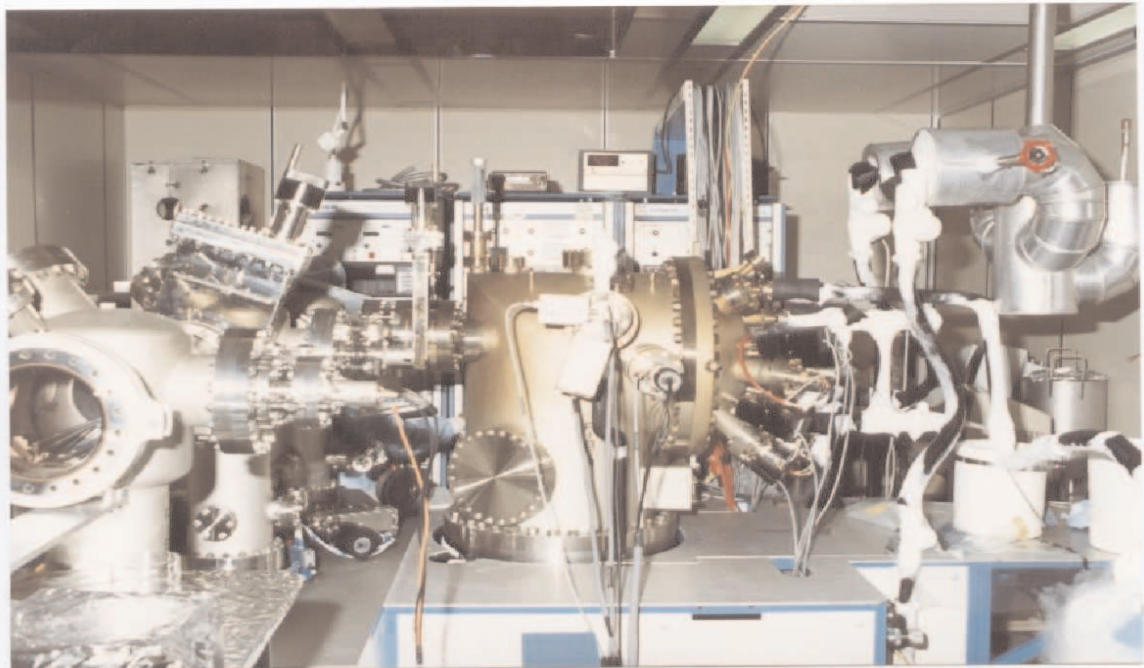


**Banc " analyseur de réseaux " de la Centrale de Caractérisations du Centre Hyperfréquences et Semiconducteurs, vers 1990, dans sa localisation au bâtiment P4.**





**Banc de ponts de mesure automatiques de la Centrale de Caractérisations du Centre Hyperfréquences et Semiconducteurs, vers 1990, dans sa localisation au bâtiment P4.**



**Le premier bâti d'épitaxie par jet moléculaire installé en 1985 au bâtiment P3, dans le cadre du Centre Hyperfréquences et Semiconducteurs.**



**Autre vue de ce même bâti d'épitaxie par jet moléculaire avec son dispositif de refroidissement à l'azote liquide.**



**La salle de réalisation des masques de la Centrale de Technologie du Centre Hyperfréquences et Semiconducteurs, au bâtiment P3, dans les années 80.**





**Début, en 1990, de la construction de l'IEMN à la sortie " Quatre Cantons " sur le campus de l'Université de Lille I à Villeneuve d'Ascq.**



**Fin des travaux de construction de l'IEMN en 1992.**



**Eugène Constant et Jacques Vanbremeersch sur le chantier de construction de l'IEMN, en 1992.**



**L'intérieur de l'IEMN, à la fin de sa construction en 1992, là où va être implantée la Centrale de Caractérisation.**

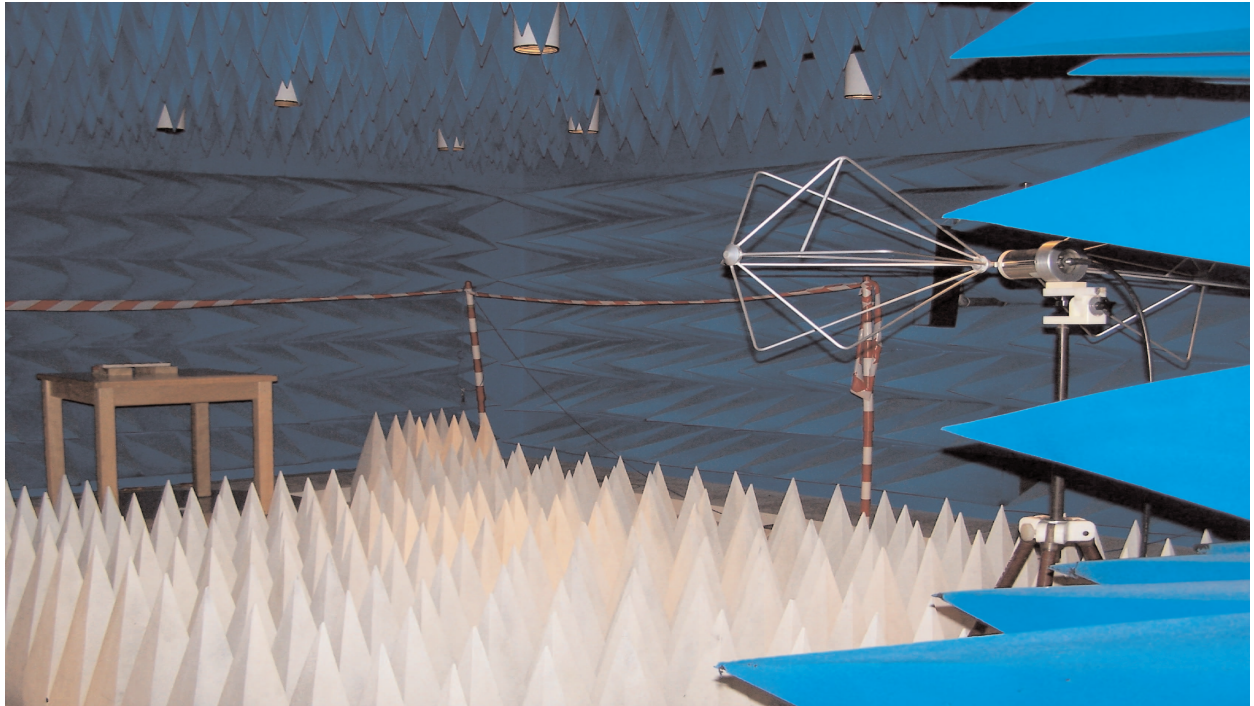




**Eugène Constant à l'IEMN, vers l'an 2000.**



**Georges Salmer dans une manifestation officielle à l'IEMN, vers l'an 2000.**



**La chambre anéchoïque du Laboratoire de Radiopropagation et Electronique installée en 1990 au bâtiment P3.**



**La chambre réverbérante à brassage de modes du Laboratoire de Radiopropagation et Electronique installée en 1990 au bâtiment P3.**