PDF scan pour 20538-38
Le présent fichier PDF est le scan d'un article issu du document :

Actes du 3ème colloque sur,

Histoire de l'Informatique

Sophia-Antipolis, 13-15 octobre 1993,

Actes édités par l'INRIA à Sophia-Antipolis.

L'article est :

Electronique-informatique, un mariage difficile ?
Les recherches sur les mémoires au Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble (1955 – 1975), pages 546-567

Cet article, a été écrit en français par :

-François Jacq de l'Ecole des Mines-CSI.

Le présent fichier PDF inclut la page de couverture des Actes du Colloque et fournit un scan des 22 pages de l'article.

Le lecteur est invité à regarder particulièrement :

-(page 547), les objectifs de cet article, notamment les débats français sur les activités de recherche et développement, et dans un domaine très ciblé, l'émergence, le fonctionnement et l'expansion de nouvelles structures de recherche,
-(page 548 et suivante), l'histoire de la création du CENG,
-(page 551) l'arrivée du transistor,
-(page 552) l'échec des grenats,
-(pages 553, 554) le début des travaux sur les « lames magnétiques »,
-(page 555) les relations interservices au sein du CENG,
-(page 557, 565) la première mémoire obtenue, les difficultés technologiques et leur effet sur les industriels,
-(page 558) la société COFELEC, et les perspectives en mémoires magnétiques,
-(page 560, 561) le tournant vers les technologies de l'électronique, et une sorte de fuite en avant, tandis que 1966 paraît une année charnière,

Pour utiliser ce document, mentionnez l'auteur Daniel Dubois, les Actes du 3ème colloque sur l'Histoire de l'Informatique, 1993, ainsi que la Base de Données ACONIT n° 20538-36.

Il est rappelé que la loi sur les droits d'auteur n'autorise que les reproductions partielles de documents à titre individuel et pour des motifs de recherche.

Fiche rédigée le 2/2/2020 par Jean Ricodeau.

AC 20538

INRIA
SOPHIA ANTIPOLIS

3ème COLLOQUE

HISTOIRE DE L'INFORMATIQUE

13 - 15 Octobre 1993

Sophia Antipolis
FRANCE

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE

Electronique-informatique, un mariage difficile?
Les recherches sur les mémoires au Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble (1955-1975)

Résumé

Cet article présente les recherches réalisées au CENG sur les mémoires magnétiques. Il montre comment elles sont issues de la tradition grenobloise initiée par L.Néel. Il indique ensuite comment les lames minces magnétiques furent utilisées pour réaliser des dispositifs pour l'informatique. On présente ainsi les rapports entre le laboratoire grenoblois, les industriels comme BULL ou COFELEC et les organismes publics. On montre comment se crée, avec l'expansion de ces recherches, le LETI et comment ce dernier tente d'industrialiser ses produits. On propose enfin quelques éléments d'interprétation sur le sort des mémoires magnétiques à fil, rejetées en 1971 après dix ans de recherche.

Electronique-informatique, un mariage difficile?

Les recherches sur les mémoires au Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble (1955-1975)

François Jacq
Ecole des Mines-CSI

Electronique et informatique sont deux disciplines souvent associées dans le discours classique sur les technologies. Probablement pour des raisons plus ou moins objectives: les composants fournis par l'électronique entrent pour une part décisive dans les matériels de l'industrie informatique et il est bien difficile de concevoir l'émergence progressive d'une informatique toujours plus perfectionnée, et miniaturisée, sans le recours aux nouveaux composants électroniques qui succèdent aux tubes au cours des décennies 1950-1960. Il est toutefois d'autres raisons pour cette focalisation sur ces deux disciplines. Elles sont devenues pour une large part emblématiques du développement technologique, synonymes d'une complexité croissante des processus de recherche et d'industrialisation. C'est dire les débats qu'elles suscitent lorsque l'on se penche sur les diverses trajectoires nationales. Evoquer l'histoire de l'informatique ou de l'électronique dans le cas français, c'est à coup sûr rencontrer le débat traditionnel sur le retard ou l'inadaptation française. On ne compte plus les dénonciations ou les apologies de la résistance française à la pénétration étrangère. Les récits se colorent le plus souvent d'une tonalité hagiographique enluminant la lutte acharnée d'irréductibles défenseurs de l'identité française contre une inertie, voire une incompétence des pouvoirs publics, des scientifiques ou des industriels; tout dépend de la thèse défendue[1].

Nous n'échapperons pas à ce débat. Certes il ne saurait être question ici de balayer l'ensemble des questions soulevées par l'examen de la place française dans le concert scientifique de l'après-guerre. Nous nous limiterons bien au contraire à un cas singulier et d'envergure moindre. Autant dire que le propos n'apportera pas d'éléments décisifs sur les batailles évoquées à l'instant. Notre objectif consiste, en décrivant le cas d'une petite équipe et de son expansion, à noter quelques traits touchant aussi bien les relations laboratoire-industrie, l'émergence de nouvelles structures de recherche, le poids des pouvoirs publics, les contraintes pesant sur l'industrialisation[2] que les rapports électroniciens-informaticiens.

Modeste, le laboratoire auquel nous consacrerons cet article l'est incontestablement à ses débuts, avec à peine une vingtaine de personnes lors de ses deux premières années d'existence en 1958-1959. Il émerge dans le cadre du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble (CENG) officiellement créé en 1956. Ce n'est que quelques années plus tard que ce groupe prend la dénomination sous laquelle il est connu aujourd'hui de Laboratoire d'Electronique et de Technologie de l'Informatique (LETI). Incidemment, on notera dans ce nom la réunion des deux disciplines, symbole d'un rapprochement à tenter. Au cours des années 1960, le groupe d'électroniciens implanté à Grenoble croît à la fois en volume et en importance. Il développe des recherches originales tant dans le domaine des semi-conducteurs que de l'utilisation de certaines propriétés des composés magnétiques. Cela l'amène à se confronter aux techniques de réalisation de mémoires et de circuits intégrés, deux éléments centraux des architectures informatiques. L'un des projets principaux du laboratoire concerne l'étude et la réalisation de mémoires magnétiques au

---

1. Pour ne citer que quelques exemples assez typiques directement reliés au thème de l'informatique on se reportera aux deux ouvrages Jublin, Quatrepoint, (1976) et Lorenzi, Le Boucher (1979). Ils se situent tous deux dans la veine de la dénonciation des carences à la fois de certains industriels et des pouvoirs publics dans leur gestion de ces problèmes. Pour une vue plus balancée, on pourra consulter Barreau, Mouline (1987). Plus profondément le thème des évolutions nationales divergentes est récurrent dans l'ensemble des analyses. Une des analyses les plus célèbres est celle de Ben David (1971). Pour une vision tout aussi pessimiste mais plus détaillée et portant sur les années 1945-1965 on verra Gilpin (1970) qui, lui, explique les persistantes difficultés françaises par les survivances perverses d'un héritage napoléonien, par l'engourdissement de la communauté scientifique et surtout par le poids écrasant de l'Etat. Paul (1972) a précisé les enjeux du débat en rétablissant une vue plus équilibrée, travail poursuivi dans Paul (1986), on ajoutera Pestre (1988). Le comportement de la communauté scientifique, et particulièrement physicienne, entre les deux guerres, est traité dans Pestre (1984). Pour les relations entre science et industrie Shinn (1980) donne une bonne perspective historique, de même l'article polémique de Callon (1986b).

2. Depuis les travaux de Rosenberg (1982) on apprécie mieux l'existence d'un processus de développement technologique autonome, possédant sa logique propre. L'importance des nombreuses modifications incrémentales apportées à une technologie, l'accumulation de savoir qui en résulte sont autant de paramètres à prendre en compte pour comprendre les interactions de techniques concurrentes. On apporte également une attention accrue à l'évolution temporelle des technologies, à leurs ramifications progressives. Sahal (1981) a développé le concept de trajectoire technologique et montré l'existence de systèmes pourvus d'une cohérence et d'une logique spécifiques. Enfin les travaux les plus récents mettent à jour le développement en réseau des technologies avec les irréversibilités que cela peut entraîner, Callon (1991), mais aussi l'importance des processus visant à convaincre les divers partenaires et à leur permettre de parvenir à un accord sur un dispositif technique, on verra Callon (1986), Latour (1992), Akrich (1989).

profit des constructeurs français. C'est à cet épisode des mémoires que nous voudrions consacrer notre étude.

Dans un premier temps, on apportera quelques précisions sur la création de ce groupe d'électroniciens à Grenoble. On s'intéressera ensuite au cas des mémoires magnétiques à proprement parler, en montrant comment apparaissent les premières recherches et quel est leur objectif. On illustrera l'émergence de plusieurs voies technologiques possibles. Les années 1966-1967 marquent un double tournant: elles voient tout d'abord la transformation du service d'électronique en LETI, changement de statut important puisqu'il confère une indépendance et une autorité nouvelle au laboratoire. D'autre part, elles correspondent à la mise en place du Plan Calcul qui donne une nouvelle impulsion à l'électronique et à l'informatique française. Dans un dernier temps, on envisagera la tentative de passage au stade industriel de la technique de mémoires développée par le LETI.

Un empire provincial: Louis Néel et Grenoble.

Sans renouer avec une histoire par trop hagiographique, force est de constater que l'histoire scientifique grenobloise de l'après-guerre est marqué par un homme, Louis Néel. Ce n'est point le lieu ici de retracer par le menu la carrière du physicien et Prix Nobel, il est néanmoins indispensable de donner succinctement quelques points de repère pour comprendre l'originalité du cas grenoblois[3].

Néel débute son parcours scientifique avant-guerre. Ses premières recherches portent sur les propriétés des composés magnétiques. Il est alors assistant de Pierre Weiss à Strasbourg, haut-lieu du magnétisme. Durant ces années, il développe des études sur la structure des composés magnétiques. En particulier, il formule dans le cadre de sa thèse, puis développe par la suite, une hypothèse originale sur la configuration structurale de certains corps magnétiques. On note en effet pour certains corps des propriétés 'anormales' concernant leur température de Curie et leur comportement en fonction de la température. Néel propose pour rendre compte de cet état de chose de considérer la structure magnétique comme constituée de deux sous-réseaux. Dans cette modélisation simple, aux noeuds de ces deux réseaux se trouveraient les moments magnétiques, les deux sous-réseaux possédant une aimantation anti-parallèle. Il put ainsi rendre compte de certaines propriétés encore inexpliquées de corps magnétiques. Il développe encore cette approche pour proposer une explication de l'anti-ferromagnétisme, et du phénomène qu'il baptise de ferrimagnétisme[4]. Il est intéressant de noter que Néel utilise cette hypothèse, et l'approche phénoménologique à l'échelle macroscopique qui la sous-tend, de façon extensive. Il en fait la ressource essentielle pour ses tentatives de compréhension des phénomènes magnétiques[5].

Dès cette époque, Néel est un physicien entreprenant et soucieux de disposer de moyens importants. La guerre le voit prendre la charge de la démagnétisation des navires de la Marine pour les protéger des mines magnétiques. Il en retire une expérience importante et de précieuses relations. Après la défaite, il s'installe à Grenoble où il commence à établir un laboratoire dédié au magnétisme, le Laboratoire d'Electrostatique et de Physique du Métal (LEPM). Ce dernier prend une nouvelle ampleur après la guerre et fait l'objet en 1946 d'une convention entre l'université et le CNRS. Néel s'installe alors dans le rôle de l'un des barons de la physique française en province. Sa stature scientifique est encore confortée lorsque des travaux menés aux Etats-Unis, grâce à la diffraction neutronique, permettent de "voir" littéralement les structures magnétiques imaginées par le physicien grenoblois. C'est la source principale du désir de Néel d'obtenir, à son tour, des moyens similaires d'exploration de la matière. En l'état, diffraction neutronique impliquait faisceau de neutrons, et donc réacteur nucléaire[6]. Restait alors à Néel à s'adresser au maître d'oeuvre français de la politique en matière de physique nucléaire, le CEA. Après d'assez longues tractations, Néel se voit accorder par le CEA en 1955 la création d'un Centre d'Etudes Nucléaires à Grenoble. Il en est nommé Directeur et le centre est doté d'une large autonomie de gestion[7].

La structure mise en place est en effet originale dans le contexte du CEA. D'un point de vue technique, le centre s'articule bien évidemment autour de la pile nucléaire Mélusine, qui constitue la

---

3. Il y aurait beaucoup à dire sur la carrière de Louis Néel. L'ouvrage de Pestre (1990) traite de façon très détaillée l'installation de Néel à Grenoble et sa carrière ultérieure. Nous y renvoyons pour toute précision supplémentaire.
4. Configuration où l'on trouve deux réseaux anti-parallèles dont les aimantations ne se compensent pas exactement.
5. On retrouve là l'idée d'un outil heuristique qui permet de 'tenir ensemble' un grand nombre de phénomènes. La démonstration est assez proche de celle que propose Latour (1989) sur les outils des scientifiques, de même que de l'exemple de Pasteur qu'il a développé. Néel a su adopter une position stratégique qui lui permet de contrôler un champ de recherches fructueux.
6. A tout le moins est-ce la solution la plus immédiate. L'équipe grenobloise a aussi songé à utiliser les accélérateurs de Felici comme source possible.
7. Les tractations autour de la création du CENG sont étudiées par Pestre (1990) qui présente également les débuts du CENG. Toutefois l'étude reste focalisée sur le versant CNRS des travaux de Néel.

source de neutrons pour les expériences des cristallographes du laboratoire de Néel, avec à leur tête F.Bertaut. Mais il comprend également plus d'une douzaine de laboratoires dérivés qui correspondent la fois aux besoins d'un centre nucléaire, comme le service des radio-éléments, et aux souhaits des universitaires grenoblois. Trait caractéristique de cette expérience grenobloise: Néel amène avec lui ses collègues universitaires et leur confie un certain nombre de laboratoires, basses températures placées sous la responsabilité de son ancien assistant Louis Weil, transferts thermiques avec J.Kravtchenko, Chimie avec P.Traynard, ou encore Biologie avec P.Ozenda[8].

Une section d'électronique

C'est dans ce cadre que s'inscrit la création de la section d'électronique du CENG. Elle n'est, à l'origine, qu'un appendice peu important du centre. La création d'une telle section électronique n'est pas une originalité grenobloise. Il existe à Saclay un Département d'Electronique et une service d'Electronique Industrielle (SEI), héritiers du service des Constructions Electriques mis en place par M.Surdin à la création du CEA. Dans ce domaine, le CENG suit la politique traditionnelle de division entre électronique et activités scientifiques des chercheurs. L'organisation de l'électronique au CENG est initialement l'affaire du directeur-adjoint du centre, le second de Néel, Bernard Delapalme. Ce dernier est un jeune ingénieur du génie maritime qui a auparavant dirigé les laboratoires radio-radar de la Marine nationale et que Néel recrute pour l'aider à mettre sur pied les structures du CENG. Lié lui-même à l'électronique, Delapalme imagine dès le départ de constituer un petit groupe chargé de ces questions. Il fait appel pour le diriger à une connaissance, Michel Cordelle, ancien officier de la Marine, qui, lui aussi, a eu l'occasion de se frotter au radar.

Telle que la définit Bernard Delapalme la section d'électronique jouit d'un rôle relativement modeste puisque ce "laboratoire sera en réalité un service général pour les autres laboratoires proprement dits"[9] et ainsi ceux-ci "débarrassés des problèmes de commande, construction et dépannage des appareils électroniques, (pourront) se consacrer avec plus d'efficacité à leurs tâches propres"[10]. Bien que rangée au nombre des laboratoires, à proprement parler, le rôle de la section d'électronique est intermédiaire entre celui de ces derniers et celui d'un pur fournisseur de dispositifs. La présentation qu'en donne B.Delapalme est significative: les laboratoires doivent éviter de perdre du temps en s'intéressant à l'électronique, mais il sera difficile de les contraindre tous à passer par la section car "l'électronique est tellement amusante que chacun veut faire la sienne"[11]. L'électronique n'est donc pas encore un élément de recherche à part entière, même dans le discours d'un électronicien[12].

On aura noté que deux des responsables du CENG sont issus de la Marine, ce n'est pas là un hasard, bien au contraire. Une part importante des cadres du Centre proviennent de la Marine; ce recrutement se comprend à la fois par l'origine de Delapalme lui-même qui s'adresse à ses relations traditionnelles, mais aussi par le rôle de la Marine comme vivier de responsables ayant à la fois une formation technique, et dotés du pragmatisme nécessaire pour diriger les laboratoires sous le contrôle éventuel des universitaires. Le cas est encore plus frappant pour les techniciens. Dans le domaine de l'électronique, ils sont un élément essentiel du bon fonctionnement des équipes. Or, et c'est l'occasion de dire un mot de la situation de l'électronique en France à l'époque, il règne une terrible pénurie sur le marché des techniciens, pénurie qui frappe indifféremment industriels et laboratoires. Finalement, l'une des seules sources de recrutement commodes demeure la Marine. En effet, cette dernière forme pour ses besoins propres des techniciens rompus à la manipulation des radars et des tubes. Cordelle et Delapalme ont abondamment recours à cette ressource en amenant avec eux les techniciens issus de la Marine qui ont servi sous leurs ordres. On en trouvera jusqu'à 40% dans les premières années[13]

---

8. Pour plus de détail sur le mode d'organisation et les travaux des laboratoires on renvoie à F.Jacq, *Un regard sur la science et l'industrie dans la France d'après-guerre*, CSI, septembre 1991. Les sources sont les documents encore déposés au LETI.
9. Delaplame (1957), 5.
10. Delapalme (1959), 4.
11. Delapalme (1957), 5.
12. Resterait à poser la question de ce rôle étrange de l'électronique reléguée au rang de science marginale. Cela résulte pour une bonne part du statut peu affirmé de la physique du solide en France. Cette dernière est encore l'affaire de petits groupes et la jonction entre physiciens et praticiens de l'électronique ne s'est guère effectuée. Ce point nous semble essentiel. Nous ne pouvons guère le développer dans ce cadre, mais il semble bien que l'émergence de recherches originales en matière d'électronique soit liée à la création d'un "milieu" nouveau regroupant les compétences des physiciens et celles de spécialistes plus liés à l'industrie, du fait par exemple des procédés à développer pour purifier les cristaux ou les composés. On en trouvera une illustration avec la création du service commun entre les électroniciens de Cordelle et les physiciens de Néel.
13. Les estimations sont incertaines. Elles proviennent d'interpolation entre quelques dossiers de recrutement un recensement approximatif des effectifs et les souvenirs des anciens de la section.

Au-delà de ces tâches matérielles de première heure, et pour résoudre les difficultés du moment[14], Delapalme et Cordelle ancrent leur politique autour de trois idées fortes. L'accent est mis avant tout sur la standardisation des montages et des installations électroniques. Non seulement la section doit éviter une perte de temps aux autres laboratoires, mais elle se pose comme garante d'une rigueur dans le choix des moyens. Cordelle souligne qu'une partie des faiblesses de l'électronique française provient de sa trop grande dispersion, et de son manque d'homogénéité[15]. Cette préoccupation n'étonne guère chez deux anciens militaires pour lesquels l'interchangeabilité des dispositifs est un facteur clé.

Lié à ce concept de standardisation, ils préconisent également une activité de suivi très vigilante de l'évolution des techniques. L'implicite est que l'électronique "va trop vite" et que les "chercheurs" ne sont pas en mesure de suivre. En arrière-plan se profile une conception encore assez passive des recherches dans le domaine. En elle-même, l'électronique des dispositifs utilisés par les physiciens ne participe pas, à part entière, de l'expérience. Elle n'est qu'un support, conception typique chez Néel dans le cas de son appareil de mesure des phénomènes d'hystéresis pour lequel il "délègue" l'électronique[16]. Enfin, dernier volet, Delapalme estime qu'une collaboration avec l'industrie est possible et souhaitable. Les difficultés d'approvisionnement sur le marché français et la qualité incertaine des produits -à son point de vue- offre l'occasion de conseiller les industriels et de leur proposer certaines réalisations[17].

Transistorisation et orientations nouvelles

Pour conclure ce tour d'horizon, quelques mots des travaux réalisés par la section d'électronique durant ces premières années permettront d'en apprécier la diversité. Les toutes premières études entreprises par les électroniciens, alors même que le centre n'est pas encore sorti de terre, portent sur des contrats de la Marine amenés par Delapalme. Il s'agit de magnétométrie (mesure de champs) et de guidage magnétique (torpilles). En particulier, à partir des brevets déposés par A.Abragam sur le magnétomètre à résonance, le groupe tente de mettre sur pied un magnétomètre destiné à être embarqué sur les avions Breguet Atlantique pour la détection sous-marine. Le travail sera de longue haleine puisque les premiers modèles réellement satisfaisants n'apparaîtront que vers la fin des années 1960.

A cette première étude se superposent assez vite les obligations liées au soutien technique des laboratoires. La section qui, initialement, devait rester limitée à une quinzaine de personnes connaît en fait une assez forte croissance. Au 26 août 1958, soit deux ans et demi après la création officielle du CENG, et peu après son installation dans les nouveaux bâtiments du polygone[18], la section compte 24 personnes dont Cordelle, cinq ingénieurs[19] et dix-huit techniciens. Deux années plus tard on dénombrera près de cinquante personnes pour atteindre une petite centaine en 1963.

La section est divisée en sept groupes spécialisés "non d'après la nature des problèmes mais d'après les méthodes employés pour les résoudre"[20]. Ce point est important dès lors qu'il permet de s'affranchir d'une partie de la dépendance par rapport aux autres services. Travailler par méthode permet de constituer des groupes relativement experts dans chacun des domaines considérés. Les sept groupes

---

14. Les orientations données alors dépendent très largement du contexte perçu de l'électronique et des habitudes de travail de Delapalme et de Cordelle. Ce dernier a l'occasion de participer aux travaux de la Commission Permanente pour l'Electronique du Plan (COPEP) et réalise en particulier une enquête sur les fabricants de matériel électronique dont il retire le sentiment d'une absence préjudiciable de la plus élémentaire standardisation et d'une qualité moyenne, d'où ses efforts. On verra Cordelle (1962).

15. C'est un thème récurrent sous la plume de Michel Cordelle, on verra Cordelle (1960) et (1962) entre autres. Cela n'implique pas pour autant que son analyse soit confirmée systématiquement, elle est aussi un outil de conviction vis-à-vis de ses interlocuteurs, en particulier lorsqu'il s'affronte avec les services saclaisiens dont la rigueur lui paraît insuffisante (notes et chrono échangés sur l'homologation des appareils d'instrumentation nucléaire, en particulier note EL 61-12816 du 13/7/1961 où il écrit "le principal travail utile est... l'examen des critères généraux de construction d'appareils électroniques"). La standardisation est aussi un outil pour imposer ses vues, en cela il a saisi le point névralgique d'une bonne part de la démarche scientifique et se place comme point de passage obligé. Sur ce point la littérature est abondante Collins (1985), Latour (1989) ou encore Wise (1988). On observera aussi qu'il s'agit d'un thème en vogue en France avec les essais de normalisation par le CNET ou la COPEP.

16. L'appareil mentionné est le reptographe, voir Bonnet, Gariod (1958) et Bonnet, Dautreppe, Gariod (1959). Pour d'autres indications de ce phénomène note de Delapalme à Cordelle de juillet 1959, chronos période 1959-60, témoignages. Cela pose un assez intéressant problème: cette approche néglige complètement l'étroite imbrication entre le dispositif expérimental et les résultats qu'on en tire (sur ce geste unique de l'expérience on peut renvoyer à de multiples textes, parmi ceux-ci Polanyi, Ravetz ou Kuhn pour les grands ancêtres, pour les études plus récentes Latour (1989), Gooding, Pinch, Schaffer (1989), il faudrait bien sûr renvoyer également à l'oeuvre de G.Bachelard).

17. On en trouve déjà l'indication dans Delapalme (1959), Cordelle s'en fait l'écho dans Cordelle (1960) .

18. Ainsi est désigné l'espace sur lequel est implanté le CENG, référence au polygone d'artillerie qui s'y trouvait auparavant.

19. Bonnet, Grenier, Gariod, Gasnier, Lacour qui, nous aurons l'occasion d'y revenir furent les principaux responsables du laboratoire durant toutes ces années, J.Lacour en devenant le directeur au départ de Michel Cordelle.

20. Cordelle (1960), 2.

se partagent entre les unités de soutien aux autres laboratoires du CENG (Service général, Electronique générale, Electronique Nucléaire, Servo-mécanismes, Mesure et Contrôle) et deux groupes chargés de recherches propres. Le premier est le groupe Hyperfréquences sur lequel nous reviendrons bientôt à loisir puisqu'il se charge des études sur les mémoires magnétiques. Le second est le groupe Transistor qui possède une triple mission. Il est en charge de l'étude de l'emploi des transistors. Il tient ainsi un fichier des transistors disponibles spécifiant leurs caractéristiques. Il suit également l'emploi de ces dispositifs pour les problèmes de comptage et de mesure de fréquence, domaine d'application important pour le nucléaire. Troisième mission, il dispense ses conseils et des cours sur le sujet à un public assez vaste allant du personnel du CENG aux membres de l'université et à l'industrie local, et ce parallèlement aux activités de formation professionnelle[21]. Près d'une centaine de participants sont accueillis au cours de l'année 1960. Ce groupe Transistor est animé par Jacques Lacour, jeune ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Électricité.

Dans un premier temps, le travail proposé au groupe Transistors demeure donc dans les limites d'une utilisation des transistors et d'un suivi des divers types proposés par l'industrie. Pour limitées en volume que soient ces études, elles appellent un certain nombre de remarques. Elles sont guidées par le principe de l'originalité par rapport au marché, tentant de développer systématiquement des systèmes non disponibles chez les constructeurs. Les deux volets en sont la réalisation d'amplificateurs à courant continu transistorisés pour les très hautes impédances et la production de circuits de comptage, dans le vue de produire un ensemble normalisé et reproductible[22]. Ces circuits de comptage permettent de mesurer le flux de particules arrivant sur le détecteur et sont donc particulièrement utiles pour l'ensemble des détecteurs, dont ceux de la section d'application des radio-éléments. Par ailleurs la collaboration qui s'établit avec cette dernière s'avère fructueuse. Cette dernière, chargée de la production et du suivi des radio-éléments, réclame pour ses besoins des appareillages de mesure qui soient suffisamment fiables, robustes et transportables, donc point trop volumineux. Cordelle et Lacour estiment que, dans ces conditions, l'utilisation de transistors s'impose. Les avantages en termes de miniaturisation et de robustesse ne sont plus à démontrer par rapport aux valves et tubes, jusque là ressources essentielles de l'industrie électronique. Justifiant sa politique Cordelle s'interroge pour savoir "s'il est raisonnable d'abandonner une technique qui nous donne au fond pas mal de satisfaction dans beaucoup de domaines"[23]. Il examine alors les multiples avantages et inconvénients de l'option transistor. Ayant indiqué que ce ne saurait être une priorité absolue il dégage soigneusement les cas d'application les plus favorables. C'est dans ceux-ci que sa section s'engage le plus avant, menant une politique systématique de transistorisation.

Il est important de bien mesurer l'importance de cet intérêt pour les applications des transistors, puis au bout de quelques années pour les circuits intégrés et leurs diverses applications. Il ne faudrait en effet pas se méprendre, le domaine reste encore le parent pauvre des recherches universitaires, ou, plus exactement, il y a deux électroniques. L'une date d'avant-guerre et fonctionne avec comme élément essentiel les tubes et les valves électroniques, instruments volumineux, fragiles, de manipulation parfois délicate du fait du temps de chauffage. La nouvelle électronique est en revanche celle que nous connaissons aujourd'hui qui émerge avec la mise au point du premier transistor dans les laboratoires de la Bell en 1947. L'historiographie a désormais introduit la notion de communauté de physique du solide pour désigner l'apparition de ce domaine comme force autonome[24]. Ce concept pose un problème difficile: quelles sont les raisons de cet essor aux Etats-Unis dont on va voir qu'il ne se retrouve pas identique en Europe? On peut risquer l'hypothèse que les conditions d'émergence impliquaient l'imbrication d'un milieu industriel *et* scientifique. En effet les recherches en physique du solide supposent la maîtrise de la fabrication des matériaux, la reproductibilité de ceux-ci, tous éléments profondément liés à la pratique industrielle. La Bell offrait le cadre idéal pour ce recouvrement entre deux courants: l'un scientifique, l'autre technique.

Si l'on tente maintenant d'esquisser une comparaison avec la situation française, la différence est assez nette. Les études de "physique du solide", appuyées sur la mécanique quantique, n'ont jamais fait partie de la grande tradition française. Il est inutile de revenir ici sur le peu d'intérêt suscité par la physique quantique en France durant l'entre-deux-guerres. Il trouve là une nouvelle conséquence. Les

---

21. Voir Cordelle (1960), 5. On trouve des indications sur le volume horaire dispensé dans les chronos et les notes internes de la section. Pour les années 59-61 on peut estimer la prestation (en temps cumulé) à deux ingénieurs.an.
22. Voir note de la section d'électronique El 59, mai 1960.
23. Cordelle (1960b).
24. Il ne s'agit pas ici de discuter ce concept, qui semble assez bien établi (pour un aspect Hoch, 1988), mais de le retenir pour le contraster avec le cas français. Il faut ainsi noter qu'aux Etats-Unis se constitue une véritable école autour des élèves de J.Slater et E.Wigner qui mènent des recherches intensives sur ces questions. Par comparaison le cas de Louis Néel est intéressant. Il travaille sur des domaines similaires mais ne se considère pas comme un physicien du solide mais bien dans un sens étroit comme un spécialiste du magnétisme et des corps magnétiques.

physiciens français développent peu d'études sur des sujets comme les semi-conducteurs[25]. Enfin, dernier facteur décisif du contexte français, l'absence de l'impulsion donnée par la guerre aux recherches aux Etats-Unis.

L'apparition de l'électronique du transistor ne change pas fondamentalement la situation dans l'immédiat après-guerre et les faiblesses demeurent. Les premiers transistors mis au point à la Bell, puis fabriqués par la Western Electric sont considérablement moins fiables, au tout début, que les tubes et bien plus difficiles à fabriquer. L'industrie française, en plein redémarrage, néglige le développement de recherches électroniques et se contente de suivre le flot d'innovations venues des Etats-Unis. Tel est le premier constat. Il repose avant tout sur le fait que toutes les innovations en matière de transistors proviennent des Etats-Unis et que les firmes françaises se contentent de prendre des licences des principales firmes américaines. De plus la part de ces brevets qui portent sur l'amélioration ou la réalisation de dispositifs à base de transistors est faible[26]. En moyenne une innovation apparue aux Etats-Unis met trois ans pour trouver un premier industrialisateur en France, délai un peu supérieur à celui des concurrents européens (Grande Bretagne, Allemagne Fédérale). Ce constat doit toutefois être nuancé. Durant ces premières années les dispositifs de transistors évoluent très rapidement; les techniques changent fréquemment. De plus, la Bell ouvre largement ses coffres et fournit les informations techniques à qui est disposé à les payer. De ce fait on ne peut parler de retard des industriels français dès lors qu'ils sont prêts à acclimater les nouveaux produits proposés. Par ailleurs, la Compagnie Générale de Télégraphie sans Fil (CSF) développe dès 1952 un laboratoire dédié aux études sur le germanium en collaboration avec l'Ecole Normale[27]. Ce bref aperçu visait surtout à faire mesurer l'originalité *potentielle* du cadre grenoblois, technique, voire industriel *et* scientifique.

Une expérience avortée: les grenats

Les travaux entrepris par le groupe Hyperfréquence de la section d'électronique se situe tout d'abord entièrement dans la mouvance des recherches de Louis Néel et du LEPM. Bien qu'il ne constitue pas l'origine à proprement parler un travail sur les mémoires le cas des ferrites grenat vaut d'être exploré. Au fil des années 1950, le laboratoire de Néel est devenu le haut-lieu du magnétisme français et les explorations de la matière magnétique se multiplient dans diverses directions. Dans le cadre de ces études et après de longs démêlés pour pouvoir disposer d'échantillons de terres rares[28], F.Bertaut, le responsable de la cristallographie au LEPM, et F.Forrat, le futur responsable de la division de cristallogenèse du LETI, découvrent en 1956 le premier grenat magnétique. Ces composés sont nommés ainsi du fait de leur structure analogue à celle des grenats naturels[29]. Le composé étudié par Bertaut et Forrat est le grenat de fer-yttrium ($Y_3Fe_5O_{12}$). La découverte fait sensation, en effet on n'avait encore jamais réalisé un tel composé magnétique en laboratoire[30]. Le grenat devient, selon l'expression de D.Pestre, une véritable "drosophile" des hommes du magnétisme; il constitue en effet le lieu idéal d'exploration des vues théoriques de Néel, engageant à la fois la matière et le discours sur cette dernière.

Les grenats possèdent de remarquables propriétés dans le domaine des hyperfréquences leur ouvrant le rôle de filtres ou de limiteurs de puissance, mais aussi comme mémoires optiques du fait de leur transparence à la lumière et de la commande possible par l'aimantation d'une modulation de la lumière. Ces derniers aspects n'entrent guère dans les préoccupations des grenoblois. Durant les mêmes années 1955-1956 les laboratoires américains, essentiellement ceux de la Bell, ne lésinent pas sur les moyens et visent, sur les mêmes sujets, d'immédiates retombées industrielles.

Il convient de souligner de façon plus générale le rôle croissant des ferrites, ordinaires cette fois, dans le domaine de l'électronique. Ces composés magnétiques permettent entre autres de réaliser des mémoires sous forme de tores pour les calculateurs mais aussi des éléments pour les postes de télévision ou de radio. En France, le marché en est largement contrôlée par Philips et sa filiale COPRIM. Pour réagir contre cette hégémonie et développer les recherches entreprises dans ses laboratoires, la CSF s'associe, en 1954, avec trois industriels étrangers (Plessey, General Ceramics, et Steatit Magnesia) dans un partenariat d'échange d'information. Dans le même temps, la CSF prospecte auprès des constructeurs d'ordinateurs et observe alors à la Compagnie des Machines Bull "des laboratoires surchargés" et qui "n'envisageront le cas des ferrites qu'à partir de juillet 1955"[31]. Ressentant la

---

25. Pour la physique française entre les deux guerres on se reportera à Pestre (1984).
26. Nous suivons l'analyse convaincante de Tilton (1971), voir en particulier les pages 110 et sq.
27. Les responsables en sont Claude Dugas, avec Pierre Aigrain à l'ENS, et sous la direction d'André Danzin.
28. Pour une présentation complète analysant ces péripéties voir Pestre (1990), chapitre 7.
29. Cas3Al2Si3O12
30. Bertaut, Forrat (1956) et (1956b).
31. Lettre du 5/10/1954, Ameil à A.Danzin qui est alors directeur du Département de Recherches Physico-Chimiques de la CSF.

faiblesse de sa position en France, la CSF propose aux autres firmes françaises intéressées de se regrouper dans une firme commune, la Compagnie des Ferrites Electroniques (COFELEC), sur laquelle nous aurons l'occasion de revenir. Regroupant initialement Thomson, Ugine et la CSF, cette association, créée en 1957, est finalement élargie à Bull et se donne pour tâche d'occuper le marché des ferrites en France[32]. Ainsi le cas des ferrites classiques est-il au coeur des préoccupations de certains industriels français, ce d'autant plus que le lien entre les ferrites et les autres composants électroniques comme les transistors est important. Les deux composants se doivent en effet d'être compatibles, la maîtrise sur le domaine des ferrites induit de facto certaines contraintes sur les transistors, ce qui ne laisse pas d'inquiéter la CSF[33]. Enfin, ces inquiétudes ne se limitent pas au cas des ferrites classiques, mais touchent aussi aux ferrites pour les hyperfréquences où les responsables notent l'expansion américaine et l'absence de moyens en France, déplorant en particulier le peu de crédits publics.

On appréciera dès lors d'autant mieux l'attitude de l'équipe de Néel qui ne semble guère sensible aux sirènes de l'industrie. Le premier contact a lieu avec la CSF sous forme d'un entretien entre Néel et son condisciple Maurice Ponte, Directeur général de la CSF. Dans une note manuscrite à son collaborateur A.Danzin de novembre 1957, Ponte indique avoir rencontré un "Néel ulcéré " que personne ne se soit intéressé aux grenats. Ponte s'inquiète d'autre part de la politique de Néel consistant à publier systématiquement, enfin il note que ce dernier n'est pas aussi lié à Ugine qu'il le pensait[34]. Cet échange témoigne d'abord du cloisonnement des divers milieux. L'universitaire Néel possède certes des relations avec les industriels de la région grenobloise, comme Ugine, mais elles restent distendues, tout en inquiétant la CSF, ce qui est le comble. D'autre part, le même Néel ne lit, dans un premier temps, le cas des ferrites qu'à travers son propre prisme de travail. Sa colère ultérieure ne provient que du sentiment d'être dépassé par ses concurrents américains. Enfin, même si les relations au sommet sont bonnes entre les deux normaliens que sont Ponte et Néel, on perçoit une large divergence de vue entre deux milieux fort peu miscibles.

Un contrat est finalement signé entre Néel et la CSF pour étudier ces questions. Quelques échanges ont lieu sous forme de visites et de communications entre les équipes de Puteaux pour la CSF et les grenoblois. Les échanges butent assez rapidement sur une profonde différence de culture entre les deux mondes et sur le difficile passage entre travaux de laboratoires et industrialisation. En tout état de cause, le retard sur les travaux concurrents est déjà estimé à deux années; d'autre part, mobilisée par l'organisation du CENG, l'équipe grenobloise néglige relativement ces aspects. C'est ainsi qu'assez logiquement, à partir de la fin de 1958, c'est à la section d'électronique du CENG qu'échoit l'étude des possibilités d'application des grenats magnétiques dans le domaine des hyperfréquences. Michel Cordelle prend d'ailleurs la plume à cette occasion pour souligner l'importance des grenats[35]. On tente ainsi de créer un milieu intermédiaire plus réceptif aux contraintes industrielles et plus sensible aux applications. Réceptif, il l'est au point que, les travaux achoppant sur l'extrême difficulté de préparation et de caractérisation des grenats, le petit groupe du CENG, qui ne possède pas les compétences indispensables en matière de préparation de cristaux, décide rapidement (fin 1959) d'abandonner cette voie[36]. Ce rapide renoncement est révélateur à un double titre: d'abord d'une vision faussée de la réalité industrielle et des applications du côté du LEPM. Ce dernier semble penser que, certes il n'est pas le lieu plus adapté pour réaliser de telles opérations, mais qu'un groupe à l'orientation plus 'pratique' en sera parfaitement à même. C'est faire bon marché des contraintes industrielles et de la maîtrise des techniques de laboratoire, deux exigences simultanées point aisées à allier lorsque l'on débute une étude ex nihilo. Si proches soient ils les hommes du CENG et du LEPM vont se trouver bien tôt dans des rôles distincts, au point de freiner certains échanges. De ce point de vue, les lames minces magnétiques bien qu'offrant initialement moins de difficultés, offrent une illustration instructive.

Les lames magnétiques: le début de l'expansion.

Indiquons brièvement le principe et l'origine de ces études sur les lames minces. On a vu que Néel s'était fait une spécialité de l'étude des composés ferromagnétiques. Ces derniers se caractérisent par une forme d'ordre magnétique où les divers moments magnétiques élémentaires sont orientés dans la

---

32. Les participations respectives sont de 35% pour Thomson et CSF, 20% pour Ugine, 10% pour Bull.
33. Lettre du 8/1/1957 de A.Danzin à Haase-Dubosc, représentant la CSF aux Etats-Unis.
34. Note manuscrite de Ponte à A.Danzin du 12/11/1957.
35. Cordelle (1958).
36. Il se greffe dans le même temps un conflit d'intérêt entre CSF et Néel puisque ce dernier réalise alors que la Marine est disposée à lui offrir un soutien pour des recherches sur les grenats et leurs applications. Il prend prétexte de son rôle de directeur du CENG pour plaider une incompatibilité avec sa position de conseiller scientifique de la CSF. Dans cette affaire chacun joue avec persévérance un jeu qui laisse peu de place à la confiance.

même direction. Plus généralement, un corps magnétique se compose de multiples domaines de taille très réduite pour lesquels l'orientation de l'aimantation est différente. Néel se consacre, entre autres, au cours des années 1940-1950 à l'étude de ces domaines. L'un des phénomènes intéressants qu'il envisage concerne le renversement de l'aimantation lors du passage d'un domaine à un autre. Les parois au sein desquelles s'effectue la transition entre les deux domaines avec la rotation de l'aimantation sont des zones de très faible épaisseur, dites parois de Bloch. En 1954, Néel reprend l'étude en se concentrant cette fois sur les phénomènes liés aux couches minces. Pour peu que l'épaisseur de la couche soit suffisamment faible, typiquement de l'ordre du millier d'Angströms, la couche devient mono-domaine dans le sens de son épaisseur, autrement dit l'aimantation est de direction constante. De ce fait, la rotation de l'aimantation dans la paroi entre deux domaines se fait selon un axe perpendiculaire au plan de la couche, et non plus selon un axe parallèle à celle-ci. De telles parois furent dénommées parois de Néel, peu après leur étude par le physicien[37].

Aucune approche expérimentale spécifique n'est cependant lancée, en particulier en matière de réalisation pratique de couches minces. Ce n'est qu'en 1958-1959 que Néel prête une attention plus soutenue aux potentialités ouvertes par ces recherches. Seul un centre français, à Caen, s'est intéressé aux lames minces. Néel emploie alors sa politique habituelle et tente d'attirer vers Grenoble un jeune chercheur familiarisé avec les lames minces, Robert Montmory. Après négociation, il crée ainsi une section lames minces dans le laboratoire au début de 1959[38]. Dans ce domaine, l'impulsion décisive provient encore des Etats-Unis. C'est aux Etats-Unis que les chercheurs recueilleront les premières bribes de leur savoir-faire en la matière.

Le groupe Lames minces du LEPM se développe assez rapidement et étudie tout d'abord la réalisation de lames par évaporation sous vide avant de se consacrer à des investigations concernant leurs propriétés. La principale application envisagée des lames minces réside, dès ce moment, dans la réalisation de mémoires magnétiques[39]. En effet les lames minces possèdent deux caractéristiques importantes. Lorsqu'elles sont soumises à un champ magnétique durant leur préparation, il se développe dans le plan de la lame une anisotropie uniaxiale dans la direction du champ. D'autre part, le passage d'une position d'équilibre de l'aimantation à la direction opposée peut s'effectuer par rotation cohérente en un temps inférieur à la nanoseconde. Ces deux propriétés permettent d'espérer la réalisation de systèmes de mémoires. En effet, il serait possible de coder l'information de façon binaire en affectant à chaque micro-domaine un bit d'information représenté par le sens de l'aimantation. La lecture peut alors se faire par exemple en renversant le sens de l'aimantation, d'où la relative rapidité du processus, compte-tenu du faible temps de renversement.

On a vu que la technique dominante pour les mémoires destinées au matériel informatique était les tores de ferrites. Cette technique est alors tenue pour la plus prometteuse, le procédé industriel est bien maîtrisé par certains industriels aux Etats-Unis ou par Philips. Les propriétés des couches minces leur confèrent quelques avantages par rapport aux ferrites classiques. Le renversement de l'aimantation dans les domaines de la couche mince étant aisé, ce qui ne serait pas le cas d'une ferrite où l'énergie démagnétisante est élevée, elles peuvent ainsi constituer des mémoires sensiblement plus rapides. Il faut y ajouter un encombrement moins important, prémisse d'une orientation vers la miniaturisation.

Après s'être intéressé aux techniques de préparation, Montmory commence à développer quelques applications pour les mémoires. Il bénéficie pour ce faire du soutien et des subsides de la Direction de la Recherche et des Moyens d'Essai (DRME)[40] qui lui permettent de vivre assez confortablement. Proportionnellement aux ressources du LEPM les fonds reçus sont importants et témoignent de l'intérêt attaché au sujet[41]. Il dépose plusieurs brevets concernant la réalisation de dispositifs de mémoire, affichant, dès 1962, quelques résultats techniquement prometteurs. Ces travaux se cantonnent néanmoins dans une perspective de recherche avancée au bénéfice potentiel des militaires, de ce point de vue la démarche du groupe du CENG est assez différente.

C'est vers le début de 1960 que le CENG commence à prendre une part active dans les recherches sur les mémoires. Après discussion entre Cordelle, Dautreppe[42] et Néel, il est décidé d'explorer systématiquement le domaine des mémoires dans le cadre du laboratoire d'électronique. Cordelle confie à Georges Grunberg, ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité, la charge d'animer

37. On se reportera à Néel (1944) et (1955) reproduit dans Néel (1978).
38. Comme souvent Néel use de ses relations pour obtenir des postes CNRS et universitaires, en particulier un poste pour la femme de R.Montmory. Voir Pestre (1990), 129.
39. Read, Pohm (1959), ainsi que Pohm, Read, Stewart, Schauer (1959).
40. La création de cette dernière marque, rappelons-le, un tournant dans la politique de recherche en matière militaire puisque la politique dépend désormais d'un seul centre et que celui-ci distribue à partir de sa création d'importants subsides aux laboratoires.
41. Voir Pestre (1990) pour les indications chiffrées.
42. D.Dautreppe est le responsable du laboratoire de physique du solide du CENG, ancien élève de Néel, qui devient rapidement un précieux soutien des électroniciens et l'un des artisans du rapprochement entre l'univers des 'physiciens' et celui des 'marins'.

ces recherches qu'il conduira jusqu'à son départ vers l'industrie en 1969. Parallèlement, le laboratoire de physique du solide du CENG, dirigé par Dautreppe, mène les études sur la structure des lames minces en utilisant pour cela les techniques d'irradiation. Lors de cette première année de travail, les ingénieurs de la section d'électronique se préoccupent surtout de se familiariser avec les lames minces et leurs propriétés. Ils se contentent d'avoir recours au service du LEPM qui leur fournit les lames, à charge pour eux de les étudier. On trouve là un partage des tâches assez caractéristique entre l'institut Fourier[43] et le CENG.

Pour mener à bien cette première étude durant l'année 1960 la section d'électronique s'appuie sur un contrat co-financé par le CEA, qui souhaite pouvoir réaliser des mémoires pour son instrumentation électronique, et le Service Technique des Transmissions de l'Air (STTA)[44]. Comme le soutien de ce dernier service s'affirme au cours des années ultérieures, nous voudrions en dire quelques mots. Créée à la Libération, cette unité constitue le fer de lance de l'Armée de l'Air dans sa politique d'études. Son statut fluctue entre une autonomie avec rattachement direct au ministre et une dépendance vis-à-vis de la Direction Technique et Industrielle de l'Air (DTIA). Au cours des années 1946-1958, c'est l'un des plus gros pourvoyeurs de contrats de recherche et d'équipement pour les laboratoires et les industriels spécialisés dans l'électronique. Au cours des années 1955-1956, la CSF réalise plus du tiers de ses marchés publics avec ce seul service. A titre d'illustration, en 1951, il dispose d'un budget global d'équipement de 25 milliards de francs dont 1 milliard pour les recherches[45]. La politique menée semble avoir débordé assez largement les simples préoccupations militaires puisqu'un soutien est fourni aux laboratoires pour développer des techniques originales sans que les contraintes sur les bénéficiaires du contrat soient bien fortes. Le STTA est également soucieux d'offrir une plus large diffusion aux produits électroniques pour rentabiliser les investissements, politique relativement favorable aux industriels. Dans le cas du groupe Hyperfréquence, l'interlocuteur du groupe, l'ingénieur en chef Bertrais accepte libéralement le premier contrat pour 1960 qui vise surtout à payer le personnel et à équiper le laboratoire.

Deux ingénieurs et deux techniciens explorent les modes de caractérisation des lames. Les tout premiers travaux s'appuient sur le reptographe pour suivre les cycles d'hystérésis des matériaux. Le reptographe est un instrument mis au point sur une idée de Néel consistant à mesurer le déplacement des cycles d'hystérésis magnétique. La réalisation de l'appareil, en particulier son électronique constitue l'une des premières tâches des hommes du CENG[46]. Il permet en effet en mesurant les cycles d'hystérésis d'étudier les renversements d'aimantation qui sont la base des mémoires magnétiques, il s'agit en effet de calibrer l'objet lame mince pour déterminer les moyens de commande de l'éventuelle mémoire. Vient ensuite la mise au point d'un hystéroscope audiofréquence destiné au relevé des cycles d'hystérésis des lames de permalloy[47]. Il permet le relevé direct des cycles d'hystérésis sur oscilloscope. Le but est de définir précisément les conditions de renversement de l'aimantation dans la lame pour apprécier sa reproductibilité et les caractéristiques des mémoires[48]. En fait, l'appareillage est adapté d'études similaires menées au Lincoln Laboratory du MIT et au laboratoire de magnétisme de Strasbourg.

Se pose alors la question pour le groupe de la suite des opérations en particulier de ses relations avec la section lames minces du LEPM. Le responsable des recherches sur les mémoires, G.Grunberg, se préoccupe de devoir systématiquement recourir aux services du LEPM pour obtenir les lames qui lui sont nécessaires. En effet "si la partie recherches sur les lames minces intéresse beaucoup l'Institut Fourier, la partie "technologie" et production passionne bien moins les chercheurs. Le laboratoire de lames minces de l'Institut Fourier ne voulant pas être considéré comme un "fabricant de lames" il est très difficile de lui demander de préparer une série importante de lames dans des conditions identiques"[49]. On touche là le point central du débat entre le LEPM et le CENG. L'une des caractéristiques principales de la production des lames réside dans la fourniture de lames de qualité constante. Ce problème importe assez peu aux chercheurs du LEPM qui ne cherchent pas à tester des conditions de reproductibilité mais à étudier les propriétés de lames satisfaisantes; ces dernières peuvent alors être relativement rares. Il est vraisemblable que la concentration des recherches en direction des militaires encourage cette démarche puisque ces derniers ne requièrent finalement qu'un petit nombre de dispositifs. A l'inverse, la section d'électronique souhaite, dès cette époque, élaborer un procédé de fabrication stable et reproductible, qui permette une industrialisation. En effet, de la réalisation d'*un* dispositif qui fonctionne, mais qui a peut-

43. Lieu d'installation du LEPM.
44. Note de Cordelle à Néel et Delapalme EL 60-567, novembre 1960, Grunberg (1961).
45. Dossier STTA aux Archives du SHAA, Vincennes, également liste partielle des marchés CSF.
46. Bonnet, Dautreppe, Gariod (1959).
47. *Etudes des lames minces de permalloy au moyen du relevé du cycle d'hystérésis*, Note E/El/Hy du 2 janvier 1961.
48. Grunberg, Antier, Cabau (1961)
49. Grunberg (1961), 11.

être demandé la préparation d'une dizaine de lames avant d'en trouver une qui réponde aux exigences voulues, à la préparation systématique de mémoires, il y a un grand pas.

C'est volontairement que la section d'électronique entend se démarquer et choisir une autre voie d'approche. Pour elle, les perspectives sont bel et bien celles d'une industrialisation et d'un développement dans l'industrie informatique. D'ores et déjà, plusieurs industriels, au premier rang desquels la Compagnie française des machines Bull, ont manifesté leur intérêt et souhaitent disposer rapidement d'un dispositif au stade du développement. A cet effet, G.Grunberg propose pour 1961, avec le renouvellement des contrats, un nouveau mode de répartition des tâches où la section d'électronique produirait elle-même ses lames et ne conduirait plus que quelques études en commun avec le LEPM, Montmory demeurant conseiller scientifique pour l'ensemble des travaux. Il propose de plus d'impliquer plus directement les industriels dans les recherches entreprises. La politique est sciemment volontariste car, si, à la différence de celle du LEPM, elle se préoccupe de débouchés industriels, les responsables notent que "les objectifs poursuivis par les industriels sont à relativement courte échéance, en raison de leurs divers impératifs techniques et financiers et il est indispensable de développer l'étude dans des domaines où la rentabilité ne paraît pas évidente... (il s'agit) de parvenir un jour à des solutions industrielles originales permettant de défendre l'industrie française"[50].

Le nouveau montage qui se conclut en 1961 fait donc intervenir, outre le CEA et le STTA, la Compagnie des Machines Bull et la Compagnie Française Thomson Houston (CFTH). Les deux dernières contributions sont modestes, le STTA reste l'un des piliers de l'aide publique en maintenant son soutien jusqu'en 1965 pour la réalisation de prototypes. A partir de 1962 la DGRST et le Fonds de Développement de la Recherche Scientifique et Technique (FDRST), autres intiatives du gouvernement gaulliste, s'associent à l'aventure avec des contributions de l'ordre de cent à deux cents mille francs. L'ensemble permet l'acquisition par la section de matériel à hauteur de 550 000 NF comprenant deux ensembles d'évaporation sous vide, un four à recuit utilisé pour stabiliser les propriétés des lames et tout un ensemble d'appareils de mesure. Par ailleurs la taille de l'équipe croît avec maintenant 5 ingénieurs et 7 techniciens.

Plusieurs possibilités se présentent pour l'exploration technologique: le dépôt sous vide, le dépôt électrolytique et la pulvérisation cathodique. La première technique est à l'époque la plus employée. Elle consiste à procéder à un dépôt sur une surface plane, verre ou métal, de l'alliage choisi pour la lame. Dans les premières années, il s'agit de permalloy un alliage de fer et de nickel. La technique demeure encore mal maîtrisée du fait des fréquentes contaminations par le creuset de l'alliage, d'un contrôle difficile de la vitesse d'évaporation. Toutefois, elle est particulièrement importante dans la mesure où elle s'apparente aux tentatives contemporaines dans le domaine des semi-conducteurs, avec l'introduction de la méthode dite planar pour la réalisation de transistors[51], de ce fait elle constitue un capital de connaissances pour la section. L'autre grande technique de préparation est le dépôt électrolytique qui consiste, lui, à préparer un bain d'électrolyte et à y plonger la surface réceptrice. Le point délicat est la composition et la stabilité de l'électrolyte à utiliser, les ingénieurs s'échinant à déterminer les paramètres qui conditionnent la reproductibilité des essais. La principale difficulté tient au fait que le fer et le nickel possèdent des tensions de vapeur et des potentiels de polarisation très différents. Cette méthode s'avère plus spécialement intéressante pour les dépôts sur support cylindrique. Enfin, dernière technique, la pulvérisation cathodique reste alors une technique embryonnaire avec des performances très variables, peu exploitée par le groupe grenoblois.

Jusqu'à la mi-1962 le groupe demeure focalisé sur la technique de dépôt sous vide sur support chauffé, il met ensuite aussi l'accent sur les recherches sur le dépôt électrolytique. Pour stabiliser les procédés technologiques le groupe met en place toute une batterie de tests et d'études systématiques portant sur les propriétés magnétiques, la réaction en impulsion, les études par effet Kerr[52]. Vers le début de 1963, le groupe commence à maîtriser simultanément les deux techniques. Cette maîtrise est reconnue par les industriels qui acceptent, tel Bull, de détacher des ingénieurs (deux en 1963) pour suivre les travaux. On ne peut manquer d'être frappé par les espérances placées dans ces mémoires, alors même que la technique reste embryonnaire et qu'elle ne peut assurément pas rivaliser avec

---

50. Ibid, 1. On aura remarqué l'originalité du discours qui allie une perspective très industrielle à la volonté d'imposer aussi une plus grande prise de risques et un certain progressisme dans les conceptions de sindustriels. Ce trait est récurrent au fil de l'histoire du LETI qui veut s'imposer comme un réel diffuseur de technologies innovantes au risque d'aller contre les désirs les plus immédiats des industriels.

51. Elle se substitue alors à la technique traditionnelle de croissance par tirage en permettant la réalisation de dépôt dans un même plan. Pour le suivi de l'évolution des technologies se reporter aux indications de Tilton (1971) ou de Malerba (1985).

52. Il s'agit d'une rotation du plan de polarisation d'une onde lumineuse incidente à la traversée du corps magnétique qui est proportionnelle à la projection de l'aimantation magnétique sur le plan d'aimantation. C'est un moyen commode d'investigation des propriétés magnétiques. Cela peut également être utilisé comme dispositif de lecture optique des mémoires magnétiques. On verra sur le programme du groupe Grunberg (1961) et la note M.Cordelle, EL-62-34 qui donne le résumé des dispositions prises.

l'alternative désormais bien établie des ferrites. Il est vrai que, dans le milieu de l'électronique, depuis l'apparition du transistor de très nombreuses techiques se sont succédées, on s'attend donc toujours à l'apparition d'une technique concurrente .

On notera la relative liberté de la section, peu contrainte par le STTA ou le CEA. De ce fait, c'est avec une grande assurance que G.Grunberg présente à l'automne 1962 ses résultats à une réunion restreinte du Comité de l'Electronique de la DGRST où il obtient un imprimatur pour la poursuite de ces recherches[53]. Dès lors la machine est définitivement lancée et les contrats d'étude sont renouvelés régulièrement d'année en année. Les effectifs et les moyens du groupe croissent ainsi régulièrement: de douze personnes en 1962, on atteint les dix-huit en 1964, puis les quarante en 1967, à la veille de la création du LETI. Les moyens financiers affectés sont également considérables avec pour l'année 1964 une nouvelle subvention d'ensemble pour achats de matériel de près de 500000 NF[54].

L'année 1963 voit la première réalisation pratique de l'équipe avec une mémoire de 16 mots de 16 digits, soit 256 bits. Le 24 octobre, un mémoire technique est adressé au Bureau des brevets pour protéger l'étude. Il reprend les grands principes d'utilisation des couches minces, avec, en particulier, la détermination de la courbe critique réelle qui permet de connaître dans le détail le comportement lors du changement d'aimantation. Il insiste sur deux avantages possibles des dispositifs, la possibilité d'une lecture non destructive[55] et la haute densité du stockage[56]. Cette première mémoire est une mémoire plane. Elle correspond à des couches d'épaisseur inférieure à 250 Angströms. L'avantage est qu'alors les énergies démagnétisantes nécessaires pour le changement d'orientation sont beaucoup plus faibles, et il en va donc de même pour le courant de basculement[57]. Du coup, ces mémoires présentent une puissance consommée relativement faible. Le principe même de la mémoire est relativement simple. Le plan est réparti en un certain nombre de micro-domaines magnétiques. Le mode de sélection adopté est la sélection linéaire où chaque ligne du plan de mémoire correspond à un mot et chaque colonne à un bit de ce mot. L'inscription est réalisée par la superposition d'une impulsion de mot et d'une impulsion d'information positive ou négative selon que l'on veut inscrire 0 ou 1. L'un des points délicats est la réalisation de chacun de ces points mémoires qui demandent des techniques d'assemblage relativement sophistiquées. Ce premier prototype est perfectionné au cours de l'année 1964 avec la production de mémoires de 256 mots de 16 digits[58]. Le principe demeure le même, en revanche les techniques de préparation des couches ont été perfectionnées pour permettre de réaliser une surface active plus importante et pour perfectionner les interconnexions entre les divers plans magnétiques. Il est toutefois à noter que, dès la réalisation de cette mémoire de 256 mots, il existe à l'état de prototypes des mémoires de 4096 mots aux Etats-Unis, utilisant le même principe[59]. La course poursuite ne fait alors que commencer. Le marché des mémoires et dispositifs magnétiques se développe considérablement durant cette période avec l'essor de l'industrie informatique. Mais, dans le même temps, la technique des tores de ferrites poursuit sa progression avec la réduction à la fois du diamètre des tores et des coûts de revient.

Définition d'une technologie et politique de la section

Après une phase de grand enthousiasme, la section rencontre en 1964 ses premières difficultés. Les industriels se montrent sensibles aux difficultés de stabilisation des dispositifs magnétiques comparés aux mémoires traditionnelles, on peut lire ici les vagues de flux et de reflux de l'engouement pour une technologie donnée. Autre difficulté, l'un des partenaires principaux Bull se trouve dans une position délicate. La firme conclut après quelques péripéties une alliance avec l'américain General Electric (GE) et montre une relative réticence à s'aventurer dans des domaines incertains. Il ne faut d'ailleurs pas y voir une incompréhension de principe mais plutôt le développement de perspectives différentes. Les firmes informatiques, aussi bien Bull qu'IBM semble-t-il, demeurent "accrochées sur des solutions éprouvées" comme on le note à la CSF. Dans le même temps leurs homologues

53. Chrono septembre-octobre 1962, projet de compte rendu de Grunberg, archives LETI.
54. Chronos 1964, 1967. Les effectifs sont reconstitués approximativement à partir de documents épars et ne sont donc pas absolument exacts, la tendance est toutefois très claire.
55. Pour lire le signal il faut renverser le sens de l'aimantation seul un système qui permet après lecture le retour de l'aimantation à sa position initiale permet cette lecture.
56. Copie El/210. Note du 23/10/63.
57. Le courant de basculement est l'impulsion électrique donnée pour provoquer le changement d'orientation du champ, ce dernier permettant la lecture comme l'écriture de l'information.
58. Antier, Grunberg (1964).
59. Steptoe, Kaposi (1962).

électroniciens voudraient pousser le développement de masse de leurs nouvelles techniques, élément indispensable à la rentabilisation de leurs recherches et de leur production[60].

De ce fait, le laboratoire essaie de lier contact avec un partenaire plus sensible à sa culture, en l'espèce COFELEC, plus proche des électroniciens, mais dans laquelle Bull possède une participation. On y verra un léger décalage la stratégie d'attaque. L'autre conséquence de ce premier coup de semonce touche à la doctrine d'ensemble sur la technologie. Comme les techniques semblent encore trop peu stabilisées pour satisfaire les industriels, le groupe s'engage dans la voie d'un développement plus intensif, quitte à mettre sur pied des productions à petite échelle, dans le but d'irréversibiliser un peu plus les techniques proposées. Parallèlement, le dépôt sous vide qui ne donne pas toute satisfaction, et apparaît mal maîtrisé aux industriels, passe quelque peu au second plan devant l'électrolyte. En effet, la réalisation par dépôt sous vide ne permet que de traiter des surfaces assez limitées et s'avère peu économique; cela conduit par ailleurs à la réalisation de structures planes en flux ouvert. Ces dernières compliquent singulièrement la gestion des points mémoires, dont le prix est l'un des éléments déterminants du coût de la mémoire. Du coup, les fils métalliques obtenus par électrolyte deviennent l'un des chevaux de bataille. La structure est à flux fermé, le champ démagnétisant est nul dans la direction de facile aimantation, ce qui permet d'utiliser une épaisseur plus grande de matière magnétique et d'obtenir des signaux de sortie plus importants. De plus le couplage entre le conducteur de commande (ici le fil) et le film magnétique est par définition excellent, les courants de commande en sont d'autant moins importants. On s'orienterait ainsi dans la direction des mémoires de très faible puissance, mais de grande rapidité. La mise au point du dispositif d'électrolyte est fort complexe; en effet tout dépend de la composition chimique du bain et des données d'utilisation. Le groupe chargé de celle-ci se spécialise peu à peu dans les paramètres de l'électrolyte, avec les multiples difficultés de la composition des bains, des températures, du pH, mais aussi de la stabilité des dépôts. Les résultats attendus ne sont pas au rendez-vous et il faut reprendre l'étude des bains d'électrolyte à la fin 1964. Après de multiples ajustements, un premier banc de dépôt sur fil est installé en 1965[61]. Nous reviendrons par la suite sur ce banc de fabrication de fils pour mémoires.

A ce stade, nous voudrions suggérer quelques remarques sur l'évolution de la technologie des mémoires et sur les développements propres à l'équipe. Un premier point vaut d'être noté: quelles que soient les difficultés de mise au point des technologies et les avancées que fait encore la technologie classique des ferrites, un nombre croissant de chercheurs comme d'ingénieurs est convaincu que les mémoires magnétiques incarnent la technologie d'avenir. La convergence des publications, des travaux des industriels, des opinions émises par les experts laissent assez peu de doute sur ce point. En revanche, force est aussi de constater que dans le camp des vainqueurs potentiels -les mémoires magnétiques- l'unité est loin de régner sur le dispositif à choisir. On note une multiplication des supports possibles: métal, verre,... mais également de la géométrie de ces supports avec quantité d'intermédiaire comme les tores ou des plans tissés et imbriqués avec couplage magnétique, des modes d'inscription et de lecture, des techniques de réalisation, bref toute une panoplie d'alternatives. On retrouve cette dispersion, à une échelle nécessairement plus réduite, dans les recherches menées à Grenoble. En effet les caractéristiques des mémoires semblent liées à plusieurs paramètres point toujours convergents. Lorsqu'il s'agit de défendre l'utilité et l'importance de leurs réalisations les électroniciens mettent en avant alternativement plusieurs argumentaires. On pourra écarter rapidement le premier tant il apparaît très rapidement bien difficile à étayer. C'est celui du coût réduit. Au cours des premières années, on ambitionnait d'atteindre rapidement des prix de mémoires très largement inférieurs à ceux des tores de ferrites. Comme souvent, cet espoir a reculé vers un horizon encore mal défini d'autant que les premiers travaux sur les structures planes ont révélé le coût de réalisation des points mémoires, contrainte non envisagée au départ. Les quatre autres avantages potentiels des mémoires sont, quant à eux, mieux cernés: rapidité, faible puissance, densité et stabilité. Comme en convient G.Grunberg en 1965, ce sont la rapidité et la capacité de stockage qui préoccupent avant tout les utilisateurs. Le premier point donne relativement satisfaction puisque les temps de basculement de l'ordre de la nanoseconde pour un élément unique permettent d'envisager des temps de cycle de l'ordre de la microseconde.

L'amélioration du paramètre densité de stockage est incontestablement l'autre préoccupation majeure. En effet, si l'on songe à employer les mémoires obtenues dans de gros ordinateurs, ou si l'on veut contribuer au stockage de masse, il est indispensable d'obtenir une relative densité. Cette dernière implique de pouvoir réaliser des dispositifs de taille suffisamment importante pour permettre la réalisation d'un grand nombre de points mémoires. On tend donc, dans cette perspective, à s'orienter vers des mémoires planes compte-tenu de la plus grande facilité de réalisation de feuilles de permalloy

60. Note de A.Danzin, 22 septembre 1960, Politique semiconducteurs.
61. Pour ces études Girard (1965), Chezel, Girard, Grunberg, Le Guillerm (1965) ainsi que Nicolas (1972).

d'assez grande dimension, quitte à revenir à une structure à flux fermé en l'incorporant dans un bloc de ferrites. Cela incite la section d'électronique à poursuivre parallèlement les travaux sur les mémoires planes encore au cours des années 1965-1966. Plus largement, parti d'une idée bien localisée, le groupe développe à cette époque un éventail de compétences qui alimentent sa croissance, nous reviendrons sur ce point, et tentent d'autre part de le poser comme un interlocuteur obligé des industriels. Il se penche en effet sur le problème des disques pour les mémoires de masse cinématique en étudiant l'application des techniques de dépôt électrolytique et d'évaporation sous vide à la production de matériaux à fort champ coercitif. De façon complémentaire, le groupe aborde la question des têtes de lecture magnétique pour les mêmes disques avec l'idée cette fois de s'orienter vers la miniaturisation grâce aux couches minces.

Subsistent deux derniers avantages potentiels, la faible puissance nécessaire et la stabilité. Le premier trait est plutôt lié, comme on l'a vu, aux mémoires à fil du fait des faibles courants de commande, le second à la possibilité de réaliser une lecture non destructive. Ce dernier point n'a jusqu'ici été mentionné qu'incidemment, il devient toutefois à cette époque l'un des chevaux de bataille des électroniciens. Dans la plupart des mémoires, lors de la lecture du signal, celui-ci est détruit et il faut alors une nouvelle impulsion de commande pour le régénérer. On court alors le risque d'une erreur dans la restitution ultérieure du signal avec la présence d'une nouvelle inscription incorrecte, d'où l'intérêt d'une mémoire qui conserve lors de la lecture le signal et ne nécessite pas de régénération. Les premiers brevets déposés par les grenoblois prévoient cette possibilité de lecture non destructive. Bien que le problème n'ait pas encore été évoqué, cela ouvre tout un nouveau domaine de travail avec la possibilité de réaliser des mémoires à la sécurité accrue puisque l'information risque moins d'être effacée lors d'une lecture.

Il semble bien que, dans ce cas, contrairement à l'adage, l'abondance de biens ait partiellement nui. Les multiples avantages potentiels des mémoires sont alternativement mis en avant vis-à-vis des constructeurs qui, à dire vrai, oscillent également entre diverses lignes de conduite. La rapidité et la faible consommation pourraient s'avérer fort utiles dans la réalisation de petits ordinateurs, un premier pas vers la réalisation de matériels d'une gamme intermédiaire. En revanche le développement du stockage de masse est décisif pour les ordinateurs de grande ampleur. La stratégie du service d'électronique est de proposer concurremment les divers avantages qui ne demandent pas pour autant les mêmes développements techniques. C'est ainsi que 1965 voit à la fois la mise au point du banc de dépôt électrolytique pour les mémoires à fil et un prototype de mémoire plane poursuivant sur la lancée des recherches précédentes.

Les plus récentes études sur le développement de nouvelles technologies ont montré l'importance, pour les promoteurs de ces technologies, à la fois de cerner les intérêts de leurs clients potentiels, en les réduisant à un certain nombre de variables simples, d'autre part de choisir une ligne directrice certes flexible mais relativement bien définie dans l'élaboration de son produit. Le processus consiste alors à mettre en place un certain nombre de traductions astucieuses qui permettent d'attirer à soi les diverses parties intéressées. Il semble bien dans ce cas que les partisans des mémoires magnétiques aient grandement dispersé leurs forces entre de multiples dispositifs, tant ils étaient convaincus de l'absence de concurrence. Cette dernière devait pourtant apparaître à la fin des années 1960, sous la forme des mémoires à semi-conducteurs.

Mémoires, semi-conducteurs et politique nationale

Les années 1966-1967 représentent un double tournant pour les électroniciens du CENG. D'une part le Plan Calcul offre la perspective d'une politique nouvelle et de l'utilisation prioritaire de technologies françaises, d'autre part le service d'électronique conquiert son indépendance sous le nom de LETI[62]. Dès 1965, Michel Cordelle, le chef du service d'électronique commence à envisager le principe d'un grand institut technologique autour des recherches en électronique. Le service d'électronique compte alors plus de cent cinquante personnes, ce qui constitue une considérable croissance pour un "petit service" du CENG. Les projets se sont multipliés: en particulier les mémoires magnétiques comme on vient de le voir, mais aussi les études sur les transistors et les circuits intégrés avec le développement de technologies originales comme l'implantation ionique. Les divers groupes commencent à se sentir à l'étroit dans les frontières assignées par le CEA. En particulier, la multiplication des projets pose de façon de plus en plus aiguë la question de la crédibilité du laboratoire vis-à-vis des industriels. Avec leurs recherches sur le magnétomètre ou les mémoires les chercheurs ont pu mesurer la distance entre leurs premières réalisations et un dispositif parfaitement exploitable. Pour

62. Sur le Plan Calcul nous ne pouvons guère apporter d'éléments neufs et nous renvoyons aux Actes des précédents Colloques sur l'Histoire de l'Informatique.

mener à bien des travaux de cette ampleur manque indéniablement une structure qui donnerait à la fois les moyens financiers et humains.

Il convient aussi de noter la stratégie d'expansion propre au LETI et que l'on peut retrouver dans certains laboratoires centraux de recherches: le développement tous azimuts partant d'un solide tronc commun. La croissance du LETI durant cette période relève avant tout du déséquilibre vers l'avant. Les sujets se multiplient, on accepte un nombre croissant de contrats, saisissant toutes les opportunités. A la longue, cette expansion devient délicate à gérer. Ainsi prend naissance l'idée du LETI. Il ne s'agit ni plus ni moins que d'acquérir une indépendance sur ces deux fronts: autonomie financière et possibilité de recrutement. Cordelle prépare alors un projet dans lequel le directeur du futur LETI se voit accorder la possibilité de conclure des contrats avec les industriels et les divers organismes de tutelle pour exécuter des recherches spécifiques. D'autre part, il propose la mise en place d'un statut spécifique du personnel du LETI qui lui permette d'engager autant que de besoin du personnel sous contrat. Cela permet d'absorber les pics éventuels d'activité sans pour autant surcharger les dépenses de personnel puisque le personnel n'est pas sous statut CEA et peut aisément quitter le laboratoire. Pour l'élaboration de son projet M.Cordelle se tourne vers M.Pascal, Directeur administratif du CEA et ingénieur du génie maritime, toujours ce milieu de la Marine. Avec l'aide de Pascal, Cordelle prépare un mémorandum qu'il va présenter à R.Hirsch, l'Administrateur-général. Ce dernier donne son accord de principe. Reste alors une longue bataille avec les services administratifs du CEA peu enclins à admettre cette déviation par rapport aux normes. Finalement, fin 1967, le statut est promulgué et Cordelle obtient gain de cause.

Sans détailler le processus de décision qui a conduit, somme toute assez facilement, le CEA à accorder leur "indépendance" aux grenoblois, à tout le moins, peut-on risquer quelques éléments d'interprétation. Tout d'abord, du strict point de vue de l'administration du CEA et de l'Administrateur-général, le LETI demeure une entité bien modeste, moins de deux cents personnes, dont il est alors bien impossible pour eux de prévoir la croissance des années ultérieures. Le risque encouru est donc faible et l'investissement peu contraignant. Plus avant, force est de noter que Michel Cordelle a su placer son équipe au noeud d'un réseau de développement industriel et technique. Il opère, quelles que soient les réticences des uns et des autres, et il y en a, une convergence de préoccupations diverses. D'une part, vu de la direction du CEA, il dispose du soutien des deux principaux organismes de tutelle de la recherche, la DRME et la DGRST. Cette dernière accorde alors au laboratoire annuellement pour près de deux millions de crédits à la fois dans le domaine des mémoires mais aussi pour les recherches sur les semi-conducteurs et l'implantation ionique. Le soutien de la DRME est également acquis à la fois du fait des vieilles connivences entre la Marine et le CENG, mais aussi grâce à un certain nombre de réalisations comme le magnétomètre embarqué ou encore les études sur dispositifs infrarouge. Parallèlement, Michel Cordelle a peu à peu élargi et consolidé son assise institutionnelle en particulier du fait de sa participation aux travaux du plan dans le cadre de la commission permanente de l'électronique (COPEP). Il apparaît désormais comme l'un des meilleurs connaisseurs de la situation de l'électronique et a noué de nombreux liens avec les industriels. Enfin, ces derniers coopèrent bon gré, mal gré avec le laboratoire, on l'a vu avec le groupe de G.Grunberg et COFELEC.

Ceci posé, subsiste un dernier facteur. En 1966 est lancé, ce qui sera, a posteriori, baptisé Plan Calcul, entreprise destinée à doter la France d'une industrie de l'informatique. Dans le même mouvement est créée en septembre 1966 une Délégation à l'Informatique dont le premier titulaire est R.Galley. Ce dernier est consulté sur l'éventuelle création du LETI et lui apporte un soutien chaleureux tant il voit là l'heureux complément des mesures à prendre sur le plan industriel. Peut-être n'est il pas inutile de rappeler que R.Galley effectua auparavant une partie de sa carrière au CEA. Ainsi se rejoignent, officiellement du moins, les trajectoires des électroniciens de Grenoble d'une part et des industriels de l'informatique. Le projet de Michel Cordelle ne pouvait décidément trouver meilleure période pour se présenter, d'autant qu'il bénéficie par contrecoup des largesses budgétaires du Plan et de l'appui donné aux industriels. On peut noter à ce propos un fort effet de traversée des réseaux vers le haut. Partant d'un dispositif élémentaire, une mémoire, le laboratoire de Michel Cordelle parvient à aligner temporairement une bonne partie des protagonistes et à les faire concourir à sa démarche[63].

---

63. Sans entrer dans le détail, il est utile de préciser quelques-unes des principales mesures prises lors des grandes manoeuvres du Plan Calcul. On tenta un vaste ensemble de restructurations industrielles. Distinguons trois opérations principales. La première touche l'informatique proprement dite avec la création d'un constructeur national, la Compagnie Industrielle Informatique (CII) qui résulte du regroupement de deux sociétés: la Compagnie d'Automatisme Electronique (CAE) filiale de Thomson et de la CGE, la Société d'Electronique et d'Automatisme, filiale de Jeumont Schneider. La nouvelle société est abondamment dotée et se voit garantie la préférence dans les marchés d'état pour l'acquisition d'ordinateurs. La nouvelle société est tout d'abord dotée de deux actionnaires principaux la CGE et la CSF. Cette structure est remodelée en 1969 pour donner à Thomson-CSF la part prépondérante. On notera que dans tous les cas ce sont les électroniciens qui contrôlent indirectement la société sans avoir nécessairement un goût très poussé pour cette aventure informatique.Les deux autres opérations touchent elles directement l'électronique. D'une part on réalise la fusion de Thomson et de la CSF. Fusion ou plutôt absorption de CSF qui doit se fondre dans

Une politique industrielle pour les mémoires?

Le tout nouveau laboratoire grenoblois se trouve donc confronté à un contexte industriel nouveau et aussi à des priorités nouvelles. Durant l'année 1966, le groupe chargé des mémoires magnétiques a poursuivi ses travaux dans les deux directions désormais retenues: à savoir l'élaboration de mémoires à fil et le perfectionnement des mémoires planes comme mémoires rapides. Nous avons dit qu'il s'était tourné vers COFELEC comme partenaire pour l'industrialisation de ces produits. La décision est conforme à la logique du développement des dispositifs de mémoires pour l'informatique. Lancée en 1958, COFELEC s'est développée au point d'atteindre un effectif de près de cinq cent personnes en 1966, le chiffre d'affaires approchant les huit millions de francs, uniquement pour les mémoires[64]. COFELEC est devenue la firme française de production et de commercialisation des ferrites. Elle fournit essentiellement Bull en 1966, mais la clientèle de la CII apparaît à partir de 1967. Le Plan Calcul donne naturellement un espoir d'expansion particulier pour le champ des mémoires.

Poussant les feux, le laboratoire prépare pour 1967-1968 un nouveau banc de dépôt qui pourrait servir de prototype pour l'industriel. Le perfectionnement des études de 1965 conduit à la réalisation d'un second banc plus perfectionné. Il permet de déposer le film à une vitesse de 10m/h. Le principe est d'utiliser un support métallique, typiquement un fil de cuivre, qui est d'abord "nettoyé" chimiquement et subit ensuite un dépôt de cuivre de quelques microns, viennent s'ajouter les couches minces ferromagnétiques. Dans une première version les deux couches de permalloy sont séparées par de l'or, cette première solution cède la place à une couche de Ni-Co. La composition des bains électrolytiques est stabilisée et semble fournir un assez bon rendement. De plus un procédé de recuit à 300°C en fin de banc de dépôt permet d'assurer une stabilité satisfaisante des couches dans le temps. Une étude de développement poussée est désormais totalement garantie. On est entré dans une nouvelle phase du développement technologique avec le perfectionnement progressif des procédés adoptés, désormais le gain est affaire de petites améliorations et d'échelle, non plus d'innovation.

La création du LETI amène le groupe à croître encore et à se réorganiser début 1968. Il devient ainsi, de façon plus formelle, Laboratoire d'Electronique et de Physique Appliquée, toujours dirigé par G.Grunberg, se divisant entre trois groupes, le dépôt sous vide regroupant une quinzaine de personnes, la technologie des mémoires avec une vingtaine de personnes, l'électrolyse avec une trentaine de personnes, enfin une division bientôt autonome chargée de l'élaboration des matériaux avec également une quinzaine de personnes. Les moyens humains s'élèvent donc à plus de soixante-cinq personnes pour les seules mémoires, soit une très forte augmentation du fait des recrutements sous contrat spécial LETI.

L'année 1968 tout en étant celle de la croissance et d'une apparente victoire est aussi celle des doutes. Dans le domaine des mémoires rapides la CII n'a pas balancé très longtemps; elle doit dans des délais relativement rapides mettre sur pied une gamme complète d'ordinateurs les P0, P1, P2, P3. Plutôt que d'avoir recours aux techniques du LETI elle préfère se rallier aux techniques jugées plus sûres de mémoires à tores en sélection. Néanmoins la direction du laboratoire veut garder espoir: "la décision pour la génération suivante dépendra en grande partie des travaux que nous menons en collaboration avec la CII et COFELEC"[65]. On se trouve ainsi renvoyé à plus tard alors que le temps commence à presser pour cette étude débutée voici dix ans. Les mémoires planes poursuivent leur cheminement, avec le concours de la DGRST uniquement, amenant la réalisation d'une mémoire 4096 mots 16 bits, de temps de cycle 200ns. Un contrat de près de 400 000 francs est signé à cet effet. La structure est certes réalisée en fonction des desiderata des utilisateurs, essentiellement la CII, mais, plus encore que pour les mémoires à fil, l'essoufflement devient perceptible.

En revanche une nouvelle piste s'ouvre avec un contrat de la DRME pour la réalisation d'une mémoire satellisable. Il s'agit d'employer les techniques de mémoire à fil pour une réalisation destinée à l'industrie spatiale. Dans ce cadre, les avantages de la technologie sont nombreux: la faible puissance de fonctionnement est une grande qualité dans le domaine spatial, mais de plus le caractère non destructif de la lecture offre une sûreté et une fiabilité également indispensables pour les engins spatiaux. Insensiblement les mémoires à fil voient leur profil se spécialiser, les deux traits pertinents deviennent

---

le groupe Thomson, le président de la CSF, M.Ponte, devant quitter son poste. Ce regroupement ne s'opère pas dans les meilleures conditions possibles. Dernier volet de ces regroupements: la mise en commun assez naturelle des ressources des deux sociétés productrices de composants électroniques la SESCO, filiale de Thomson, et la COSEM, filiale de la CSF, pour donner la SESCOSEM. Cette dernière est chargée de la mise au point et de la production des composants indispensables à l'industrie tant électronique qu'informatique.

64. Cofelec réalise également d'autres dispositifs à base de ferrites.

65. Compte rendu du laboratoire EPA, 12 décembre 1968.

faible consommation et lecture non destructive, deux qualités qui ne sont pas nécessairement celles recherchées par les industriels. Pour autant, le laboratoire continue à entretenir des recherches dans de multiples directions et à relancer les industriels.

Les travaux sur le dépôt de composés chrome-cobalt pour disques sont poursuivis avec l'élaboration de couches feuilletées qui donnent de bons résultats pour l'enregistrement. Une collaboration est nouée avec la SPERAC, filiale de Thomson-Brandt et de la Compagnie des Compteurs, chargée des périphériques et qui envisage une industrialisation. En fait cette dernière société ne se trouve pas dans une situation très florissante. Elle passe sous le contrôle de la CGE, qui souhaite s'intéresser au domaine des équipements périphériques mais découvre un peu tard que la société tient plus de la coquille vide que d'une entreprise en pleine expansion. La CGE impose alors à la CII de prendre le contrôle de la SPERAC, les pouvoirs publics épongeant le coût de l'opération. Dès lors les espoirs d'une collaboration s'évanouissent et il faut repartir à la recherche d'un nouvel industriel. On revient inéluctablement vers la CII pour lui proposer à la fois les disques et les nouvelles têtes de lecture.

Pour autant la situation ne semble pas trop dégradée, il faut prendre bien garde de lire simultanément les divers événements et de restituer la relative rapidité des retournements. COFELEC envisage avec un relatif optimisme les retombées du Plan Calcul même si elle déplore qu' "en ce qui concerne les mémoires nouvelles, le Plan Calcul ait tendance à nous orienter vers des voies trop variées". Mais "il est cependant nécessaire, si l'une de ces voies tend à déboucher sur le Plan Calcul d'être prêt à exploiter cette situation"[66]. Les mémoires à fil constituent encore alors une éventualité à ne pas négliger et le budget 1969 inscrit explicitement une somme de 240 000 francs destinée au banc de dépôt et aux appareils de mesure afférents[67].

C'est véritablement au cours de l'année 1969 que l'on s'engage sur une voie irréversible au sens où les diverses technologies commencent à se figer et où l'apparition de concurrents devient préoccupante. Pour tenter d'emporter la décision le laboratoire EPA fournit courant 1969 le banc de dépôt définitif à COFELEC pour que l'industriel puisse débuter les études de fabrication et d'adaptation. Les deux groupes électrolyse et techniques des mémoires magnétiques centrent alors leurs travaux durant cette année sur les tests en ligne, l'étude de la répartition statistique des défauts afin d'optimiser la découpe des fils. Le LETI tente ainsi d'amener l'industriel le plus rapidement possible dans une phase d'exploitation. Un ultime effort est tenté dans le domaine des mémoires planes à forte densité avec l'étude de mémoires constituées d'empilements FeNi-Cu-FeNi destinées à obtenir des capacités de 10^5 bits.

Cet effort de développement va de pair avec un transfert des compétences vers COFELEC qui reprend l'ingénieur et les deux techniciens du LETI directement en charge de ces questions. Se prépare également un transfert de plus grande ampleur puisque le patron du laboratoire EPA, G.Grunberg, va quitter le LETI pour COFELEC. Dans une lettre de février 1969, A.Danzin alors vice-Président Directeur Général de Thomson CSF précise sa position à M.Allègre, devenu Délégué à l'Informatique. Il rappelle les buts de COFELEC et surtout le fait qu'elle s'appuie "complémentairement sur la valorisation des résultats obtenus dans les laboratoires de l'Etat notamment le LETI". Il confirme alors son accord "d'utiliser à COFELEC, dès que possible, les services de M.Grunberg" ce qui, outre les qualités d'ingénieur de G.Grunberg, permettra "d'améliorer les relations entre LETI et COFELEC, spécialement dans le domaine des mémoires à fil"[68]. Ce transfert est réalisé à la mi-1969 et G.Grunberg arrive chez COFELEC quasiment au moment où la firme prend possession du banc d'essai.

Paradoxalement, le plus inquiétant pour les mémoires magnétiques résident peut-être encore dans les autres recherches conduites par le laboratoire et l'un de ses homologues du LETI, le laboratoire de Micro Electronique appliquée (MEA). Depuis plusieurs années les deux laboratoires travaillent sur la mise au point de composés électroniques à base de semi-conducteurs. En particulier, les chercheurs du laboratoire MEA se sont plus spécialement penchés sur le cas du transistor Metal Oxyde Silicium (MOS) et des circuits pouvant être réalisé grâce à lui. Bien que l'on n'ait pas encore en 1969 une vue exacte des capacités d'intégration avec de tels circuits, ni de leurs usages possibles en termes de mémoire, le coût toujours décroissant de tels systèmes en fait des concurrents très sérieux pour les mémoires magnétiques. Ainsi, on passe progressivement d'une situation de domination par la technologie magnétique, qui s'imposait dans les esprits comme devant fournir la base des futures réalisations, à une radicale remise en cause de cette prééminence. G.Grunberg, sensibilisé à ces aspects à la fois par les propres recherches sur la micro-électronique de son laboratoire et celles de son collègue J.Lacour, semble avoir perçu assez tôt la possibilité d'un tel retournement[69].

---

66. Communication de J.Hachette à A.Danzin, 29 octobre 1968.
67. Budget Cofelec 1969.
68. Lettre A.Danzin à M.Allegre, 21 fevrier 1969.
69. Témoignage de G.Antier, alors adjoint de G.Grunberg.

1969 voit s'accumuler les difficultés, la position de la firme et du laboratoire se dégrader. Bull-GE, bien qu'actionnaire de COFELEC, réduit progressivement ses commandes à la firme fabricant les ferrites. Cette dernière connaît ainsi une fin d'année 1969 et surtout une année 1970 difficiles l'amenant à réduire de façon drastique ses frais et ses investissements. Son principal point d'appui demeure dès lors la CII. Lors du conseil d'administration de juin 1970, COFELEC constate une perte de plus de un million de francs pour le département ferrites-mémoires (pour un chiffre d'affaires d'une dizaine de millions). Pour le LETI, l'heure des révisions sonne donc avec celle du repli chez leurs partenaires.

Cette alliance de l'émergence d'une technologie nouvelle qui semble promettre des avancées rapides et d'une crise de l'informatique et des matériaux électroniques place le LETI dans une position délicate. Cela n'incite que plus fortement le laboratoire à développer ses relations avec le CNES pour les mémoires spatiales, toujours en proposant à COFELEC d'en être le maître d'oeuvre, occasion supplémentaire de se rapprocher de l'industriel. 1969 voit aussi des bouleversements importants à la CII. L'équipe mise en place au démarrage de la société est profondément remaniée et l'actionnariat complètement remodelé. Suite à ce que l'on a pu appeler le Yalta de l'électronique, les deux frères ennemis, Thomson et la CGE, se partagent le marché, au premier l'informatique, au second les télécommunications. Ce partage des tâches s'accompagne de l'arrivée à la tête de la CII de Michel Barré, un ancien de la CSF et de la prise de contrôle d'une part substantielle du capital de CII par Thomson. Cette réorganisation est en partie inspirée par la Délégation à l'Informatique qui trouvait l'ancienne équipe trop peu soucieuse de développer des technologies proprement françaises. La position de la CII n'en est pas simplifiée pour autant. Contrainte de combler son retard dans la mise au point de ses produits, soumise à la tutelle vétilleuse de Thomson, CII réexamine d'assez près les technologies qu'elle souhaite employer. Fin 1969 est lancée une grande opération d'évaluation des études sur les mémoires pour examiner si elles valent d'être poursuivies; G.Grunberg participe largement à cette tâche. A ce stade, les réactions croisées des deux industriels, la CII et COFELEC, jouent un grand rôle en s'encourageant mutuellement à renoncer. La CII balance et finit par rendre son verdict début 1970, elle renonce à implanter les mémoires à fil dans ces produits. Il n'en faut pas plus pour que COFELEC se désiste à son tour mi-1970 et abandonne le banc de dépôt à son triste sort. Tout un pan des recherches magnétiques du LETI vient de s'effondrer après dix années de travail.

Pour autant, le laboratoire ne lâche pas prise et ne reste pas passif. D'une part, il tente encore de diversifier ses activités et de proposer des programmes alternatifs aux industriels. D'autre part, il prépare la reconversion de ses équipes et poursuit la réorientation des mémoires à fil vers le domaine spatial. Indice de cette ténacité, alors que les recherches sur les mémoires à fil sont plus que compromises l'équipe poursuit ses efforts sur la perfectionnement du banc de fabrication. En tout premier lieu, on augmente la vitesse de défilement sur le banc, ce qui permet d'accroître le rendement d'autant. Ainsi, "avec deux bancs fonctionnant 12 heures par jour à 50m/h, et un rendement de fabrication de 50%, on produirait dans les conditions actuelles 100 millions de bits par an. Les évaluations économiques faites au LETI avec la collaboration de COFELEC montrent que pour une telle quantité, le prix de revient du fil testé serait de 1 centime par bit, donc très compétitif avec celui des tores"[70]. Ultime combat pour imposer une technologie que l'industriel est déjà décidé à ne pas employer, on comprend bien l'insistance du LETI qui défend ses réalisations. Il est délicat d'apporter une réponse univoque à la question de la rentabilité et de l'exploitation d'une nouvelle technologie. Le LETI raisonne dans une perspective de développement rapide et d'investissement sur un produit qui n'est qu'un souci mineur du côté de ces partenaires, qui n'en voient que la rentabilité dans la perspective de leurs plans stratégiques.

La mésaventure du LETI ne relève pas d'une quelconque incompréhension de l'industriel mais, bel et bien, d'un manque de capacité d'investissement et de la menace d'une technologie alternative. On en trouve la trace dans les discussions de décembre chez COFELEC où est posée la question des mémoires magnétiques intégrées. M.Barre note "qu'il est difficile de dissocier la question des mémoires magnétiques intégrées de celle des mémoires à semi-conducteurs. La durée de vie des technologies magnétiques est en effet limitée, et la meilleure solution est peut-être de continuer avec les mémoires à tores tout en préparant l'avènement des mémoires à semi-conducteurs"[71]. De même, H.Lerognon, le patron de la SESCOSEM, se montre sceptique sur le volume des investissements à fournir pour lancer les mémoires rapides, comparé au marché potentiel[72].

Pour sa part, le laboratoire EPA prépare sa reconversion. Au cours des années 1969 et 1970 les travaux pour le compte du CNES se sont poursuivis. L'emploi des fils magnétiques permet de réaliser une mémoire à enregistrement non destructif et très faiblement consommatrice. Encore faut-il trouver un industriel, COFELEC n'étant plus en course. La firme aide toutefois le LETI à prospecter auprès de

---

70. Rapport laboratoire EPA, 3 mars 1971, p.9.
71. Réunion 14/12/1970, Direction Technique de COFELEC.
72. Ibid.

l'anglais Plessey qui souhaite développer la technique des mémoires à fil[73]. On envisage même la possibilité de valoriser les acquis auprès de ce dernier. Finalement, on se limite à la réalisation d'un certain nombre de fils avant que le LETI ne propose à Crouzet, petite entreprise ayant déjà travaillé sur la magnétomètre LETI, de s'intéresser aux mémoires pour le spatial. L'accord est vite conclu et une licence cédée pour la réalisation de mémoires. Dans un premier temps, le LETI continue de produire des fils et Crouzet se charge de leur assemblage, recevant pour ce faire le concours des équipes du LETI. Deux ingénieurs de la firme sont formés durant cette période. Le processus est officialisé lorsque le CNES choisit en 1972 la société Crouzet pour réaliser un prototype de mémoire 8K 18 bits[74]. Au cours des années 1972-1974 un programme CNES permet de poursuivre les travaux de perfectionnement des mémoires mais elles ne sont plus désormais qu'un aspect marginal des activités du laboratoire EPA, avec une petite équipe de quelques personnes pour un effectif global de plus de quatre-vingt dix personnes[75]. Les têtes magnétiques constituent un cas intéressant de reconversion. Les chercheurs du LETI ont l'idée de réaliser des têtes intégrées beaucoup plus compactes que celles utilisées habituellement. Elles présentent un encombrement beaucoup plus faible et la réduction de la largeur de piste permet d'augmenter considérablement les performances du matériel. Le projet se situe au confluent de deux traditions du LETI: d'une part les travaux à base de composés magnétiques, d'autre part l'intérêt pour l'intégration et la micro-électronique. Les troupes du laboratoire EPA purent se replier en bon ordre avec une reconversion progressive des équipes spécifiquement dédiées aux mémoires magnétiques, un second axe de repli se situa assez naturellement dans le champ du magnétisme. Réapparurent ainsi les recherches sur les grenats jadis écartées; en fait il s'agissait cette fois de réaliser des mémoires à bulles[76].

En guise de conclusion

Peut-on essayer d'esquisser une brève morale de cet épisode? Nous allons nous y essayer en notant quelques points. Tout d'abord, concernant le thème du retard français et du caractère pathologique du développement scientifique et industriel, l'exemple proposé va à l'encontre des idées reçues. On assiste plutôt à une action mouvementée, chacun tentant de pousser ses avantages, qu'à une scène figée par les rigidités du système. Ce dernier semble offrir de singulières possibilités de manoeuvre qui laissent la porte ouverte à de multiples initiatives.

Il est indéniable que le LETI constitue une forme de laboratoire relativement particulière dans le paysage français, tant par son organisme d'accueil que par son mode de développement. Ce qui frappe, c'est la volonté des dirigeants de mener une véritable politique d'innovation technologique. De ce point de vue, ils se situent en position intermédiaire entre l'industrie et les laboratoires, même appliqués. Ils développent leurs recherches autour d'une authentique vision de l'avenir des technologies, c'est tout spécialement net lorsqu'ils veulent créer leur filiale de fabrication de circuits intégrés. Il y a donc à la fois souci d'amener les produits du laboratoire jusqu'à un stade où ils sont industriellement exploitables, les nombreux efforts autour des mémoires en témoignent abondamment, mais aussi, de faire prévaloir une certaine technologie. On est conduit à parler d'un institut technologique plus que d'un laboratoire, bref d'un réservoir de technologies, d'un vivier de renouvellement. Le problème le plus immédiat est celui de la préservation d'une politique lors même que l'on est soumis au bon vouloir des industriels[77].

L'un des points d'affrontement habituels lors de l'analyse d'épisodes de l'histoire scientifique ou technique française touche au rôle de l'Etat. Celui-ci est souvent assimilé au croquemitaine soucieux de tout contrôler, et qui, par suite, étouffe les initiatives. Sur le cas offert ici, cette vue peut être largement contestée. La pluralité des centres de décision, et surtout le soutien possible à des entreprises fort diversifiées, plaideraient plutôt pour une approche inverse. Comment est-il possible d'amener temporairement sur une même ligne un certain nombre d'organismes, comme le réussit le LETI en 1967-1968? Il nous semble falloir passer par la compréhension des projets respectifs et de leur traduction dans le langage de chacun. On percevra ainsi mieux la possibilité de développements originaux et autonomes au CEA et qui n'en demeurent pas moins marqués par la vocation industrielle de l'établissement. De même, STTA, DRME, Marine ou DGRST tendent-ils chacun à développer leur orientation, ouvrant finalement la voie aux initiatives croisées. Le reproche le plus patent serait alors, contrairement à

73. Communication de J.Hachette, DG de COFELEC à G.Grunberg, A.Danzin et H.Lerognon, Collaboration avec Plessey dans le domaine des mémoires, 14/01/1971.
74. Nicolas (1972).
75. Ces travaux ont abouti à un succès avec l'équipement des engins spatiaux de la filière Ariane de mémoires produites par la société Crouzet.
76. On se reportera à l'article A.H.Bobeck, Bell System Tech. J.49, 1967 et à la présentation Coeuré (1972).
77. Rapport du 22 mars 1971 pour le Comité scientifique du 5 avril 1971, p.2.

l'usage, celui de la dispersion; mais, là encore, ce serait aller un peu vite en besogne et négliger l'existence même d'un LETI focalisant plusieurs orientations 'politiques'.

Cela nous amène tout naturellement aux difficultés technologiques rencontrées par les produits du LETI. A rebours des explications traditionnelles qui renvoient dos à dos constructeurs et laboratoires, les premiers pour leur manque de clairvoyance, les seconds pour leurs produits inexploitables, soulignons au contraire une relative prudence, partiellement justifiée, des industriels de la CII et un véritable souci de mener le produit au stade industriel du côté du LETI. On peut évidemment mentionner les quelques retournements de conjoncture qui pénalisèrent gravement les recherches: fusion Bull et Honeywell, difficultés de 1969-1970, apparition des mémoires MOS. Mais c'est plus dans une autre direction qu'il nous paraît falloir s'orienter. La prolifération de dispositifs de mémoires magnétiques, la conviction de disposer *du* système a incontestablement faussé les visions et empêché de cueillir les fruits des recherches suffisamment tôt. On rejoint ainsi les analyses des études sur le développement des technologies qui privilégient les facteurs de *lock-in* pour expliquer certaines implantations préférentielles[78]. Les rapports entre le laboratoire et les industriels ne sont nullement prédéterminés. Au sein d'une même firme, selon les problèmes traités, on peut observer plusieurs logiques concurrentes. Ainsi, COFELEC salue-t-elle les recherches du LETI qui lui paraissent s'inscrire dans le cadre de son développement de produits originaux. Dans le même temps, la SESCOSEM, élément du même groupe Thomson, rejette avec vigueur en 1970-1971 l'idée du LETI et de J.Lacour de produire des circuits intégrés à base de MOS. L'entreprise refuse ainsi d'entrer dans le capital d'EFCIS, filiale créée alors par le CEA pour remplir cette tâche. Comme l'écrit A.Danzin à M.Allegre: "nous vous avons... fait part de notre inquiétude de voir le LETI s'orienter vers des formes de concurrence directe à certains de nos établissements industriels". Au delà de l'argumentaire utilitaire immédiat, on comprend que la SESCOSEM qui s'est échinée, durant des années, à produire en grande série et à bas prix des produits de qualité standard répugne à une expérience à l'opposé de toute sa culture, solidement établie depuis 1956. Ce sont de telles trajectoires qui permettent de soupeser le poids des décisions de certains acteurs. On y verra de même un paramètre d'appréciation des rapports entre électroniciens et informaticiens. Ces derniers tiennent, logiquement, les technologies de leurs collègues pour servantes de leurs desseins et non l'inverse, d'où d'inévitables conflits de priorité.

Deux ultimes remarques: il est important de percevoir l'importance de la capitalisation du savoir dans ces processus de recherche. Une forme possible réside dans l'existence d'heuristiques de recherche, ainsi du passage des recherches sur les couches minces aux travaux sur les têtes intégrées et les mémoires MOS, hybridation point si évidente de deux champs. Enfin l'épisode des mémoires à fil, et de leur utilisation pour le compte du CNES, éclaire le problème du passage d'une technologie générique vers une technologie spécifique. On a souvent tenté de démontrer que, si la recherche française ne débouchait pas, c'était parce que, soutenue par les militaires, elle s'orientait systématiquement vers des dispositifs trop singuliers et trop complexes. Dans ce cas, les premières recherches, quoique subventionnées par le STTA, évoluèrent en toute liberté avec le souci d'un champ d'applications le plus large possible. Ce n'est qu'en fin de course que réapparaît de nouveau l'univers étroitement spécialisé de l'espace.

Nous espérons avoir illustré le dynamisme et la relative diversité des recherches grenobloises, tout en montrant comment elles s'insèrent dans le paysage français. Elles nous semblent éclairer les rapports entre électronique et informatique en montrant comment l'information circule d'un pôle à l'autre, chacun la recevant et l'utilisant selon son cadre d'interprétation propre.

78. Arthur (1989).

Sources primaires.
Alexandre, B., Antier, G., Grunberg, G., (1961), Mémoires électriques à lames minces, *Onde électrique*, septembre 1961, 414, 749-50.
Antier, G., Grunberg, G. (1964), Les couches minces ferromagnétiques, *L'Onde Electrique*, 453, décembre 1964, tiré-à-part.
Bertaut, F., Forrat, F., (1956), Structure des ferrites ferrimagnétiques des terres rares, *CRAS*, 242, 1956, 382-4.
Bertaut, F., Forrat, F., (1956b), Etude par diffraction de neutrons du grenat ferrimagnétique $Y_3Fe_5O_{12}$, *CRAS*, 243, 1956, 898-901.
Bonnet, G., Dautreppe, D., Gariod, R., (1959), Le reptographe. Enregistreur automatique des phénomènes d'accomodation de l'aimantation, *Journal de Physique et Le Radium*, 20, Fev 1959, 229-31.
Bonnet, G., Gariod, R., (1958), L'électronique du reptographe-enregistreur automatique des phénomènes d'accomodation de l'aimantation, *Journal de Physique et Le Radium*, 19, Dec 1958, 160A-166A.
Chezel, P., Girard, R., Grunberg, G., Le Guillerm, J., (1965), *Dépôt électrolytique de couches magnétiques minces à couplage parallèle*, note EL/283, juin 1965.
Coeuré, P., (1972), Mémoires à domaines magnétiques, *BIST*, 176, décembre 1972, tiré-à-part.
Cordelle, M., (1958), *Note sur les grenats, leur origine et leurs applications*, EL 31, décembre 1958.
Cordelle, M., (1960), *Organisation et programme de la section d'électronique du CENG*, note El 63, juin 1960.
Cordelle, M., (1960b), *Transistorisation des appareils d'électronique nucléaire*, Colloque d'Electronique Nucléaire de la Société des Radioélectriciens, Grenoble, 3 mars 1960.
Cordelle, M., (1962), *Analyse des renseignements généraux donnés par les enquêtes sur les "constructeurs" et "utilisateurs" d'appareils de mesure électroniques*, note EL 62-12546.
Delapalme, B., (1957), *Naissance d'un Centre d'Etudes Nucléaires*, Paris: Conférence CEA, juillet 1957.
Delapalme, B., (1959)Le Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble, *Industries Atomiques* 1-2, 1959, tiré-à-part.
Girard, R., (1965), *Depôt électrolytique de couches magnétiques minces*, colloque international sur les techniques de mémoires; Paris, avril 1965, Note EL 282.
Grunberg, G. (1961), *Etude des lames minces ferromagnétiques*, projet de recherche, note interne EL-61-741, novembre 1961.
Grunberg, G., (1965a), *Mémoires magnétiques à couches minces*, Note EL/276, juin 1965.
Grunberg, G. (1965b), Les alliages ferromagnétiques dans les dispositifs à mémoire, *Conférence prononcée le 6 avril 1965 à la séance inaugurale du Colloque sur les Techniques de Mémoires*, Note EL/288.
Grunberg, G., Antier, G., Cabau, A., (1961), *Hysteroscope audio-fréquence*, Note technique EL/HY 108, juillet 1961.
Grunberg, G.,, Antier, G., Jamart, G., (1961), *Etat d'avancement de l'étude "Lames minces de Permalloy*, Note EL/HY/1, août 1961.
Lacour, J., (1974), Evaluation des différentes technologies MOS, *L'onde Electrique*, 54,1, 1974, tiré-à-part.
Néel, L., (1944), Quelques propriéts des parois des domaines élémentaires ferromagnétiques, J.Phys, 25, 1944, 1-20, reproduit dans Néel (1978), 249-60.
Néel, L., (1955), Energie des parois de Bloch dans les couches minces, *CRAS*, 241, 1955, 533-8, reproduit dans Néel (1978, 262-2.
Néel, L., (1978), *Oeuvres scientifiques*, Paris: CNRS, 1978.
Nicolas, G., (1972), Activités du LETI dans le domaine des mémoires magnétiques à fil, *BIST*, 176, décembre 1972.
Pohm, A.V., Read, A.A., Stewart, R.M., Schauer, R.F., (1959), High frequency magnetic film parametron for computer logic, *Proc. Nat; Electronics.Conference*, 15, 1959, 202-14
Rapport CEA (1950) à (1980), *Rapport annuel du Commissariat à l'Energie Atomique*, Paris: CEA.
Rapport LETI (1971) à (1980), *Rapport annuel du Laboratoire d'Electronique et de Technologie de l'Informatique*, Grenoble: LETI.
Read, A.A., Pohm, A.V., (1959), Parametric amplifier uses thin film, *Electronics*, 32, 1959, 92-94.
Steptoe, J.J.B., Kaposi , A.A., (1962), The design of a 4096 word one microsecond magnetic film store, *Westcon proceedings*, 1962.

Sources secondaires
Akrich, M., (1989), La construction d'un système socio-technique, Esquisse pour une anthropologie des techniques, *Anthropologie et Société*, 12.
Arthur, B., (1989), Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events, *The Economic Journal*, 99, 116-31.
Barreau, J., Mouline, A., (1987), *L'industrie électronique française, 29 ans de relations Etat-groupes industriels, (1958-1986)*, Paris: Lib générale de droit et de jurisprudence, 1987.
Ben David, J., (1971), *The Scientist's role in Society: A comparative study*, New Jersey: Englewood Cliffs.
Callon, M., (1986), Eléments pour une sociologie de la traduction, la domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins bretons en baie de Saint-Brieuc, *L'Année Sociologique*, 36, 1986, 169-208.
Callon, M., (1986b), La recherche industrielle: le mal français, *La Recherche*, décembre 1986, supplément, 4-10.
Callon, M., (1991), Réseaux technico-économiques et irréversibilité, in R.Boyer, B.Chavance, O.Godard, eds, *Les figures de l'irréversibilité en économie*, Paris: EHESS.
Collins, H.M., (1985), *Changing Order*, Beverly Hills: Practice.
Gilpin, R., (1970), *La science et l'état en France*, Paris: Gallimard.
Gooding, D., Pinch, T., Schaffer, S., (1989), *The uses of experiment*, Cambridge: Cambridge University Press.

Hoch, P.K., (1988), The crystallisation of a Strategic Alliance: The American Physics Elite and the Military in the 1940s, in Mendelsohn, Smith & Weingart (1988), 87-117.
Jublin, J., Quatrepoint, J.M., (1976), *French Ordinateurs: De l'affaire Bull à l'asssassinat du Plan Calcul*, Paris: A.Moreau.
Latour, B. (1989), *La science en action*, Paris: La Découverte.
Latour, B., (1992), Aramis ou l'amour des techniques, Paris: La Découverte.
Lorenzi, J.H., Le Boucher, E., (1979), *Mémoires volées*, Paris: Ramsay.
Malerba, F., (1985), *The Semiconductor Business, The Economics of Rapid Growth and Decline*, London: Frances Pinter.
Mendelsohn, E., Smith, M.R., Weingart, P., (1988), *Science, Technology and the Military*, Dordrecht: Kluwer.
Paul , H.W., (1972), The Issue of Decline in Nineteenth Century French Science, *French Historical Studies*, VII, 3, 1972, 416-50.
Paul, H.W., (1986), *From Knowledge to power, The Rise of the Science Empire in France, 1860-1939*, Cambridge: Cambridge University Press.
Pestre, D., (1984), *Physique et Physiciens en France*, 1918-1940, Paris: Editions des archives contemporaines.
Pestre, D., (1988), Sur la Science en France 1860-1940, *Revue d'Histoire des Sciences*, 41, 1988, 75-83.
Pestre, D., (1990), Louis Néel, le magnétisme et Grenoble, *Cahiers pour l'Histoire du CNRS*, 8.
Rosenberg, N., (1982), *Inside the Black Box, Technology and Economics*, Cambridge: Cambridge University Press.
Sahal, D., (1981), *Patterns of technological Innovations*, Addison Wesley.
Shinn, T., (1980), The genesis of French industrial research, 1880-1940, *Social Science Information*, 19, 3, 1980, 607-640.
Tilton, J., (1971), *International Diffusion of Technology: The Case of Semiconductors*, Washington: The Brookings Institution.
Wise, N., (1988), Mediating Machines, *Science in Context*, 2 (1), 77-113.

Adresse de l'auteur:

François JACQ
ENSMP - CSI
62 bvd St Michel
75 272 Paris Cedex 06.