

Confessions d'un ingénieur lithographe

Emmanuel de Chambost, Avril 2023

A l'origine de ce texte, une demande de Thierry Laboureau, animateur du groupe Histoire de l'AICPRAT (association des retraités du groupe Thales), pour que j'apporte un témoignage sur la SESCOSEM.

Un peu gêné par le fait que je n'ai connu la SESCOSEM que ponctuellement, je me suis quand même risqué à cette recherche du temps perdu où j'espère ne pas engloutir le lecteur. Il en est sorti ce récit autobiographique que j'aurais pu intituler « Moi et la loi de Moore » ... récit qui déborde largement les débuts de ma vie professionnelle à Thomson-CSF

1948- 1965, des origines à la loi de Moore.....	1
Une solide formation.....	3
1969 La SESCOSEM de Grosvalet.....	4
1970 Bagneux, la Nanoélectronique (1).....	6
1972 Corbeville, La Nanoélectronique (2).....	9
1974, la microlithographie par faisceau d'électrons.....	12
1982 L'affaire de la Microlithographie.....	16
1984-1986 L'affaire Cambridge.....	17
Pour en finir avec la microlithographie.....	22
1987-1989 Détour par les réseaux neuronaux.....	22
1990-2009 Toujours la loi de Moore.....	23

1948- 1965, des origines à la loi de Moore

Je suis né en 1948, l'année où William Schockley et ses frères ennemis des *Bell Labs*, Bardeen et Brattain déposèrent le fameux brevet à l'origine du transistor bipolaire et de l'électronique « état solide ». En français, dans la langue courante, le transistor désigna le poste de radio où les lampes avaient été remplacées par des transistors, ce qui le rendait portable.



1948 aux Bell Labs, Shockley, Bardeen et Brittain mettent au point le premier transistor



1948, l'auteur, à droite, sur les genoux de sa mère, en compagnie de sa tante et de son cousin.

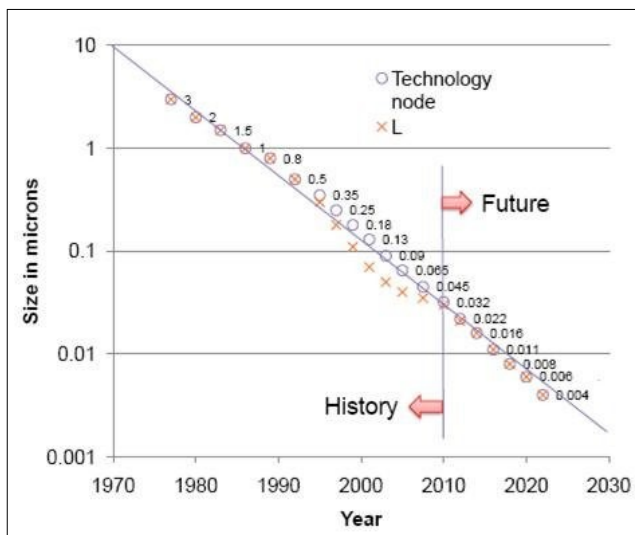
Je dus attendre d'avoir 16 ans révolus pour devenir propriétaire d'un transistor de bonne facture. Je l'avais gagné au jeu de "l'Ami sincère" diffusé à midi sur Europe-1 et patronné par la maison Singer. Le jeu avait été enregistré dans un magasin d'électroménager de l'avenue des Ternes. Je m'étais distingué aux éliminatoires en donnant la date de la mort de Jeanne d'Arc, et, qualifié, j'avais pu répondre aux six questions dont j'ai oublié l'énoncé, mais elles étaient faciles, car j'avais joué la prudence en concourant dans la catégorie aspirateurs plutôt que dans celle des téléviseurs. Je m'étais préalablement assuré que je pourrais échanger l'aspirateur contre un transistor. Par la suite, ce transistor m'a permis d'acquérir un bon niveau de base sur les chansons des années soixante.

Cette même année 1965, Gordon Moore, directeur R&D de la société *Fairchild Semiconductor* à San Jose, Californie, écrivait dans un numéro spécial de la revue *Electronics* :

La complexité des coûts minimaux des composants s'est accrue chaque année d'un facteur à peu près deux. A court terme, on peut certainement s'attendre à ce que ce taux se maintienne, voire augmente. À plus long terme, le taux d'augmentation est un peu plus incertain, bien qu'il n'y ait aucune raison de penser qu'il ne restera pas pratiquement constant pendant au moins 10 ans.

Moore était l'un des *traitorous eight* qui avaient quitté le *Shockley Semiconductor Laboratory* que William, déjà cité, avait installé à *Mountain View*, dans le secteur de la baie de San Francisco, non loin de San Jose.

Cette prédiction d'une croissance exponentielle de la complexité des circuits intégrés semi-conducteurs fut connue sous le nom de loi de Moore, matérialisée par une courbe qui s'étendra bien au-delà de l'unique décennie prudemment évoquée par Moore.



Une des conséquences de la loi de Moore est l'inéluctable réduction de la largeur des grilles de transistors des circuits intégrés. Elle était de 10 micromètres en 1970 quand j'effectuais mes premiers stages, quelque part entre 1 et 0,5 μm lorsque je quittais Thomson-CSF en 1989, et entre 200 et 50 nanomètres dans les années 2000, lorsque je repris contact avec l'industrie des semi-conducteurs par le biais du contrôle de process.

A vrai dire, de l'électronique je ne connaissais que le nom qui évoquait une discipline plutôt moderne sans trop savoir de ce qu'elle recouvrait exactement. Dans mon entourage, très peu d'adeptes du fer à souder, ces geeks de l'époque qui, dans les booms, veillaient jalousement sur leurs amplis 50 Watts, souvent décapotés en fin de soirée, laissant apparaître les filaments incandescents des tubes qui tenaient tête aux fameux transistors. Le monde de la technique était pour moi une terra incognita. Tout juste, certains de mes aînés murmuraient, sentencieux, que l'avenir était dans l'informatique.

Une solide formation

Cette insondable ignorance ne constitua en aucune façon un quelconque handicap pour intégrer deux ans plus tard Supélec, alors basé à Malakoff. Mon prof de physique du lycée Saint-Louis m'avait encouragé « C'est une bonne boîte ». J'étais soulagé de n'avoir été reçu dans aucune autre école du même niveau, je n'avais pas à choisir. Pour autant, je ne pouvais pas me projeter trois ans plus tard exerçant un métier plus ou moins technique. En ce temps-là, les élèves ingénieurs pouvaient suivre en cours du soir un cursus accéléré et passer une licence de sciences éco au bout de trois ans. Je m'inscrivais à la faculté d'Assas. Quatre mois plus tard, à onze heures du soir, chevauchant mon solex dans un Paris enneigé après une triste soirée dans un amphi, je réalisais l'absurdité de la situation. En fait, subissant, comme cela est assez courant, les contrecoups de mes deux années de classes préparatoires, j'avais beaucoup de mal à m'accrocher aux cours que ce soit à Supélec ou en fac de droit. J'abandonnais les cours du soir mais ne devins pas pour autant plus assidu aux amphis de Malakoff. J'améliorais par contre mon niveau de flipper, « Chez Maurice », addict aux claquements des parties gratuites, avec mon copain Jean-Raphaël connu en math sup sur les bancs de la classe de M. Guitton. Sorti des frimas hivernaux, le printemps 1968 exhala ce parfum singulier qui bouscula notre torpeur. Claquement de partie gratuite ... allez, on y va !... foutre en l'air la société, ça ne pourra pas être pire que ce que c'est.

A la rentrée en deuxième année, pilier du "CBS", Comité de base Supélec, je fus moteur dans l'opération « Un collier pour Janet » du nom du physicien ancien directeur de l'école, dont la statue trônait à l'entrée de l'amphi éponyme. L'idée était de rassembler tous les jetons de présence numérotés dont les élèves étaient munis et qu'ils déposaient à l'entrée des cours dans les sacs tendus par les appariteurs. Les élèves de première année devaient justifier de 80 % de présence en amphi et ceux de deuxième année de 60 %. L'opération « un collier pour Janet » fut un grand succès, la majorité des élèves nous confièrent leurs jetons et le buste de l'illustre ancien magnifiquement mis en valeur par le somptueux collier dont il ne reste pas de trace. Heureuse époque où la photo ne s'imposait pas pour attester la réalité du moindre évènement. Le jetonnage fut supprimé. Plus besoin donc d'aller à l'école le matin pour refiler ses jetons à des camarades plus assidus. Les différents professeurs de Supélec manifestaient très inégalement leur charisme, mais tous les cours

étaient couverts par d'excellents photocopiés et je pris l'habitude de potasser l'ensemble des polys la nuit avant l'examen trimestriel.

1969 La SESCOSEM de Grosvalet

Cet effort minimum ne me permettait pas bien sûr, de conserver mon classement d'entrée, je rétrogradais vers l'arrière du peloton, avec une petite marge de sécurité pour ne pas risquer une relégation qui restait très exceptionnelle. Je devais choisir une spécialisation de troisième année. Une section avait été créée, « Microélectronique », plus ou moins orientée vers la recherche en ce sens qu'elle prévoyait un second semestre complet en stage dans un labo de recherches et qu'elle proposait un programme relativement ouvert vers la physique du solide. Je décidais que c'était là ma vocation et pour m'y préparer je demandais à mon professeur de mécanique quantique une recommandation pour mon stage de seconde année. Il m'aiguilla sur Jean Grosvalet, directeur du laboratoire de la Sescosem au centre de Corbeville à Orsay. En fait, jusqu'en juillet 1969, Grosvalet était à la COSEM, mais en septembre quand j'effectuais mon stage, mon bulletin de paie émanait de la SESCOSEM, fruit de la fusion de la SESCO de Thomson avec la COSEM de CSF. Un stagiaire d'un mois de seconde année était rémunéré 700 F auxquels il fallait rajouter une prime de 300 F de rapport de stage. Une somme que l'on peut rapporter aux 500 francs que j'avais dû déboursier pour la magnifique 2CV jaune acquise à la fin du printemps et revendue le même prix à la rentrée. Ce mois de stage comptera pour un trimestre lorsque viendra le temps de comptabiliser les trimestres cotisés. Merci Monsieur Grosvalet.

Après cette longue digression sur ma jeunesse et ma vie étudiante j'en viens donc à l'objet de ce texte autobiographique : apporter par mon témoignage un certain éclairage à l'histoire des composants de Thomson-CSF.

Avant de me présenter à Jean Grosvalet, en septembre 1969, sur le retour d'un périple en auto-stop qui m'avait conduit jusqu'à Ghardaïa et Hassi Messaoud, je passai la nuit du 20 au 21 juillet sur une plage de Kabylie, pas très loin d'Alger, et à mon réveil, un gamin m'annonça que des spationautes américains avaient marché sur la Lune. Ce qu'il ne me dit pas, c'est que le processeur du vaisseau Apollo 11 était constitué de 5000 portes NOR, d'une mémoire vive de 4 ko (kilo-octets) et d'une mémoire de masse de 72 ko, le tout pesant 32 kg.

Le lundi 1^{er} septembre, j'empruntai la RN306 qui n'avait pas encore été remplacée par la N118 pour me rendre au centre de Corbeville qui n'était plus depuis un an en Seine-et Oise, mais en Essonne et je me présentais, dûment cravaté, devant Jean Grosvalet, lui-même en manches de chemise blanche, bienveillant, mais qui en imposait quand même. Derrière lui, sur un grand tableau à l'ancienne, étaient inscrits les noms de ses lieutenants et les tâches qui leur avaient été assignées lors de la réunion de mise en route de la semaine : Pollard, Croset, Jund, Poirier. Grosvalet me dit que j'étais affecté au labo MOS de Pollard dont le principal sujet était la réalisation d'un circuit MOS qui consistait essentiellement en un diviseur de fréquence couplé à un quartz oscillant à 8000 Hz. L'ensemble pouvait représenter une centaine de transistors. Mon travail consistait à optimiser les modules de base sur des maquettes réalisées avec des composants discrets. Dans le labo, je ne voyais pas beaucoup Pollard, mais plutôt Boudry, discret et bienveillant et Rietsch, un grand barbu rouquin qui comprit vite que je n'avais jamais manié un fer à souder. Je ne dirais pas que j'ai appris à souder pendant mon stage, mais plutôt que j'ai appris que je ne savais pas souder. Première découverte de l'entreprise, avec les apéros presque quotidiens pour fêter toutes sortes d'évènements. Le vendredi, il y avait la collation de 10h du matin avec pâté et vin blanc. A midi, chacun allait à la cantine avec les membres de sa caste : les ingénieurs avec les ingénieurs, à la cantine des cadres, les techniciens avec les techniciens, et les stagiaires avec les stagiaires, qui se demandaient, le premier jour, s'ils avaient droit d'aller à la cantine des cadres.

Je revoyais Grosvalet le dernier jour, très protocolairement, sans imaginer que j'avais en face de moi le second mari d'Angèle Salleyrette. J'ignorais à cette époque qui était Angèle Salleyrette¹. A ma décharge, elle était d'ailleurs une parfaite inconnue tant à Corbeville que dans la France toute entière. Je ne la découvris que vingt-cinq ans plus tard dans le premier cercle des dirigeants communistes français à la fin des années 1930. Après formation radio qu'elle avait suivie à Moscou, c'est par elle que passait les communications chiffrées entre le secrétaire général du Komintern



Dimitrov et le parti français. Proche collaboratrice et compagne de Maurice Tréand, elle suivit ce dernier dans sa « mise au vert », c'est-à-dire la disgrâce de ce dernier, compromis dans les pourparlers avec les Allemands en juillet 1940 pour la réparation officielle de l'Humanité. Le couple s'installa à Antony après la guerre, mais Maurice Tréand était déjà rongé par un cancer au poumon qui l'emporta en janvier 1949. Tréand était resté complètement à l'écart de tous les organes dirigeants du parti, mais il fréquentait ainsi qu'Angèle la cellule communiste locale où ils rencontrèrent un jeune ingénieur frais émoulu de l'ESPCI et embauché à l'ONERA dont il devint secrétaire syndical CGT moins d'un an après son recrutement. Révoqué de l'ONERA en raison de son positionnement politique, il fut embauché au département de recherches physico-chimique de la CSF en 1953. Je ne me

souviens plus où j'ai lu que Tréand et le jeune Grosvalet – ils avaient 22 ans de différence d'âge – jouaient ensemble aux échecs. Ce n'est pas du tout impossible. Contrairement à Thorez ou Duclos qui n'avaient pas bénéficié d'une formation scolaire au-delà du certificat d'études mais qui étaient de bons élèves et avaient une écriture facile, Tréand avait une orthographe déplorable, mais il avait une tête qui marchait très bien et ses talents d'organisateur lui avaient valu d'être repéré et promu au sein des instances officieuses et même officielles du parti.

Au cours de mon stage, j'avais appris le mot de « salle blanche », mais ce qu'il se passait vraiment dans la salle blanche du labo Pollard sortait de mon domaine d'intérêt, même si j'y j'effectuais une visite protocolaire et touristique.

L'enseignement qui me fut prodigué au sein de la section Microélectronique en dernière année de Supélec me donnèrent une petite culture touchant au monde mystérieux de la cuisine qui s'élaborait dans ces salles blanches. Michel Croset, notamment, l'un des lieutenants de Grosvalet nous donnait des cours de technologie des semiconducteurs. D'autres intervenants venaient du laboratoire de Thomson de Bagneux en cours de fusion avec les labos de recherches CSF de Corbeville, notamment Georges Pircher qui donnait un cours de magnétisme et Robert Lyon-Caen un cours sur les circuits logiques.

J'avais de bonnes raisons de vouloir faire mon stage du second semestre à Bagneux. J'étais devenu un militant zélé du PSU et notre petit groupe PSU de Supélec était plus ou moins jumelé avec la section d'entreprise du centre CSF du boulevard Gabriel Péri à Malakoff, au bout de la rue Pierre Larousse, adresse du site historique de l'école Supélec. Les étudiants effectuaient des distributions de tracts aux portes de la cantine, car la plupart des militants PSU de l'entreprise étaient également militants CFDT et ne voulaient apparaître publiquement qu'en tant que tels.

Au sein de la section Microélectronique, je n'avais nul besoin de dissimuler mon appartenance au PSU. J'arrivais à écouler chaque semaine une dizaine de *Tribune socialiste*, hebdomadaire du parti.

¹ Pour comprendre mon intérêt pour le sujet, voir E. de Chambost, *La direction du PCF dans la clandestinité (1941-1944)*, L'Harmattan, 1997.

Il était prévu que les camarades du PSU que je fréquentais devaient être mutés du centre CSF de Malakoff au centre Thomson de Bagneux dans le cadre de la très récente fusion Thomson-CSF. Je connaissais ce centre de Bagneux de façon livresque, pour avoir lu "La nouvelle classe ouvrière", un livre relativement connu, à l'époque, du sociologue Serge Mallet², lui-même adhérent au PSU, qui avait enquêté dans un certain nombre de sites industriels, et notamment le centre Thomson de Bagneux. Pour décrocher mon stage à Bagneux, non seulement j'avais suivi avec assiduité, mais j'avais manifesté jusqu'à la caricature mon intérêt pour le cours de Lyon-Caen, dont il faut bien dire que le niveau n'était pas très relevé.

1970 Bagneux, la Nanoélectronique (1)

Dès la fin de février 1970, j'émargeais donc comme ingénieur stagiaire au service Nanoélectronique de Bagneux qui dépendait déjà du LCR de Corbeville

Jacques Trotel a déjà livré son témoignage sur l'aventure de la Nanoélectronique³ qui débute en mai 1968 au centre de recherche de Bagneux, qui avait été le Laboratoire de Recherche générale de la division Tubes électroniques et qui n'avait pas encore tout à fait fusionné avec le LCR de la CSF. Le directeur Jean-Edgar Picquendar avait réuni à son domicile quelques ingénieurs de son groupe pour définir des axes de recherche pour les années à venir. L'idée force qui se dégagea de cette réunion était de remplacer un certain nombre de technologies de base de la fabrication des circuits intégrés pour réduire d'un ordre de grandeur la taille du composant de base, le transistor, dans les trois dimensions. On attribuait à Picquendar l'invention du mot « Nanoélectronique ». Quant au contenu, les ingénieurs de Bagneux avaient sans doute emprunté un certain nombre d'idées qui traînaient dans l'air : Pour la lithographie, il s'agissait de remplacer les photons par des électrons, la diffusion thermique des impuretés était remplacée par l'implantation ionique. La gravure chimique était elle-même remplacée par un usinage ionique. Comme l'a écrit Jacques Trotel :

L'objectif fixé au programme fut de réduire d'un facteur 10 toutes les dimensions des composants, donc de passer de quelques micromètres à quelques dizaines ou centaines de nanomètres

Dans ce texte, je parle de Jean-Edgar Picquendar, Jacques Trotel, Robert Lyon-Caen. Gardons à l'esprit qu'à l'époque, il était presque indécent dans le monde du travail de nommer le prénom de quelqu'un. Tout juste commençons-nous, entre étudiants, au sein de la section microélectronique, à nous appeler par nos prénoms.

Picquendar supervisait, je crois bien d'autres services que celui investi dans la Nanoélectronique, lequel était officiellement sous la direction d'Olivier Cahen, polytechnicien tout comme Picquendar, et accessoirement fils de Gilbert Cahen, polytechnicien et ingénieur général de l'armement. Il revenait donc au service de Cahen de relever le défi de la loi de Moore.

Trotel qui apparaissait déjà comme l'homme clé de la nanoélectronique supervisait l'assemblage des différentes machines qu'il avait conçues, secondé par deux agents techniques, Benoni Allanos pour le masqueur électronique et Jean-Pierre Nivolier pour le duplicateur électronique. Dans la perspective de production industrielle de circuits intégrés, il était clairement prévu que le masqueur serait un instrument adapté à la fabrication de circuits prototype et de masques 1:1, mais, du fait de son écriture séquentielle, serait trop lent et donc non compétitif pour la fabrication en série de circuits. La duplication du masque, en parallèle, était donc l'affaire du duplicateur électronique qui devait assurer avec des électrons le transfert de l'image entière du masque.

Le masqueur électronique consistait en une colonne de microscope électronique dont les bobines de balayage étaient pilotées par un ordinateur au travers d'un tiroir d'électronique digitale associé à un mouvement objet contrôlé par interférométrie laser. Le sujet de stage d'un stagiaire de Centrale était la mise au point de l'électronique qui comptait les franges de l'interféromètre.

² Serge Mallet, *La nouvelle classe ouvrière*, Editions du Seuil, 1963

³ Jacques Trotel, La Nanoélectronique et ses dérivés, dans *Histoire de la Recherche dans Thales*, coord. P.Hartemann et JP. Pujes, AICPRAT 2011, Tome 2, vol2, pp.11-15. Voir aussi J.E. Picquendar, *Nanoelectronics*, Proc. 5Th int. Conf. Electron and Ion Beam Science and Technology, Houston, May 1972, p.31

Avant que le masqueur ne soit encore en état de marche, un microscope électronique à balayage *stereoscan*⁴ fut dévoyé de son utilisation normale avec une méthode de *flying spot* pour réaliser des transistors MESFET sur AsGa avec des grilles de 1µm. Un docteur es sciences, Pham Ngu Tung, se démenait comme un beau diable pour sortir ces transistors avec les moyens technologiques mis à disposition par Albert Bobenrieth, ingénieur autodidacte et pionnier des réalisations de semiconducteurs chez Thomson.

Mon travail de stage consistait à modéliser ces transistors MESFET. Je saisis l'occasion pour apprendre à programmer en fortran, ce dont je m'étais dispensé durant mes études à Supélec. C'était l'époque où les terminaux de time sharing, c'est-à-dire des télétypes reliés à un ordinateur central, se répandaient dans tous les couloirs, on stockait ses programmes sur des bandes perforées jaunes que l'on enroulait religieusement dans des petites boîtes en plastique transparentes. Je me souviens d'une visite au LAAS de Toulouse avec Lyon-Caen, aller-retour sur Caravelle d'Air-Inter. Que diable allions-nous faire là-bas ? Le problème de ce groupe de nanoélectronique était qu'au-delà de la créativité de Trotel et du bagout de Picquendar, le niveau scientifique en matière de physique des semi-conducteurs était déficient si on le comparait à celui du groupe Grosvalet à Corbeville ou à celui du Leti de Grenoble, qui avaient noué des liens plus ou moins étroits avec les unités de production, notamment le centre SESCOSEM. Le rôle de Lyon-Caen se situait surtout dans le relationnel. En allant voir ces gens du LAAS, il s'agissait de faire mousser mon travail de stagiaire en leur faisant miroiter une éventuelle collaboration avec la nanoélectronique de Thomson.

Autour de Bobenrieth, les forces vives de la technologie consistaient en deux techniciens supérieurs, Christian Arnodo et André Cornette, proches de décrocher le diplôme d'ingénieur CNAM après un long parcours sacrificiel de cours du soir. Cette importance des ingénieurs sortis du rang avait été notée par Serge Mallet comme une des spécificités du centre de Thomson-Bagneux

La grande barrière qui s'élevait dans l'entreprise traditionnelle entre l'ingénieur chef d'exploitation et la masse des ouvriers qu'il supervisait est ici abattue. Pour reprendre une comparaison simple, les rapports entre l'ingénieur et le petit nombre des techniciens et ouvriers de son service s'apparentent à ceux qui unissent un commandant d'aviation à son équipage [...] Le haut niveau technique exigé des techniciens inférieurs et des ouvriers eux-mêmes les rapproche d'ailleurs de l'ingénieur sur le plan culturel.⁵

La pénurie générale des ingénieurs spécialisés en électronique, conséquence du retard de notre enseignement scientifique, fait d'ailleurs aux entreprises de ce type une véritable obligation de procéder régulièrement à ces promotions internes. C'est, pensons-nous, de là qu'il faut partir pour apprécier la couche des agents techniques, couche fondamentale puisqu'elle regroupe, rappelons-le 37 % du personnel de la Thomson-Houston [...] Les agents techniques ont la possibilité de suivre des cours de formation spécialisés, et d'accéder, par là-même à de nouveaux emplois bénéficiant d'une rémunération supérieure [...] Alors que dans le reste de la construction électrique, un ingénieur est un monsieur qui sort généralement de Supélec, à la Thomson, il y a environ 40 % d'ingénieurs autodidactes et 12 % qui viennent de petites écoles non reconnues...⁶

L'ascension technique et sociale de ces techniciens s'accompagnaient de l'appropriation des pratiques culturelles bourgeoises que sont le bridge et le tennis. Pour le tennis, il faudra attendre Corbeville, nous en reparlerons. Le bridge se pratiquait après le repas et la décence aurait voulu que les parties ne se prolongent pas au-delà de 14 heures. Il revenait normalement à Cahen de faire observer la discipline, mais le moins que l'on puisse dire est qu'il n'était pas particulièrement à l'aise dans ce rôle-là. Malgré son intérêt évident pour le bridge, il ne s'asseyait pas lui-même à la table, mais suivait les parties derrière les joueurs en tortillant de plus en plus ses mains pour manifester sa nervosité à partir de 14 heures. En 1970, la durée hebdomadaire de travail est encore de 45 heures, c'est-à-dire que l'on travaille le samedi matin. Les élèves du CNAM ont souvent des

4 *Stereoscan*, nom du célèbre modèle produit par *Cambridge Instruments*. *Stereoscan* était devenu le nom générique pour désigner les microscopes électroniques à balayage.

5 Serge Mallet, *La nouvelle classe ouvrière*, Editions du Seuil, 1963, pp.222-223

6 Serge Mallet, pp.228-229

cours le samedi après-midi. Qui veut aller loin ménage sa monture, c'est-à-dire que les journées de travail réservaient des moments de détente fréquents.

Au cours des deux années qui suivirent, mon parcours personnel dévia de la trajectoire rectiligne imprimée par la loi de Moore. J'effectuai mon service national dans le cadre de la coopération. J'enseignais les maths, la physique et l'anglais, sur les rives du Mékong, dans la bourgade de Paksane, qui n'était pas raccordée au réseau électrique, mais qui restait relativement paisible en dépit de la guerre qui ravageait les trois pays de l'ancienne Indochine française. J'avais glissé dans mes valises 4 tomes du fameux cours de Physique théorique de Landau et Lifchitz, publié en français aux éditions MIR et accessibles aux bourses d'étudiants. Je ne les ouvris guère et les utilisais plutôt comme presse pour les photos que je tirais dans le labo photo de l'établissement catholique dans lequel j'enseignais. En France, nous savions que les motos étaient devenues japonaises. En Asie, je découvrais que l'électronique était forcément japonaise. Lorsque je faisais mon stage chez Pollard, en pleine conception de la montre électronique, Seiko avait créé la surprise en mettant pour la première fois sur le marché une montre à quartz. Le prix, plusieurs centaines de dollars, en faisait un produit de luxe et justifiait les efforts de la Sescosem pour exister dans ce secteur.

Lorsque je revins en France, en 1972, j'avais dépensé toutes mes économies dans différents voyages, mais je pouvais m'offrir pour un prix dérisoire une montre à quartz Citizen. Inutile de dire qu'entre temps les projets de la Sescosem dans le domaine s'étaient évaporés.

1972 Corbeville, La Nanoélectronique (2)

Après deux ans où à la lumière des lampes à pétrole, j'avais lu plus de romans et de livres sur l'histoire de l'Asie que d'ouvrages de mécanique quantique, inutile de dire que je n'étais pas très à l'aise pour proposer mes services à un employeur. Je décidai de redoubler, en quelque sorte, en m'inscrivant à un DEA de physique des composants à l'Institut d'électronique fondamentale de l'université d'Orsay. La Nanoélectronique entre temps avait déménagé de Bagneux à Corbeville, et comme j'avais gardé de bonnes relations avec Lyon-Caen, Cahen et Picquendar, je pus négocier de faire mon stage de DEA tout au long de l'année, avec un appointements net de 1220 francs⁷, ce qui me permettait de vivre à peu près correctement dans la mesure où je vivais chichement, partageant la location d'un petit pavillon à Bures/Yvette avec un jeune couple et un ancien de la rue d'Ulm qui venait de Marseille pour faire des calculs nocturnes sur les gros ordinateurs de la fac d'Orsay. J'avais pu faire l'acquisition d'une mobylette grise d'occasion qui me permettait de faire les trajets entre Bures, la fac et Corbeville.

Je retrouvais donc à Corbeville tous les anciens de la Nanoélectronique que j'avais connu à Bagneux. Beaucoup en avait profité pour s'installer dans la vallée de Chevreuse. Cahen avait trouvé une maison à Gif et Picquendar à Saint-Rémy-lès-Chevreuse. Il avait même acheté un cheval nommé Marquis, et quand le temps s'y prêtait – ce qui était le cas au mois de septembre – il faisait le trajet de Saint-Rémy à Corbeville à cheval, laissait Marquis dans un enclos bordant la cantine et revenait au labo en culottes de cheval. Cette histoire fait partie de la légende de Corbeville, elle est véridique, je puis en témoigner, mais elle n'a guère duré, le nouveau directeur du LCR, Jean-Daniel Lefranc ne manqua pas de taper sur les doigts de celui qui se conduisait en féodal indiscipliné. Picquendar (X-1942) qui avait jadis chapeauté à Bagneux l'équivalent de presque tout un LCR n'acceptait pas évidemment pas l'autorité de ce blanc-bec (X-1953), dépourvu de toute légitimité scientifique.

A Corbeville, le paysage du silicium avait changé. Grosvalet était mort accidentellement en Yougoslavie laissant des orphelins d'autant plus désemparés que les liens organiques qui reliaient le laboratoire de recherche SESCOSEM aux unités de production, avaient été officiellement rompus. Le LETI, qui restait dans le giron du CEA, devenait plus ou moins le laboratoire de recherche des unités Thomson-CSF de semi-conducteurs, et les laboratoires ex-Grovalet se recasaient comme ils pouvaient au LCR ou ailleurs.

⁷ Un calculateur d'inflation donne l'équivalence 1400 euros 2023 pour 1220 francs 1972.

La Nanoélectronique avait suivi le chemin inverse. Le choix de l'AsGa était sans doute pertinent pour réaliser quelques transistors de course, mais il s'avéra rapidement que ce « matériau de l'avenir », dont on parlait déjà quand j'étais à Supélec, n'était pas encore mûr pour se lancer dans la course à l'intégration. La mise en route des machines de Tritel, usineur ionique, planteur et surtout masqueur électronique avait été une opération rondement menée et avait débouché sur la réalisation de circuits intégrés basée sur des MESFETs en Silicium. Pourquoi des MESFETs alors que dans le monde entier, les circuits logiques à large intégration étaient développés avec des MOSFETs, à l'instar du premier microprocesseur 4004 d'Intel ? Parce que la technologie de l'oxydation (le O de MOSFET) était délicate et nécessitait des salles blanches coûteuses, et qu'il n'était pas question d'investir dans une salle blanche puisqu'il en existait déjà une à Corbeville, très propre, celle qui avait été investie dans les circuits MOS pour montre à quartz, on disait religieusement « chez Nappo », du nom de son responsable. Pourquoi donc n'était-il pas question d'utiliser cette salle blanche qui n'était même plus l'atelier pilote de la SESCOSEM ? Pour une série de raisons plus ou moins avouables, la moins avouable étant que les technologues des deux écuries étaient incapables de collaborer. Et puis, il y avait des raisons politiques ou plutôt géopolitiques : il avait été décidé en haut lieu que Grenoble, c'est-à-dire la SESCOSEM et le LETI avaient l'exclusivité du Silicium et des pourparlers étaient en cours pour céder les équipes et le savoir-faire de Corbeville en matière de technologie MOS à la CII.

La Nanoélectronique était donc devenue un projet de développement de la technologie MESFET qui, en première approche pouvait être cultivée en plein champ, c'est-à-dire dans un laboratoire ordinaire, meublé d'oscilloscopes Tektronix, où les fumeurs, ils étaient nombreux à l'époque, écrasaient sans vergogne leurs mégots à même le sol. C'était une chance pour mon stage de DEA, la théorie du MESFET était, comme la technologie, plus facile que celle du MOSFET. La Nanoélectronique savait produire des transistors MESFETs avec des grilles de 1µm mais ces transistors présentaient des courants de fuite que l'on ne savait pas interpréter, ce fut pour moi un excellent sujet de stage.

Pour contourner les limitations d'effectifs, la Nanoélectronique recrutait des stagiaires à tour de bras, comme beaucoup d'autres labos. Le premier tract CFDT que je rédigeais s'intitulait d'ailleurs « Les stagiaires mangeront-ils de la dinde à Noël ? ». C'était donc en décembre 1972. Au bâtiment B, celui qui abritait la Nanoélectronique, tous ces stagiaires formaient une joyeuse bande pour laquelle Gérard Cachier représentait une sorte de grand frère bienveillant. C'était un polytechnicien qui venait de faire une thèse dans le domaine des hyperfréquences. Les derniers mois de sa thèse s'étaient déroulés aux États-Unis. Il était donc présumé être parfaitement bilingue et de ce fait, très sollicité pour la rédaction d'articles.

La conception des circuits implantés sur Silicium faisait systématiquement appel à un programme de simulation IMAG qui crachait ses résultats sur les grands listings qui ont fait le bonheur des maternelles et des classes élémentaires entre 1965 et 1985. Ainsi, du modèle physique que je produisais était extrait un modèle électrique directement injecté dans IMAG pour la simulation des portes NOR.

C'est par Picquendar, toujours vers ce mois de septembre 1972 que j'ai entendu parler pour la première fois de la *Silicon Valley*. Picquendar connaissait bien les États-Unis puisqu'il avait une femme américaine et il était très fier d'être en pourparlers avec *Amdahl Corp*, une société basée à Sunnyvale en Californie qui concurrençait IBM sur le marché des unités centrales de gros ordinateurs. Je ne me souviens plus si nous étions censés fournir à Amdahl, des circuits ou des masqueurs électroniques, mais Amdahl n'était pas la seule société d'outre-Atlantique avec laquelle nous étions en contact. Control Data avait carrément délégué au sein du labo une sorte d'ambassadeur permanent, James Key, censé mettre la main à la pâte, mais personne ne savait exactement quelle tâche lui confier.

Autre concurrent d'IBM avec lequel nous étions en affaire, mais français cette fois-ci, la CII avec laquelle nous avions quelques contrats qui nécessitaient des visites aux Clayes-sous-Bois où la société avait un laboratoire de caractérisation des composants. En fait, toutes ces sociétés qui

souhaitaient piquer à IBM une part de marché adoptaient la même stratégie industrielle sans bien savoir pourquoi. IBM avait une maîtrise complète sur toute la chaîne de production : non seulement sur les ordinateurs eux-mêmes, mais en aval, sur le logiciel, et en amont, sur les composants, et encore en amont sur les composants. Plutôt que de s'approvisionner sur le marché pour les composants des unités centrales, la CII croyait qu'elle devait avoir la maîtrise sur les composants.

Je clôturais mon stage par une publication dans *Electronic Letters*⁸, une revue qui n'était sans doute pas de première division, mais quand même, elle était en anglais et plus ou moins validée par les pairs, et d'ailleurs je ne manquais pas de rapporter, triomphant, un exemplaire de la revue à ma mère qui ne savait pas trop quoi en penser. Cahen était tout content d'avoir enfin dans son service une publication sur la physique des composants et voulait me pousser à publier des prévisions sur les limitations physiques de la réduction des dimensions, ce que je refusais très sagement. Je fis preuve à cette occasion d'une cruauté dont je ne suis pas particulièrement fier, mais dont le souvenir est resté gravé dans ma mémoire. J'étais au labo d'électronique avec mon tektro et mon cahier de labo lorsque Lyon-Caen vint me voir, un peu embarrassé pour me demander de cosigner la publication. Je lui répondis que non, puisque c'était moi qui avait eu l'idée, qui avait fait les calculs et les manip et rédigé la publication, il n'y avait pas de raison pour qu'il la signe. Rétrospectivement, je pense que Cachier qui avait corrigé mon anglais aurait pu me dire que ça se fait de mettre des remerciements à la fin d'une publication. Moi, je débarquais, je n'avais jamais imaginé que j'aurais à faire des publications, mais quand même je manquais de tendresse.

Picquendar, quant à lui, ne présidait plus aux destinées de la Nano. Il avait été écarté du LCR vers le mois de janvier 1973, laissant Cahen à la barre d'un navire qui allait affronter de violentes tempêtes. J'étais toujours sur le bateau, après avoir commencé à cocher les petites annonces et à me rendre à des entretiens d'embauche, j'avais accepté la proposition du LCR, de conserver pour quelques mois mon statut de stagiaire, mais mieux payé, une sorte de CDD⁹ avant l'heure. Je ne fus officiellement embauché qu'en mars 1974, mais c'est avant cette date que je bifurquais de la physique des composants aux colonnes électroniques, sous la direction de Trotel.

Vers la fin de l'année 1973, advint la catastrophe qui mit fin à l'aventure de la Nanoélectronique proprement dite. Un beau jour, il s'avéra que les transistors et les circuits fabriqués par les technologues de la Nanoélectronique étaient tous défectueux. Sale temps pour le capitaine du navire, Cahen, qui vit débarquer une commission d'experts présidée par Georges Pircher, un ancien de Thomson Bagneux qui avait enrôlé les orphelins de Grosvalet anciens de la CSF. En fait, personne ne voulait vraiment s'intéresser à cette techno MESFET et remettre la Nanoélectronique sur ses rails. Il était de notoriété publique, à Bagneux, que Pircher et Picquendar étaient en situation de forte rivalité, ce qu'on appelait banalement un « combat des chefs »¹⁰, mais leur rivalité avait été contenue dans les limites de la bienséance par un évènement tombé du ciel : leurs enfants respectifs avaient convolé en justes noces. Finalement Pircher parvint à sortir de la crise par le haut et sauva de la Nanoélectronique de Picquendar ce qui pouvait être sauvé, les machines de Lithographie de Trotel, en leur adjoignant une activité de machines de lithographie optique qui avaient été développées à Bagneux pour mettre à profit les mouvements objets contrôlés par interférométrie laser, activité un moment intégrée à DMH, la Division de Microélectronique Hyperfréquence, également basée à Corbeville, et constituée en grande partie d'anciens de Bagneux.

Cahen, Lyon-Caen, Bobenrieth disparurent du paysage. Cachier avait été promu chef du labo « composants et application millimétriques ». En fait, les activités « techno » de la Nanoélectronique avaient plus ou moins été reprises par un laboratoire de composants dirigé par Gérard Nuzillat et qui s'orientera assez vite vers le développement de circuits AsGa. Ma situation personnelle était assez délicate puisque j'avais encore un statut précaire et attendais une embauche, sans cesse différée, situation banale où s'illustre la différence entre une promesse d'embauche et une embauche. Pircher défendit efficacement mon recrutement auprès du directeur du LCR, Jean-

8 E.de Chambost, *Estimate of substrate influence on space charge limited current*, El. Letters, Aug 1973, Vol.9, n°16

9 Le CDD fut introduit dans le droit du travail en 1979.

10 Le Combat des Chefs, septième album de la bande de la série des Astérix avait été publiée en 1966.

Daniel Lefranc qui me reçut, conformément à l'usage, avant de prononcer la décision. A cette époque, on pouvait encore être embauché au LCR avec un simple diplôme d'ingénieur. Il faut dire que le système français de doctorat avec ses subtilités de thèse d'État, thèse de troisième cycle et thèse de docteur-ingénieur était très spécial. Plus tard, il s'alignera sur le PhD américain, et le doctorat devint normalement requis pour les chercheurs du LCR. « On m'a dit que vous aviez des sympathies pour la CFDT » me dit gentiment Lefranc pour entamer le dialogue.

Depuis les arrivées des différents services de Bagneux à Corbeville, la CFDT était devenue majoritaire à Corbeville, au détriment de la CGT, et au sein de la CFDT, les anciens de Bagneux étaient devenus majoritaires et bénéficiaient d'une solide expérience d'une pratique collective. La CFDT était également majoritaire sur l'ensemble du groupe Thomson. La décennie 1970 fut très valorisante pour le syndicalisme, en ce sens qu'elle fut une époque de progrès social, que ce soit en termes de qualité de vie – la baisse du temps de travail hebdomadaire de 45 heures à 40 heures ou de pouvoir d'achat ou de réduction des inégalités entre les différentes catégories professionnelles. L'inter-CFDT menait régulièrement de grandes actions ce qui n'empêchait pas le dialogue social de se poursuivre. Le syndicalisme faisait partie du paysage, et Lefranc ne s'opposa pas à l'embauche du militant syndicaliste que j'étais.



Affichettes réalisées lors d'un mouvement inter-Thomson pour la cinquième semaine de congés payés. De 1974 à 1984, je n'ai pas cessé d'avoir des mandats CFDT, élu CE ou DP ou délégué syndical. J'ai commencé par 3 ans comme responsable des activités culturelles du CE. Il faut dire que le centre de Corbeville se prêtait très bien aux activités culturelles et sportives. Sur le chemin de la cantine, le salarié Thomson-CSF était sollicité par le tennis, le Volley-ball, les boules. En plus de bibliothèque-discothèque, un Chalet culturel permettait de faire des expositions, accueillir des chanteurs ...

1974, la microlithographie par faisceau d'électrons

De 1974 à 1984, je contribuai à l'accomplissement de la loi de Moore dans la lithographie, à l'ombre de Jacques Trotel. Les tâches auxquelles j'allais être affecté s'intitulaient « colonne électronique rapide », ce qui dans la pratique recouvrait l'amélioration du masqueur électronique existant et la participation à un projet nouveau dont je ne sais pas très bien quand il avait été décidé : L'électrocomposeur était une machine à faisceau d'électrons dédiée à la fabrication des réticules 1x10 à l'atelier des masques de la SESCOSEM à Saint-Egrève. Je pourrais dire que j'ai beaucoup appris avec Trotel, ce qui est certainement exact, mais je dirais plutôt que j'ai beaucoup appris en jouant avec les machines que Trotel avait conçues et produites. Nous étions tellement différents que plutôt que de parler d'une quelconque filiation spirituelle, je préférerais évoquer une

estime réciproque. Pas sûr d'ailleurs que l'estime ait été réciproque, car le grand Jacques n'était guère loquace, taciturne assurément, quoique non dénué d'humour, en tous cas parfaitement respectueux des personnes de son entourage. Il s'agissait d'un ingénieur éclectique aux insatiables besoins de pondre de nouvelles machines en mettant en œuvre tout le spectre de ses vastes compétences, physique, mécanique, ou électronique. De sa première expérience professionnelle au CNRS, après l'école de Physique-Chimie de Paris, il avait acquis une expertise dans les sources d'ions, mais il était curieux de tout, et, lors de la conception du masqueur électronique, la collaboration avec un certain Sigelle, ingénieur conseil, je crois, lui avait ouvert l'horizon de tout ce qu'on pouvait faire, de plus en plus facilement, avec les circuits électroniques logiques. Il me revenait de mettre de côté, discrètement, certaines de ses idées que je jugeais trop farfelues. Il ne m'a jamais reproché de prendre un quart temps pour mes activités syndicales.



Benoni Allanos en 1985

Pour mener à bien le chantier d'amélioration du masqueur, j'avais la jouissance de la première machine assemblée en 1970. Je travaillais beaucoup, les premiers temps, avec Benoni Allanos et j'ai beaucoup appris de lui. Beno, comme nous l'appelions, avait été, comme agent technique préféré de Trotel, la cheville ouvrière de la réalisation du masqueur électronique qui avait reçu après quelques années d'expérimentations sur le terrain le nom commercial d'EPG102. Il était mon aîné de onze ans et ce n'était probablement pas très excitant pour lui de devoir se mettre au service d'un petit jeune mais il ne me l'a jamais fait sentir. Heureusement pour lui, on lui a vite donné des responsabilités à la mesure de ses compétences. Comme Trotel l'a raconté¹¹, une cellule de commercialisation des produits développés par notre groupe de Microlithographie, Masktechnique, avait été mise en place et quelques EPG102 furent vendus à travers le monde. Je ne sais pas, et je n'ai jamais su quelle marge nous faisions sur ces machines. La première livraison fut en 1975 pour les laboratoires de Siemens à Munich. Allanos était l'homme qui faisait fabriquer, assemblait, testait, faisait transporter, s'occupait de la recette sur le site et prenait en charge la maintenance. Il était parvenu assez jeune à la qualification d'Agent technique principal et refusera longtemps de passer ingénieur.

Ce fut avec Allanos que j'effectuai ma première intervention chez un client. C'est une chose importante, quand on travaille dans un laboratoire de recherche d'avoir le sentiment que l'on rend des services à des vrais clients. Les clients de Siemens avaient détecté un défaut qui existaient aussi sur les EPG102 du LCR mais que nous n'avions jamais observé auparavant. Les traits gravés dans la résine présentaient un défaut de quelques dixièmes de micromètres dans une certaine zone du champ de balayage. J'avais pu visualiser avec un oscilloscope le défaut sur le signal des bobines de déflection du faisceau et j'avais réussi à faire disparaître le défaut en branchant une "capa"¹² de 100 picofarads quelque part sur la carte de l'ampli de déflection. Aller-retour Paris-Munich avec une voiture de location pour transporter la capa de 100 pF, quelques autres capas, un ampli complet au cas où ... et un oscilloscope pour les mesures intermédiaires qui s'imposent. Succès total ! La capa fut soudée par Allanos puisque j'avais appris lors de mon stage chez Pollard que je ne savais pas souder.

Je vais arrêter de parler de ma petite personne pour m'étendre sur nos relations avec la SESCOSEM. Je ne participai pas à l'installation de l'électrocomposeur à Saint-Égrève, en avril

¹¹ Jacques Trotel, *La Nanoélectronique et ses dérivés*, op.cit.

¹² C'est une époque où nous manipulions encore les circuits de composants discrets. Les condensateurs étaient couramment désignés comme des "capas".

1976, cloué au lit par une mauvaise hépatite, mais j'eus l'occasion d'y retourner un certain nombre de fois. Notre machine représentait, selon ce que Pircher aimait à répéter « une véritable révolution à la SESCOSEM », mais elle pâtissait également, selon les termes du même Pircher d'un certain nombre de « défauts de jeunesse ».

De fait, l'atelier de masques de Saint-Égrève passait directement de la fabrication des réticules à la main à l'électrocomposition sans passer par le stade de la photocomposition. Avant l'électrocomposeur, les masques étaient réalisés à la main, avec des pelliculables (*rubylith* en anglais, photo ci-dessous, à gauche)



1976, **installation de l'électrocomposeur à Saint-Egrève** Le canon d'électron à cathode LaB6 nécessitait une petite pompe ionique qui fut vite supprimée lorsque l'on revint au classique canon à cathode en Tungstène. En plus de la colonne électronique que l'on voit sur la photo de droite, il y avait 3 baies d'électronique.

Le dessin du masque était numérisé sur une bande magnétique qui communiquait avec nos cartes électroniques par le biais d'un calculateur Varian¹³ qui allaient finalement piloter le faisceau d'électrons. On projetait sur les masques recouverts de résine électrosensible un spot électronique carré de 2,5 μm de côté, ce qui correspondait, lorsque l'image du masque serait projetée sur la plaquette de Silicium, à une résolution de 0,25 μm , compatibles avec des traits de 2 μm . La taille maximum des masques était de 5", soit 12,5 cm, ce qui correspondait à des carrés de silicium, des "dies", de 12,5 mm, ce qui était très confortable pour l'époque.

Parmi les défauts de jeunesse de la machine, il y avait cette source d'électrons avec un bâtonnet en hexaborure de Lanthane chauffé par bombardement électronique, théoriquement beaucoup plus brillant que le classique filament de tungstène, mais qui n'était pas encore assez fiable pour un usage au sein d'une unité de production. Il nous fallut prudemment rétrograder. Et puis survint sur le faisceau électronique une ronfle 50 Hz dont nous n'arrivions pas à nous dépêtrer. Je dus me résoudre à produire un signal opposé. Je fus peut-être même amené à câbler moi-même une ou deux capas. C'est en tous cas à Saint-Égrève que pour la première fois, je revêtis "l'habit de lumière", comme ils l'appelaient là-bas, impératif pour le travail en salle blanche. Quelques années plus tard, devenu un peu plus expert en optique électronique, je revins pour installer un nouvel ensemble lentille + déflection.

A la SESCOSEM, notre interlocuteur direct, responsable de l'atelier de masques était Jean-Michel La Mure, futur cofondateur de SOITEC, mais il n'était pas encore en fonction au moment de l'installation de l'électrocomposeur. Je ne me souviens plus le nom du premier responsable de l'électrocomposeur à la Sescosem, qui passa du service masques au service de conception de circuits

¹³ Varian, plus connu pour ses activités klystrons à la fin des années 1940 et implantation ionique à partir des années 1990 avait également développé une gamme de calculateurs qui équipaient les EPG 102

linéaires pour la télévision. La conception des circuits se faisait encore à l'ancienne, avec des maquettes réalisées avec des composants discrets.

En dépit de ses "défauts de jeunesse", l'électrocomposeur marchait très bien quand il voulait marcher et, grâce à la compatibilité avec des *dies*¹⁴ de 12,5 mm, il s'avéra être l'outil rêvé pour la production des rétines CCD produites par la division Tubes à image, basée à Saint-Egrève mais indépendante de la SESCOSEM. Le directeur de la branche composants de Thomson-CSF était à l'époque un certain Paul Mestre auprès de qui les responsables concernés se félicitèrent de pouvoir disposer d'un outil unique et performant. Mestre en tira la conclusion que les machines de lithographie étaient stratégiques pour les composants de Thomson et qu'il était stupide de les vendre à des concurrents. Masktechnique fut donc dissous avant d'avoir pu vendre un seul électrocomposeur en-dehors de la SESCOSEM. Le LETI, considéré comme un allié, fut le dernier client à qui on livra un EPG 102 amélioré.

Pircher avait été appelé à de plus hautes fonctions, laissant Trotel chapeauter les trois activités (optiques, électroniques et Rayons X) du « Service de Microlithographie » (SML) qui fut rattaché à la branche composants à partir de juillet 1978. Le moins que l'on puisse dire est que nos partenaires de l'atelier de masques de Saint-Egrève n'appréciaient pas vraiment de nous avoir comme fournisseur attitré. L'atelier de masque avait deux équipements de base : l'électrocomposeur, et une machine d'inspection et de réparation des masques, tout aussi nécessaire, et on ne se privait pas de nous faire remarquer que l'équipementier américain KLA avait un service de maintenance qui intervenait dans les deux heures alors que nous pouvions les laisser poireauter plusieurs jours. Le directeur technique de la SESCOSEM, F. Bernard avait toujours été un allié et s'efforça de sortir de cette impasse. Il fallait d'abord gagner un peu de temps pour que Mestre oublie cette affaire ou soit promu à un autre poste. C'est ainsi que 1980 vit le redémarrage d'un projet industriel et commercial sous la houlette de Cameca et avec un fort soutien du ministère de l'industrie représenté par la DIELI. Cette aventure connut une fin brutale à l'automne 1982. J'ai raconté cette histoire sur mon site internet¹⁵.

Cameca, filiale de Thomson-CSF spécialisée dans l'instrumentation scientifique et notamment les sondes de Castaing commercialisait depuis 1970 un microscope à balayage, le MEB07 dont la colonne électronique équipait les EPG 102. Il était donc prévu, à moyen terme, que Cameca fabrique et commercialise à relativement grande échelle des machines de lithographie. Dans le principe, cela répondait au souci de la SESCOSEM, d'avoir un fournisseur "normal" qui fournisse un service après-vente "normal", mais à court terme, cela ne changeait pas grand-chose. La maintenance de l'électrocomposeur était assurée par un certain nombre de personnes toutes basées à Corbeville et dont aucune ne considérait que la maintenance était son travail principal. En pleine affaire de la microlithographie, j'eus l'occasion de me rendre à Saint-Egrève. Le responsable de l'atelier de masques, successeur de La Mure, dont je ne me rappelle plus le nom, me demanda timidement si le FEFG pourrait bientôt remplacer l'électrocomposeur. En fait, il était surtout inquiet pour l'avenir de son service. La fabrication de masques devenait une activité autonome complètement mondialisée. En France, une boutique de masques, Nanomask, avait été fondée au Rousset et déjà une partie des masques de la SESCOSEM et d'EFCIS était approvisionnée à Nanomask, mais surtout à Toppan, le leader du métier implanté au Japon. En 1982, les largeurs de grilles des circuits intégrés sortant des Fab descendaient en dessous de 2µm, c'est-à-dire que les limites de l'électrocomposeur étaient atteintes et que la machine était en passe de devenir obsolète.

Au LETI, l'EPG 102 tournait correctement mais ne suffisait pas à subvenir aux besoins, c'est une machine concurrente, un EPBG/3 de chez Philips que commanda Jean-Michel La Mure qui avait quitté la SESCOSEM pour rejoindre le LETI. De notre côté, nous étions plus réglo, si je puis dire, puisque le FEFG en cours de développement était contrôlé par un SOLAR de la Télémécanique

14 Les « *dies* », (dés) c'est le nom donné aux puces avant la découpe des *wafers*.

15 Emmanuel de Chambost, *De l'affaire de la microlithographie en 1982 à la chute de Chevènement*, http://siteedc.edechambost.net/CSF/Affaire_microlithographie_1982.html

construit dans l'usine d'Echirolles près de Grenoble. L'architecture temps réel de la machine était structurée autour de deux microprocesseurs 6809 construits en seconde source de Motorola par l'usine EFCIS créée par le CEA et Thomson dans le polygone de Grenoble, ce dont nous n'avons pas eu à nous plaindre, le Solar et le 6809 étaient de bons produits.

Faire le voyage de Corbeville à Saint-Égrève, c'était, assurément, changer de monde. Je pense d'abord à un ancrage local qui paraissait étonnant de prime abord dans le monde des semiconducteurs, moins étonnant, à la réflexion, dans la mesure où Grenoble correspondait le mieux, en France, au modèle de la *Silicon Valley*. J'ai regardé sur le site « Copains d'avant » le parcours d'un certain nombre d'anciens de la SESCOSEM. La durée de vie à Saint-Egrève dépasse rarement quelques années, et les rotations s'effectuent généralement au sein du bassin grenoblois. Ce qui ne veut pas dire que la mondialisation y était moins forte qu'en région parisienne. Beaucoup d'ingénieurs grenoblois allaient et venaient entre Grenoble et les États-Unis, mais sans jamais passer par la case Paris. Parmi le personnel de production, le modèle d'ouvrier-paysan était encore prégnant. On arrivait de bonne heure le matin et on partait de bonne heure le soir, pour pouvoir mener à bien toutes sortes d'activités qui proliféraient dans le monde rural. Parmi les 16 anciens de la SESCOSEM de Saint-Egrève inscrits sur Copains d'avant, j'avais repéré deux ouvrières indiquant avoir travaillé dans la photogravure, avant l'arrivée de l'électrocomposeur en 1976. L'une avait travaillé avant chez les tentes Jamet, et après, dans les assurances. Le passage à la SESCOSEM n'était qu'une opportunité, et les mutations technologiques n'étaient pas des catastrophes comme c'était le cas pour certains sites industriels, isolés en rase campagne. Le hasard avait voulu que mes visites à Saint-Egrève coïncident souvent avec des mouvements sociaux. A la porte de l'usine, les ouvrières n'étaient pas tendres vis-à-vis des cadres qui ne suivaient pas la grève. Cela rendait très difficile la coexistence d'ouvrières et d'ingénieurs au sein du même syndicat. La CGC était majoritaire dans le troisième collège, et les délégués étaient souvent de jeunes ingénieurs. Jean-Michel La Mure était l'un d'eux.

1982 L'affaire de la Microlithographie

L'aventure de l'industrialisation des machines de lithographie au sein du groupe Thomson-CSF prit fin à la fin de 1982 dans des circonstances un peu troubles que je raconte dans un autre récit¹⁶. Je me cite :

Ce qui restait du renoncement à renoncer cher à Chevènement fut donc une équipe de 10 personnes maintenue au Laboratoire central de Thomson-CSF à Corbeville, autour d'un nouveau projet de masqueur à faisceau d'électrons le FEPG-HR, supposé correspondre aux besoins des circuits intégrés sur AsGa développés à Corbeville. Cette histoire est tout à fait claire dans ma tête, puisque je faisais partie de cette équipe, mais ce n'est pas le lieu de s'étendre sur les subtilités de la lithographie par faisceau d'électrons, la différence entre les machines de type *Variable shaped beam* par rapport aux *Gaussian beam*, etc... Disons juste qu'un an seulement après la décision de maintenir ce projet, « vital pour les besoins de Thomson », personne à Corbeville ou dans les unités de Thomson, n'avait besoin de disposer de ce FEPG-HR. C'était une machine qui pouvait servir à faire des masques ou de l'écriture directe pour des circuits prototypes sur silicium mais n'avait guère d'intérêt pour les circuits AsGa. Que ce soit dans le domaine des masques ou dans le domaine de l'écriture directe, les unités éventuellement concernées refusaient de dépendre d'une machine dont le service après-vente n'était pas garanti. Seule restait la perspective de vendre notre savoir-faire à un industriel.

Le FEPG-HR représente pour moi l'aboutissement de mon parcours dans la lithographie à faisceau d'électrons qui couvre à peu près treize ans, de 1974 à 1987. Au cours de différentes études financées par les administrations françaises, j'avais acquis une expertise correcte en optique électronique et plus généralement dans l'ingénierie des machines de lithographie à faisceaux d'électrons. Dès la fin de 1976, je m'étais ouvert à Trotel des avantages du faisceau rectangulaire variable (*variable shaped beam*). En fait, tout comme certains de nos collègues des Bell Labs et d'IBM investis dans la lithographie e-beam, Trotel était déjà sur la piste et n'avait sans doute pas eu

¹⁶ Emmanuel de Chambost, *De l'affaire de la microlithographie en 1982 à la chute de Chevènement*, http://siteedc.edechambost.net/CSF/Affaire_microlithographie_1982.html

besoin de mes lumières pour avoir la même idée au même moment. Équipé de l'outil théorique et des programmes de calcul qui vont avec, j'avais conçu assez professionnellement les colonnes électroniques du FEPG d'abord et du FEPG-HR ensuite. Après le départ de Trotel au printemps 1984, je devenais chef projet, avec la lourde tâche de démontrer les performances d'un prototype dont on commençait à voir arriver les pièces détachées. Encore fallait-il que le projet intéresse quelqu'un.

1984-1986 L'affaire Cambridge

L'industriel qui s'intéressa à notre projet était connu de tous : *Cambridge Instruments* était en effet tellement associée à la microscopie à balayage qu'aux temps pionniers, à la fin des années 1960, le nom du modèle, Stereoscan, était un synonyme de Microscope électronique à balayage. *Cambridge Instruments* qui s'appelait aussi, selon les années *Cambridge Instrument Company* (CIC) avait également développé à partir de 1974 une machine de lithographie e-beam, l'EBMF, une machine à faisceau gaussien, comme l'EPG102, qui ne brillait pas particulièrement par ses performances techniques mais qui bénéficiait de tout le réseau commercial et du service après-vente d'une société bien implantée dans les laboratoires de recherches en semiconducteurs.

Le laboratoire de Charles Oatley à l'*Engineering department* de l'université de Cambridge avait été le berceau de la microscopie à balayage, mais il avait aussi été dans le courant des années 1960 le berceau de la lithographie e-beam et tous les ténors que nous rencontrions dans les congrès, Philip Chang, Fabian Pease, Alec Broers, Eric Munro avaient traversé l'Atlantique après leurs PhD soutenus à Cambridge. Ils avaient été recrutés par les Bell Labs, IBM ou par d'autres groupes américains.

Précisément, la société anglaise *Cambridge Instruments* qui avait été pionnière dans la microscopie électronique à balayage et qui avait également industrialisé des machines d'*e-beam lithography*, n'avait pas investi de recherches dans la nouvelle génération, les *variable shaped beam*. Après une démo sur le FEPG en avril 1985 effectuée devant Bernard Wallman, chef produit *lithography e-beam*, un accord de transfert de savoir-faire fut signé quelques mois plus tard entre Thomson et *Cambridge Instrument*. Les performances du FEP-HR furent démontrées d'abord à Corbeville, à l'automne 1986, puis à Cambridge en janvier 1987. *Cambridge Instruments* lança en fabrication trois répliques de notre prototype ... et abandonna la partie pour des raisons obscures, à l'époque, et qui ne furent guère clarifiées lorsque je pris connaissance vers 2011 d'un article paru dans un numéro spécial des *Advances in Imaging and Electron Physics* de 2004 traitant de l'histoire de *Cambridge Instruments*.



L'auteur de ces lignes, en 1985 à Corbeville (à gauche) et en février 1987 à Cambridge (à droite) avec Alain Frichet et Marie Plassart. Alain Frichet avait passé dans notre labo une thèse sur l'alignement en lithographie X et avait ensuite pris en charge toute l'électronique logique rapide avec Marie Plassart.



Ta The Hien (en 1985 sur la photo) avait en charge l'informatique temps réel du FEPG-HR. Je le retrouvais ensuite à Cameca et nous eûmes à nouveau l'occasion de travailler ensemble entre 1999 et 2009. Je n'ai malheureusement pas de photo de la soirée qui nous réunit trente ans plus tard, en 2015) avec Jacques Trotel, Alain Frichet et Marie Plassart.

Benoni Allanos était décédé en 2010 au Faouët, là où il était né, dans le Finistère et où il avait connu une carrière d'adjoint au maire après sa retraite vers 1998.

Jacques Trotel est décédé en 2019

Pour éclairer le dénouement en queue de Poisson de l'affaire Cambridge, et aussi pour montrer que des situations absurdes et contradictoires se retrouvent aussi chez les autres, je livre le témoignage, traduit en Français de J.M.Sturrock, ingénieur mécanicien de Cambridge Instruments¹⁷ :

Le plan Alvey était un programme britannique, mais qui ouvrait la possibilité d'une coopération européenne. L'idée était de faire participer des sociétés impliquées dans les semiconducteurs comme Siemens, Philips, Thomson-CSF ou CIC¹⁸, des universités comme Grenoble ou Cambridge et des laboratoires de recherche comme le Rutherford lab, près d'Oxford [...]

Le domaine concernant CIC était celui de la lithographie e-beam, mais ce n'était qu'une partie du plan Alvey. Il y avait 3 machines européennes de lithographie e-beam : Philips, CIC et Thomson-CSF. C'est la dernière qui fut choisie pour constituer le cœur de la coopération. Le pourquoi de la chose n'est pas connu avec certitude, mais on peut avancer deux raisons principales : la machine était basée sur le principe du *variable shaped beam* [...] la seconde raison était peut-être que la table, au lieu de s'arrêter pour les phases d'écriture dans un champ donné, était en mouvement constant, l'écriture étant réalisée « à la volée », ce qui réduisait considérablement les temps morts.

« La machine Thomson-CSF semblait dessinée pour impressionner – surtout ceux qui ignoraient tout de l'histoire de la lithographie e-beam. Les choix de conception étaient diamétralement opposés à ceux des machines de Philips ou de CIC (Cambridge Instr.), et rien que cela était déjà, pour certains, un puissant argument. La meilleure description que je peux en faire est que c'était une machine « à l'envers ». Le canon à électron pendait à seulement quelques pouces au-dessus du sol, au lieu d'être placé raisonnablement à 8 ou 10 pieds en hauteur, comme sur les autres systèmes. Un chariot élévateur miniature était utilisé pour démonter le canon à électron lorsqu'on voulait changer le filament, sans les tracas habituels. A ce stade, la machine se vendait toute seule à des observateurs naïfs. Pour autant, ce n'était pas une idée neuve. Dans les années 1950, telle était la disposition des microscopes à balayage développés à l'université de Cambridge par Wells, puis par Smith et enfin par Pease et Nixon. AEI fit une tentative commerciale du même acabit un peu plus tard et VG Microscopes mit en œuvre, avec succès, le même concept pour ses STEMS. Cependant, si cette disposition a certains avantages pour les microscopes à balayage, elle est beaucoup moins attractive pour les machines de lithographie.

Ce n'était que l'un des faiblesses du système Thomson, bien que chacune d'elle ait été initialement perçue comme une force. Ce qui attirait le regard en premier lieu était un énorme bloc en aluminium appelé la "platine". Il s'agissait d'un carré d'un mètre de côté et de 4 pouces d'épaisseur. De toute évidence, ce bloc était excessivement rigide, et formait de ce fait une base idéale pour la lithographie. Chaque sous-ensemble physique de la machine était vissé directement sur ce bloc d'aluminium ; la table X-Y et ses moteurs, la colonne électronique, les interféromètres lasers, les pompes à vide, le sas, les *Silent bloc* anti-vibration etc. L'Aluminium a sans doute un rapport résistance/poids élevé, mais ce n'est pas un matériau très rigide. Une

¹⁷ J.M.Sturrock, *Commercial Electron Beam Lithography in Cambridge, 1973-1999 : A View from the drawing Board*, Adv. in imag. and el. Phys. Vol 133, 2004, pp.387

¹⁸ CIC, comme *Cambridge Instruments Company*.

grande quantité de matière avait été retirée pour laisser de la place à la table X-Y, les vis à billes, les moteurs etc. Ainsi, beaucoup de matière avait été retirée à des endroits où il n'y en n'avait guère pour assurer la rigidité. Ajoutons que l'aluminium a un coefficient de dilatation thermique élevé et une conductivité thermique importante. Au cours des contractions ou rétractations, tout ce qui était fixé à cette "platine" se décalait donc par rapport à d'autres choses également fixées à la "platine"., linéairement par rapport aux trois axes principaux ou en rotation. C'était un retour en arrière à la table de Yosemite¹⁹ telle qu'elle était en 1975, mais en bien pire. En plus de se contracter et de se dilater, la platine se courbait sous l'effet des 7 tonnes de pression atmosphérique qui s'appliquaient à la mise sous vide, puisqu'elle formait la base de la chambre échantillon. Un bloc d'aluminium troué de partout, même avec une épaisseur de 4 pouces, est une pauvre défense contre 7 tonnes de charge appliquée et cela donnait un profil en dos de baleine qui évoluait en permanence avec la pression atmosphérique. La table porte-échantillon et l'interférométrie laser étaient assemblées, testées, alignées et calibrées sur une platine plate à la pression atmosphérique, mais en cours d'opération, la table était en mouvement sur une platine sous vide en forme de dos de baleine. Peut-être à suite d'une faute du bureau de dessin, la ligne optique de l'interféromètre présentait une "erreur d'Abbe" de 6mm, là où CIC ou Philips arrivaient à la maintenir à quelques micromètres. Sur la platine étaient arrimés deux énormes moteurs pour chacun des axes X et Y. De gros moteurs électriques produisaient nécessairement une grosse quantité de chaleur, modifiant significativement lorsqu'ils étaient en fonctionnement, les dimensions de la platine. Aucune régulation thermique n'était prévue. Ainsi, le projet Alvey reposait sur une machine qui présentait plusieurs fautes de conception mécanique.

Les défauts que je viens de citer ne représentaient qu'une partie des problèmes. Entre autres choses, la Thomson n'avait ni capteur d'altitude de l'échantillon et il n'y avait pas de place pour en adapter un. Un autre défaut, que Thomson admettait, était que l'interférométrie laser française n'avait pas la résolution nécessaire. Mais le problème le plus sérieux était le porte-échantillon. Comme les machines Philips ou CIC, celle de Thomson avait été conçue pour des wafers de 4 pouces. Quand le marché demanda des 5 pouces pour commencer et ensuite des 6 pouces, Philips et CIC répondirent en faisant des porte-échantillons un peu plus grands, et cela ne posait pas de problèmes pour des machines construites "à l'endroit". Mais quand la machine est "à l'envers", le porte-échantillon doit être lui aussi retourné pour redescendre, face vers le bas, et s'aligner sur une ouverture usinée la table. La taille du porte-échantillon de la machine Thomson était donc contrainte par la taille de l'ouverture de la table. Si l'ouverture devenait plus grosse, il ne resterait plus de table du tout.

Malgré tous ces défauts manifestes, le programme se poursuivait à Cambridge comme si de rien n'était. Quelques 40 personnes travaillaient à plein temps pour Alvey. C'est alors qu'un entrefilet parut dans un obscur magazine spécialisé sur le fait que Thomson-CSF avait installé un système de lithographie e-beam AEBLE 150²⁰ (américain), ce qui en disait beaucoup sur la confiance qu'ils faisaient en leur propre création. Pour moi, trop, c'était trop, j'écrivais une note sur les conséquences mathématiques des effets dus aux variations de pression atmosphériques et des variations de pression et de température sur la platine. Deux semaines plus tard, on me demanda de valider les prévisions par des mesures pratiques. Un terrible silence tomba alors sur Alvey. Le projet s'étala encore sur presque 12 mois, mais cette année fut marquée par le bruit des rats quittant le navire, chacun se cherchant un alibi, l'évidence étant dissimulée sous les tapis, les boucs émissaires désignés, avec toutes les manifestations que l'on observe quand sonne le glas d'un projet, un projet qui semblait n'avoir jamais officiellement pris fin, beaucoup de personnes restant théoriquement affectées à Alvey. Bien sûr, il se peut qu'un certain nombre d'informations aient échappé à nous autres, travailleurs sur le terrain, et en particulier les conditions exactes du financement gouvernemental. Il pouvait être nécessaire, par exemple, de maintenir un semblant d'activité pour continuer à percevoir des subsides ou remplir les termes d'un contrat. Finalement, CIC annonça en septembre 1987 qu'une malencontreuse perte de 1,4 millions de livres avait été encourue sur le projet Alvey qui touchait par conséquent à son terme (plus tard, il s'avéra que c'était une provision pour une perte de 3,7 millions de livres de pertes

19 Sous-traitant californien de Cambridge Instr.

20 AEBLE 150 était une machine de lithographie e-beam conçue sur les mêmes principes que le FEPG-HR. J'étais en bons termes avec le chef projet Veneklassen que j'avais visité dans la Silicon Valley en juin 1985. Ce n'est pas Thomson-CSF qui avait acheté un AEBLE 10, mais ES2, une nouvelle société créée au Rousset.

pour l'exercice financier se clôturant le 31 mars 1988). Aucun des deux chiffres ne rend vraiment compte de la situation qui comportait aussi le fait que le travail de 40 personnes aurait pu être utilisé plus utilement sur d'autres projets. La fin d'Alvey fut marquée en octobre 1987 par un plan massif de licenciement concernant 70 personnes. Dans cette charrette se trouvaient les plus fidèles travailleurs du laboratoire de mécanique qui avaient construit de leurs mains les premières machines de lithographie [...] Toute trace du FEPG-HR de Thomson avait disparue de Clifton Road à Noël 1987. Assez surprenant épilogue de l'affaire, il fut annoncé en juin 1989 que Thomson-CSF avait commandé pour des sites français deux EBMF de CIC.

[Sturrock évoque ensuite quelques événements de l'histoire de Cambridge, départ de l'actionnaire principal, Gooding, fusion avec Leitz, absorption des activités lithographie e-beam de Philips et arrive à l'année 1990]

De façon remarquable, pendant la même période de quelques mois [que l'intégration de la lithographie de Philips], et malgré les déboires de l'aventure Alvey, un autre Grande Euro-project, "Esprit" fut annoncé. Les 3 mêmes candidats qu'alors se mirent sur les rangs pour rafler de larges subsides de leurs gouvernements respectifs. Un document décousu de 120 pages circulait entre les participants, prétendant montrer comment par une série de mises à niveau, chacune des trois machines pourraient être transformée en un outil décisif dans le monde de la microlithographie. Le document en question avait manifestement été écrit par plusieurs auteurs de diverses disciplines, avec des points de vue différents. Ce dont ce document n'avait jamais bénéficié à coup sûr, était l'apport d'un ingénieur mécanicien. Au cœur de la proposition était la spécification que la machine Esprit devrait travailler sur les wafers de 8 pouces. Penser que chacune des trois machines existantes pourrait être mise à niveau en ce sens relevait de la pure fantaisie. Chacune des trois avait été dessinée 15 années auparavant à l'époque des wafers. Le FEPG-HR de Thomson 4 pouces, était, par conception, pour les raisons énoncées plus haut, non "dilatables". Les machines de CIC et de Philips avaient déjà été "dilatées" et poussées à leurs limites extrêmes, au prix de milliers d'heures d'imagination et de créativité des plus brillants esprits. Cet été, un projet fut pondé à Eindhoven, proposant une troisième tentative désespérée, mais il était facile de prouver que ça ne pouvait pas marcher même pour des wafers de 6 pouces. En juin 1990, comme pour Alvey, j'écrivis un papier [... Ce fut le brouillon de la série VB/6]

La lecture en 2023 de ce texte qui concerne des événements qui se sont passés il y a presque 40 ans et qui constituent, en gros, une descente en flammes de mon projet, fut pour moi une expérience étonnante, tenant à la fois de la régression hypnotique et d'un jugement dernier au tribunal céleste des ingénieurs. J'ai traduit le texte en français pour mieux revivre les événements. En moi-même, j'ai répondu point par point au réquisitoire de cet homme, certainement excellent ingénieur mécanicien, mais auquel je n'ai pas le souvenir d'avoir été présenté ni à Cambridge, ni, a fortiori à Corbeville. Dans les premières lignes de son texte, Sturrock explique qu'il est malentendant depuis l'âge de huit ans et que c'est sans doute la raison pour laquelle il ne participait pas aux réunions. Sturrock ne semble pas avoir en tête que le FEPG-HR n'avait pas été choisi sur sa bonne mine, mais que des spécifications assez draconiennes avaient été incluses dans l'*agreement* signé en juillet 1985 et qu'une *acceptance* d'abord à Corbeville, ensuite à Cambridge, après le déménagement, avait démontré que les spécifications étaient tenues. Dans le même numéro des *Advances* Bernard Wallman raconte l'histoire de la microlithographie chez *Cambridge Instruments*²¹ sans mentionner le projet Alvey. C'était un homme très courtois avec qui j'avais eu de bons rapports. Nous eûmes d'ailleurs tout au long de l'année 1986, des rapports très confraternels avec les ingénieurs de Cambridge Instr. que nous fûmes amenés à fréquenter assidûment entre septembre 1985 et octobre 1986. Pour l'anecdote, il me revient à l'esprit que nous échangions beaucoup par FAX. 1985 fut l'année où le fax se répandit dans tous les bâtiments et à tous les étages de Corbeville

Force est de constater qu'en dépit de ces bons rapports, l'introduction de notre machine dans la société anglaise fut victime du syndrome NIH, « *Not Invented Here* ». Les défenses immunitaires de la société britanniques avaient joué à fond pour rejeter la greffe d'un projet venu d'outre-Manche.

21 B.A. Wallman, *From Microscopy to Lithography*, Adv. in imag. and el. Phys. Vol 133, 2004, pp.359-385

Pour en finir avec la microlithographie

Résumons : Cambridge Instruments avait profité de fonds publics, en l'occurrence, le plan Alvey pour enrichir son catalogue *e-beam Lithography* d'une gamme de modèles *variable shaped beam*, mais comme la société devait affronter une passe difficile, vraisemblablement dûe aux revers enregistrés par son activité historique, celle de la microscopie à balayage, elle stoppa ce projet avant de devoir investir sur fonds propres. Voilà qui rappelle notre affaire de la microlithographie, à ceci près que Cambridge maintenait son activité lithographie e-beam au travers de la gamme EBMF qui était devenue sa vache à lait depuis le début des années 1980.

Partie relativement tard dans la course, sans aucune innovation déterminante, mais avec une bonne image de marque et un service après-vente hérité des belles années du Stereoscan, Cambridge avait su trouver une clientèle fidèle en dépit de tous les soubresauts de son histoire capitalistique. 80 EBMF furent ainsi livrés entre la fin des années 1970 et 1990²², plus que ses deux principaux concurrents réunis, Philips et Jeol²³.

L'assise de Cambridge dans la lithographie fut renforcée lorsqu'après sa fusion avec l'opticien allemand Carl Zeiss, Philips céda à la nouvelle société baptisée Leica ses activités microlithographie e-beam, qui consistait essentiellement dans le modèle *Beamwriter*. C'est ce dernier modèle qui fut retenu par Leica dans la gamme des machines à faisceaux gaussiens. Un des avantages décisifs du Beamwriter était sa compatibilité avec une tension d'accélération de 100 kV, plus adapté aux largeurs de traits inférieures à 100 nm.

Plus tard, en 1996, dix ans après l'aventure ratée du FEPG-HR, Leica fusionnera avec Jenoptik lithography qui apportait dans la corbeille de mariage une machine *variable shaped beam*, héritière des modèles ZBA10 (1978), ZBA20 (1984) et ZBA21 (1987) développés en RDA par la société Carl Zeiss Jena qui avait initié dès 1974 un projet *variable shaped beam*.

Après la réunification des deux Allemagnes, les activités microlithographie de Carl Zeiss avaient essaimé dans la société Jenoptik. La société née de la fusion de Leica et Jenoptik, en 1996, s'appela Leica Lithographie Systems et fut renommée Vistec en 2005²⁴.

1987-1989 Détour par les réseaux neuronaux.

Il y a au moins un point sur lequel l'article de Sturrock est en phase avec la réalité que j'ai vécue, c'est la contrainte très angoissante que nous avons connue au cours des années 1980 avec l'augmentation inexorable des diamètres de wafers. Pendant le temps que nous passions à surmonter les problèmes de précision géométrique, nos machines devenaient obsolètes à cause des limitations du mouvement objet, et il fallait des milliers et des milliers d'heures de dessin pour rendre les machines compatibles avec des diamètres de 5", 6", 8". Le diamètre des wafers n'était pas le seul cauchemar de la lithographie. La loi de Moore n'était plus seulement une vague prévision, c'était une feuille de route qui s'imposait à tous les équipementiers des semiconducteurs. Le FEPG-HR était très bien adapté aux lignes de 1µm ou 0,5 µm, mais il aurait fallu remettre à plat toute la machine pour viser les traits de 0,1 µm.

En juin 1986, il m'apparut que le transfert de savoir-faire de la microlithographie e-beam mettrait un terme à cette activité au sein du LCR. J'écrivis une note sur l'intérêt pour le LCR de suivre de près le développement des réseaux neuronaux. J'écrivis que le parallélisme massif allait nécessiter des composants différents de ceux avec lesquels on faisait des mémoires et des processeurs séquentiels, et que le LCR devait être en pointe dans la recherche pour ces nouveaux composants.

²² Le premier EBMF fut livré à l'université d'Aachen en 1976.

²³ B.A. Wallman, déjà cité

²⁴ Histoire de Vistec <https://www.vistec-semi.com/company/history>



Michel Sonrier était dans l'équipe qui acheva la mise au point du FEPG-HR où il s'était particulièrement impliqué dans l'automatisation du réglage de la colonne électronique. Après la recette de l'appareil par Cambridge Instruments, il continua à travailler avec moi dans les réseaux neuronaux. Les jeunes techniciens embauchés par Thomson-CSF dans les années 1970 ou 1980 avaient souvent un potentiel élevé, et une formation interne en liaison avec la faculté des sciences de Jussieu leur permettait d'obtenir un diplôme d'ingénieur à la suite d'un parcours un peu moins sacrificiel que le CNAM. Pour son mémoire d'ingénieur, il réalisa la maquette d'un réseau neuronal 1024×1024 implémenté sur 8 cartes contenant chacune 16 mémoires SRAM de 8 Ko²⁵.



1990-2009 Toujours la loi de Moore

En 1989, je ne croyais plus que le développement des réseaux neuronaux nécessitait des composants spéciaux. J'en tirai les conséquences en quittant le LCR et Thomson-CSF pour Cameca, l'ancienne filiale de Thomson-CSF qui avait fourni des sous-ensembles de microscopes à balayage pour équiper l'EPG102 et l'électrocomposeur. Assez facilement, je pus tirer profit de l'expérience que j'avais en optique des particules chargées pour prendre en charge comme chef de projet des machines à faisceaux d'ions relevant de la technique d'analyse SIMS. Le projet sur lequel je fus d'abord investi, l'IMS 1270 visait les laboratoires de géochimie. Je sortais pour un moment de l'environnement de la loi de Moore. Le prototype de l'IMS1270 installé à UCLA en 1992 est toujours en service en 2023. Sans doute a-t-il reçu quelques mises à jour, mais une telle longévité est tout à fait inimaginable dans le monde des semiconducteurs.

Je fus cependant bien vite rattrapé par la loi de Moore : Cameca faisait une partie importante de son chiffre d'affaires en vendant des analyseurs ioniques à l'industrie des semiconducteurs pour le contrôle d'implantation. La réduction des dimensions des composants s'effectuait dans les trois dimensions, y compris la profondeur. A la fin des années 1990, les industriels des semi-conducteurs voulaient mesurer les profils d'implantation avec une résolution du nanomètre. Ceci impliquait de réduire l'énergie d'impact des ions primaires dans un instrument SIMS. Je n'insiste pas sur les aspects techniques de l'instrumentation SIMS, j'ai déjà raconté cette histoire²⁶.

25 E.de Chambost, M.Sonrier, *Implementing classifications on one bit connection, analog programmable neural network*. International 1989 Joint Conference on Neural Networks DOI:[10.1109/IJCNN.1989.118329](https://doi.org/10.1109/IJCNN.1989.118329)

26 E. de Chambost, *a History of Cameca*, in *Advances in Imaging and Electron Physics*, Volume 167, ISSN 1076-5670,

 IMS-Wf	Au moment du démarrage du projet IMS-Wf, les industriels des semi-conducteurs envisageaient d'augmenter encore le diamètre des wafers à 300 mm. Cette machine fut conçue directement pour des wafers de 300 mm. Par chance, 300 mm resta la norme pendant au moins 25 ans, épargnant aux équipementiers le cauchemar de la mise à jour des instruments avec des milliers d'heures de bureau d'études à chaque augmentation de diamètre.
---	---

A partir de 1990, tout équipement susceptible de rentrer dans une salle blanche de fab de semiconducteurs devait nécessairement ressembler à un parallélépipède rectangle.

 Shallow probe	La technique de microanalyse, EPMA en anglais, familière à Cameca put également être mise à profit pour effectuer des mesures de dose sur les wafers. La <i>Shallow Probe</i> qui manipulait également des cassettes de wafers de 300 mm avait également la forme d'un parallélépipède blanc. L'année 2003, 10 parallélépipèdes à 2 M\$ chacun furent vendus à Intel pour préparer le « node 65 nm »
---	---