

Mémoire de Master 2 Recherche en Histoire et Philosophie des Sciences

*Présenté par*  
Elsa BONNARD

*Sous la responsabilité de*  
Jonathan SIMON  
Jean-Gaël BARBARA

Le 10 septembre 2010  
(version corrigée du 10 décembre 2010)

## **L'introduction de l'ordinateur dans les neurosciences françaises**

### **Fenêtre sur le lancement de l'informatique biomédicale**



**Jury :** Jonathan SIMON (Maître de conférence. en histoire des sciences, Université Lyon 1) et Benjamin THIERRY (ATER, IRICE, Université Paris-Sorbonne), rapporteur Denis FOREST (Pr. Université Lyon 3), Jean-Gaël BARBARA (CR, CNRS, Université Pierre et Marie Curie, Paris).

A gauche, un poste d'électrophysiologie classique dans les années cinquante disposant d'appareils mécaniques ou électroniques analogiques pour l'acquisition et la visualisation du signal (Poste de Ladislav Tauc). A droite, extension d'un poste d'électrophysiologie équipé d'un mini-ordinateur PDP-8 de la firme *Digital Equipment Corporation* dans les années soixante-dix (laboratoire de Paul Gerin). L'ordinateur permet d'automatiser de nombreuses procédures dont le pilotage de l'expérience et le traitement des données expérimentales. En vingt ans, le laboratoire s'est « numérisé », induisant une évolution majeure dans les pratiques expérimentales.

## **WANTED !**

Je recherche les bulletins mensuels « Trace » publié dans les années soixante et soixante dix par le *Groupement pour les Applications de l'Informatique à la Neurophysiologie* (GAIN) que dirigeait Antoine Rémond. Toute personne possédant un exemplaire ou pouvant me renseigner est priée de me contacter ([elsabonnard@free.fr](mailto:elsabonnard@free.fr)).

Merci !

## RESUME

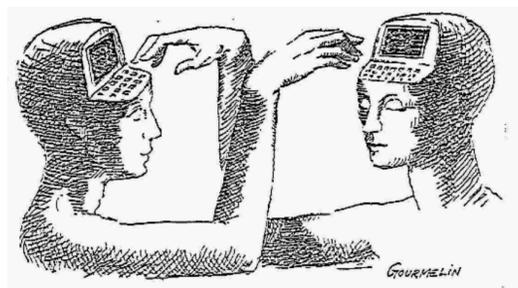
S'inscrivant dans les réflexions sur la circulation des savoirs et des techniques dans les sciences, la présente étude explore les conditions et les modalités du transfert de l'ordinateur, des pratiques et des concepts qui lui sont rattachés, des milieux de l'ingénierie et de la physique à la recherche biomédicale. Pour cela, elle se concentre sur l'introduction des ordinateurs dans les programmes de recherche des neurosciences. Elle s'appuie sur les archives de la DGRST<sup>1</sup>, du CNRS<sup>2</sup> et de l'Inserm<sup>3</sup>, des archives de laboratoires ainsi que sur un recueil systématique de témoignages (« histoire orale »).

L'informatisation des sciences du cerveau s'inscrit dans des traditions de recherche quantitatives bien antérieures aux ordinateurs, situées à l'interface avec l'ingénierie physique et avec l'industrie de l'instrumentation scientifique comme l'illustre l'histoire de l'électro-encéphalographie quantitative, au cœur de la recherche biomédicale.

Au-delà de l'analogie cerveau-machine à calculer, l'effervescence cybernéticienne des années quarante et cinquante offre aux spécialistes du cerveau l'occasion d'une double rencontre : avec les mathématiques appliquées et avec les calculateurs, et contribue ainsi au renouvellement de leur approche.

L'informatisation de ce champ de recherche se déploie à la fin des années soixante dans le cadre d'un programme national que ses spécialistes contribuent à façonner : le « Génie biologique et médical », lancé par la DGRST en 1966 et qui est poursuivi à l'Inserm à partir de 1973.

L'informatisation des sciences du cerveau révèle le rôle clef de l'ingénieur dans l'informatisation de la recherche biomédicale. Passeur technologique, il y introduit un nouveau savoir faire qui la remodèle : en assurant sa technicisation, il en favorise la mathématisation.



**Thème :** Histoire contemporaine des sciences et techniques.

**Mots clefs :** Neurosciences, neurophysiologie, psychophysiologie, électro-encéphalographie / Biomédical, médecine/ Ordinateur, calculateur, informatique / Ingénieur / DGRST, CNRS, Inserm

---

<sup>1</sup> Délégation générale à la recherche scientifique et technique.

<sup>2</sup> Centre national de la recherche scientifique.

<sup>3</sup> Institut national de la santé et de la recherche médicale.

## SOMMAIRE

<b>TABLE DES FIGURES</b> .....	7
<b>GLOSSAIRE</b> .....	8
<b>INTRODUCTION</b> .....	11
SOURCES ET HISTORIOGRAPHIE .....	12
LE PROGRAMME DE RECHERCHE .....	15
PLAN.....	16
REMERCIEMENTS.....	17
<b>PRÉLUDE</b> .....	18
AVANT L'ORDINATEUR .....	21
LA CYBERNÉTIQUE : UN LIEU DE RENCONTRE ENTRE CALCULATEURS ET NEUROPHYSIOLOGISTES .....	23

\*

<b>1. L'AUBE DE L'INFORMATIQUE BIOMÉDICALE VUE DU CNRS : LA DEMANDE DES SPÉCIALISTES DU COMPORTEMENT ET DU SYSTÈME NERVEUX (DÉBUT DES ANNÉES 1960)</b> .....	27
1.1. LA MATHÉMATISATION DE LA PSYCHOLOGIE : UN ENJEU DISCIPLINAIRE .....	29
1.2. DU TRAITEMENT AUTOMATIQUE DES DONNÉES EN (NEURO)PHYSIOLOGIE À LA NEUROPHYSIOLOGIE THÉORIQUE.....	31
1.3. LES CALCULATEURS AU CŒUR DE LA RECHERCHE BIOMÉDICALE : UN OUTIL STRATÉGIQUE POUR LES ÉLECTRO-ENCÉPHALOGRAPHISTES .....	32
1.4. LE MODÈLE AMÉRICAIN.....	38

\*\*

<b>2. LA RÉPONSE DE LA DGRST (A PARTIR DE 1962)</b> .....	44
2.1. LES ACTIONS CONCERTÉES « CALCULATEURS » ET « FONCTIONS ET MALADIES DU CERVEAU » (1962) .....	46
2.1.1. <i>L'action concertée « Calculateurs » : la faible voix des biologistes et des médecins</i> .....	47
2.1.2. <i>L'action concertée « Fonctions et maladies du cerveau » : vers une approche intégrée gourmande de         calcul</i> 48	
2.1.3. <i>L'intégration progressive des calculateurs dans les pratiques</i> .....	49
2.2. LE PROGRAMME « GÉNIE BIOLOGIQUE ET MÉDICAL » : LE LANCEMENT DE L'INFORMATIQUE BIOMÉDICALE (1966) .....	52
2.2.1. <i>L'informatique au service du traitement du signal</i> .....	58
2.2.2. <i>Le premier centre de calcul biomédical est créé par les neurophysiologistes</i> .....	61
2.2.3. <i>Le « LINC français » : les spécifications des neurophysiologistes</i> .....	65

\*\*\*

<b>3. LA RÉPONSE DE L'INSERM (A PARTIR DE 1973)</b> .....	<b>74</b>
3.1. UNE INFORMATIQUE À DEUX TÊTES : STATISTICIENNE ET NUMÉRICIENNE.....	76
3.2. UN PROGRAMME D'ACTION À LA MESURE DES ÉLECTROPHYSIOLOGISTES .....	79
3.3. UN PASSEUR TECHNOLOGIQUE : L'INGÉNIEUR.....	83
3.3.1. <i>L'essor du génie biologique et médical à l'Inserm : la résistible technisation de la recherche biomédicale</i> .....	83
3.3.2. <i>Du laboratoire de neurophysiologie au centre d'informatique</i> .....	89
3.3.3. <i>Ouverture : un changement de génération</i> .....	99
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>103</b>
DE LA PRATIQUE MINORITAIRE À LA TECHNOLOGIE DOMINANTE.....	103
LE MODÈLE AMÉRICAIN .....	105
LES SCIENCES DU CERVEAU : DES ZONES PRIVILÉGIÉES POUR L'INTRODUCTION DES ORDINATEURS DANS LE SECTEUR BIOMÉDICAL.....	107
L'INGÉNIEUR : UN PASSEUR TECHNOLOGIQUE .....	108
PISTES DE RECHERCHE .....	109
<b>SOURCES ET BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>113</b>
A. SOURCES.....	113
A.1. <i>Archives publiques</i> .....	113
A.2. <i>Archives privées</i> .....	115
A.3. <i>Entretiens et correspondance</i> .....	116
B. SOURCES IMPRIMÉES.....	117
C. BIBLIOGRAPHIE.....	118
<b>INDEX DES NOMS PROPRES</b> .....	<b>120</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>123</b>

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 : La <i>Cérébrologie</i> dans les années cinquante.....	19
Figure 2 : Colloque international d'EEG et de neurophysiologie clinique à Moscou en 1958.....	20
Figure 3 : Poste d'électrophysiologie de Ladislav Tauc entre 1950 et 1960.....	22
Figure 4 : Extrait du programme du colloque « Les Machines à calculer et la pensée humaine » de 1951.....	26
Figure 5 : Budget prévisionnel pour le centre de calcul de l'Institut du Cerveau soumis à la DGRST en 1963.....	31
Figure 6 : Antoine Rémond (1917-1998) : un pionnier de l'EEG et de l'informatique biomédicale.....	34
Figure 7 : Historique synthétique de l'EEG quantitative de 1930 à 1960.....	37
Figure 8 : Installation du système « Lab8 » à l'unité Inserm 94 en 1970.....	45
Figure 9 : Membres du comité GBM à sa création en 1965.....	57
Figure 10 : Evolution du budget annuel de l'action concertée «GBM » de 1966 à 1978 (en MF courants). .....	57
Figure 11 : Répartition par thématique des contrats de l'action concertée « GBM » de 1966 à 1971.....	59
Figure 12 : Filiation des actions concertées soutenant l'informatique biomédicale dans les années soixante.....	72
Figure 13 : La recherche biomédicale en France : structures de coordination en 1974.....	74
Figure 14 : Distribution par objectifs des unités Inserm ayant acquis des calculateurs entre 1966 et 1971.....	78
Figure 15 : Membres du comité ad hoc de l'ATP 24 « Informatique et GBM » de l'Inserm en 1973.....	80
Figure 16 : Répartition par objectifs et par applications des programmes de recherche soutenus par l'ATP 24 « Informatique et GBM » (1973-1975). .....	80
Figure 17 : Répartition par objectifs et par applications des programmes de recherche soutenus par l'ATP 40 « Acquisition et traitement des données biologiques » (1975-1978).....	81
Figure 18 : Membres de la commission scientifique spécialisée Inserm « GBM » de 1974 à 1979.....	85
Figure 19 : Jacques Pernier et Paul Gerin.....	90
Figure 20 : Programme du DEA de neurophysiologie d'Orsay lors de sa création en 1963.....	95
Figure 21 : Inauguration du bâtiment Inserm de Lyon, cours Albert Thomas, le 8 mars 1987.....	98
Figure 22 : Vue synthétique de l'informatisation des <i>neurosciences</i> françaises au XX <sup>e</sup> siècle.....	112

## GLOSSAIRE

<b>AC</b>	Action concertée (mode d'action de la DGRST*)
<b>Arch.Nat.</b>	Archives nationales
<b>ATP</b>	Action thématique programmée (mode d'action du CNRS* ou de l'Inserm*)
<b>CAT</b>	Computer Average Transient (moyenleur digital commercialisé par la firme américaine Technicon à la fin des années cinquante. Très répandu dans les laboratoires d'électro-encéphalographie)
<b>CCRST</b>	Comité consultatif de la recherche scientifique et technique (placé auprès de la DGRST*)
<b>CEA</b>	Commissariat à l'énergie atomique
<b>CEMI</b>	Centre d'électronique et de mini-informatique (Centre technologique créé à l'Inserm en 1974 et dirigé par Jacques Pernier)
<b>CHU</b>	Centre hospitalier universitaire (Marquant le rapprochement du milieu médical et de la recherche, les CHU furent créé lors de la réforme Debré en 1958)
<b>CII</b>	Compagnie internationale pour l'informatique (1966-1976, née au lancement du Plan Calcul et marquant sa fin)
<b>CNAM</b>	Conservatoire national des Arts et Métiers
<b>CNRS</b>	Centre national de la recherche scientifique
<b>Css</b>	Commission scientifique spécialisée (à l'Inserm)
<b>DEA</b>	Diplôme d'études approfondies (1 <sup>er</sup> grade du 3 <sup>e</sup> cycle universitaire, avant la thèse doctorale)
<b>DEC</b>	Digital Equipment Corporation (constructeur américain de mini-ordinateurs)
<b>DRET</b>	Direction des recherches et études techniques (des armées, ancêtre de la DRME*)
<b>DGRST</b>	Délégation générale à la recherche scientifique et technique (1959-1981)
<b>DRME</b>	Direction des recherches et moyens d'essais (militaire)
<b>ECG</b>	Electrocardiogramme (tracé de l'activité électrique du cœur)
<b>EEG</b>	Electro-encéphalogramme (tracé de l'activité électrique du cerveau)
<b>EMD</b>	Electronique Marcel Dassault (constructeur du petit ordinateur Strada)
<b>ENS</b>	École normale supérieure
<b>Fortran</b>	Formula Translator (langage de programmation scientifique, inventé en 1954 pour l'IBM 704)
<b>GAIN</b>	Groupement pour les applications de l'informatique à la neurophysiologie (créé en 1966 par l'électro-encéphalographe Antoine Rémond)
<b>GBM</b>	Génie biologique et médical
<b>GR</b>	Groupe de recherche (au CNRS*)
<b>IBRO</b>	The International Brain Research Organization, créé en 1960
<b>INRA</b>	Institut national de recherche agronomique
<b>INP</b>	Institut de neurophysiologie et de psychophysiologie (Laboratoire propre au CNRS créé à Marseille en 1963)
<b>INSA</b>	Institut National des Sciences Appliquées de Lyon
<b>Inserm</b>	Institut national de la santé et de la recherche médicale
<b>IRM</b>	Imagerie à résonance magnétique
<b>ITA</b>	Ingénieurs, techniciens, administratifs du CNRS* ou de l'Inserm*
<b>IUT</b>	Institut universitaire de technologie
<b>LETI</b>	Laboratoire d'électronique et de technologie de l'informatique (CEA*, Grenoble)
<b>LINC-8</b>	Laboratory Instrument Computer (modèle de mini-ordinateur, conçu au MIT au début des années soixante par Charles Molnar et Wesley Clark en collaboration avec des neurophysiologistes, industrialisé par DEC* et Spear

	Microelectronics)
<b>MEG</b>	Magnéto-encéphalographie (technique d'imagerie cérébrale)
<b>MIT</b>	Massachusetts Institute of Technology
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration (aux Etats-Unis)
<b>INH</b>	Institut national de l'hygiène (1941-1964, ancêtre de l'Inserm*)
<b>Ordinateur</b>	Calculateur électronique numérique à programme enregistré. Adopté en 1955 en France, ce terme permet de le distinguer des autres calculateurs : mécaniques, électromécaniques, analogiques (non numériques), numériques mais non programmables ou à programme externe (sur des cartes perforées)
<b>ONU</b>	Organisation des Nations Unies (dont est rattaché l'Unesco : l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture)
<b>PDP***</b>	Programmed Data Processor (série de mini-ordinateurs commercialisés par la firme américaine DEC*. Le PDP-8, commercialisé en 1965, fut très répandu dans les laboratoires biomédicaux)
<b>PV</b>	Procès-verbal
<b>RA</b>	Rapport d'activité (du CNRS* ou de l'Inserm*)
<b>RC</b>	Rapport de conjoncture (élaboré par le Comité national siégeant au CNRS*)
<b>RCP</b>	Recherche coopérative sur programme (mode d'action du CNRS* ou de l'Inserm*)
<b>RO</b>	Recherche opérationnelle (ou « aide à la décision » est née durant la Seconde Guerre Mondiale pour trouver la solution optimale à un problème donné, à renfort de modélisation mathématique et de simulation numérique)
<b>SPI</b>	Science physique pour l'ingénieur ou Science pour l'ingénieur (terme qui apparaît dans les années soixante dix au CNRS pour regrouper les recherches en informatique, en automatique, en traitement du signal, en optique, en électronique, en électrotechnique ou encore en mécanique)
<b>TEP</b>	Tomographie par émission de positron (technique d'imagerie cérébrale)

« Il n'y a de science que de mesure »

« L'universalité de notre enseignement et de notre culture [...] est un atout important. Les zones fécondes de la recherche se trouvent aux limites de domaines différents et, là comme dans l'art militaire, les batailles se gagnent aux frontières »<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> CNRS, Rapport national de conjoncture scientifique, 1960, p.10. (Section 1 « Mathématiques pures »).

## INTRODUCTION

S'inscrivant dans la vaste réflexion de la circulation des savoirs dans les sciences<sup>5</sup>, la présente recherche interroge les conditions initiales de l'informatisation des sciences du vivant et de la médecine au XX<sup>e</sup> siècle. L'informatisation ou *computerization* est alors vue comme la transformation occasionnée par l'intégration des instruments et des méthodes pour traiter automatiquement l'information. L'histoire des sciences physiques, riche d'une forte tradition mathématique, est intrinsèquement liée à celle de ces instruments et de ces méthodes. A l'image du couple mathématiques-physique, les couples bio-informatique et informatique médicale nous sont aujourd'hui familiers. Mais ils nous font oublier la contingence de la rencontre entre les calculateurs électroniques et certaines disciplines scientifiques, initialement empiriques et peu quantitatives. Quelles furent les conditions et les modalités de transfert d'une technologie attachée aux sciences physiques et à l'ingénierie vers le secteur biomédical ? Qu'est-ce qui dans ce secteur favorisa cette intégration ? Qu'est-ce qui joua le rôle de médiateur de cette technique ? Enfin comment cette technologie fut-elle adaptée et modifia-t-elle la recherche biomédicale pour devenir aujourd'hui l'outil présent dans chaque laboratoire, indispensable à l'acquisition, à l'analyse et au partage des données expérimentales ?

Parmi les sciences du vivant, les sciences du cerveau constituent un cas particulièrement intéressant pour deux raisons. Premièrement, elles constituent un champ de recherche par nature interdisciplinaire en constante recomposition dans un balancement incessant entre spécialisation et unification, intégrant des méthodes, des techniques et des concepts des disciplines voisines. Deuxièmement, nous pouvons situer leur première rencontre avec l'ordinateur bien avant les années 1960, période à laquelle débutent vraiment la bio-informatique et l'informatique médicale. En effet, dans l'effervescence cybernéticienne des années quarante, l'ordinateur devint un objet de comparaison avec le cerveau : le cerveau-machine (à calculer)<sup>6</sup>. Les sciences du cerveau apparaissent ainsi comme une voie d'entrée précoce dans la recherche biomédicale, sinon de l'ordinateur, du moins des approches voire des concepts d'où il fut importé.

---

<sup>5</sup> Les actes des journées d'études tenues à la Maison Française d'Oxford les 8 et 23 mai 1996 sur *les transferts de concepts et de pratique dans les sciences, XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup>* ont constitué une source d'inspiration. Le cadre théorique de cette étude semble également recouper le courant « transversaliste » en sociologie des sciences et des techniques dont le principal représentant est Terry Shinn.

<sup>6</sup> Reconsidérant l'apport de la cybernétique en terme de circulation d'instruments intellectuels (ex. la modélisation), Ronan Le Roux attire notre attention sur l'importance des machines sous-tendant ces approches dans le processus même de production des connaissances qu'il a étudié notamment en biologie (Le Roux, 2010).

Processus solidement ancré dans le tissu économique, social et politique national, à la croisée de l'histoire d'une technique et d'une discipline scientifique, l'informatisation des sciences s'articule sur de multiples niveaux d'analyse, floutant les distinctions usuelles entre l'histoire internaliste et l'histoire externaliste, entre la science pure et la science appliquée, entre « texte et contexte ». Elle nécessite donc la multiplication des points de vue en autant d'approches croisées. La présente étude se propose d'explorer l'articulation entre technique, recherche, et politique de recherche, sous jacente à l'informatisation des sciences de la vie à travers l'introduction des ordinateurs dans les *programmes de recherche* des neurosciences.

## SOURCES ET HISTORIOGRAPHIE

Pour cela, nous nous appuyerons sur l'analyse des archives de la DGRST<sup>7</sup>, du CNRS<sup>8</sup> et de l'Inserm<sup>9</sup>, ainsi que sur un recueil systématique d'entretiens<sup>10</sup>. De plus, des comparaisons internationales seront proposées, s'appuyant sur des rapports de missions à l'étranger, particulièrement aux Etats-Unis qui font figure de modèle, ainsi que sur la thèse richement documentée de Joseph A. November, qui analyse la naissance de la bio-informatique aux Etats-Unis<sup>11</sup>.

Témoignant du renouvellement de l'histoire des sciences<sup>12</sup>, les travaux sur l'informatisation des sciences se multiplient. Ils interrogent les conséquences de l'introduction de la technologie numérique au niveau des pratiques des communautés scientifiques, de leurs programmes de recherches et de leur interaction avec le milieu industriel ou encore avec des institutions.

L'informatisation de la physique fut particulièrement étudiée reflétant la montée progressive de la demande de calcul et de la modélisation dans cette discipline et ses sous-ensembles – microphysique<sup>13</sup>, cristallographie<sup>14</sup> – ou s'inscrivant dans l'histoire de la modélisation et de la simulation renouvelées par la technologie numérique<sup>15</sup>. Notons également l'intéressante étude de cas réalisée par l'historienne des mathématiques Amy Dahan montrant comment la météorologie fut transformée par l'utilisation des ordinateurs en une science de l'ingénieur<sup>16</sup>.

---

<sup>7</sup> Délégation générale pour la recherche scientifique et technique.

<sup>8</sup> Centre National de la Recherche Scientifique.

<sup>9</sup> Institut national pour la santé et la recherche médicale.

<sup>10</sup> Les entretiens furent réalisés auprès de chercheurs, ingénieurs et techniciens, acteurs ou témoins de l'introduction des ordinateurs en neurophysiologie. Un seul entretien fut réalisé avec un ancien dirigeant (voir liste dans les sources p.135).

<sup>11</sup> November, 2006.

<sup>12</sup> L'on trouvera une synthèse dans les deux ouvrages suivants Braunstein, Zielinska, & Guillin, 2008 et Pestre, 2006.

<sup>13</sup> Galison, 1997.

<sup>14</sup> Mols, 2006.

<sup>15</sup> E.g. travaux d'Annick Barberousse.

<sup>16</sup> Dahan-Dalmedico, 2001.

Un important courant de l'histoire de la biologie moderne est celui de l'étude de l'impact des instruments scientifiques dans les pratiques et la théorie (microscope, électrophorèse, spectroscope, etc.). Cependant, les études sur la bio-informatique se concentrent sur le cas de la biologie moléculaire, en particulier autour de la convergence des discours des chercheurs et de la technologie de l'information et de la cybernétique<sup>17</sup>. Cet intérêt pour la biologie moléculaire reflète l'importance de la technologie informatique aujourd'hui au sein de cette discipline. Ces études rencontrent également un autre courant de l'histoire des sciences qui interroge la transformation de ces dernières décennies de la biologie en *Big Science*. Elles examinent particulièrement les changements économiques et sociaux.

L'étude ici présentée recoupe également l'histoire de l'informatique médicale française. Plus spécifiquement, elle est centrée sur l'une de ses composantes qu'est le traitement des données expérimentales. Cependant, l'histoire de l'informatique médicale est encore absente de l'historiographie de l'informatique en France, à l'exception de l'article de Yves Ploton sur un projet de simulation biochimique<sup>18</sup>.

Exceptée les travaux de la sociologue Anne Beaulieu sur le développement récent de l'informatique dans les neurosciences<sup>19</sup>, les travaux sur l'histoire de l'informatisation de ce champ de recherche sont essentiellement des rétrospectives par les acteurs eux-mêmes<sup>20</sup>. Elles constituent des sources très riches pour l'historien, à qui elles fournissent des informations de première main à la fois sur des aspects qui ne laissèrent pas toujours de traces archivées, et sur le « vécu » des acteurs de cette histoire. Cependant, il existe une abondante bibliographie à dominante philosophique sur l'intelligence artificielle et l'analogie cerveau-ordinateur. Dans une approche socio-historique, citons la thèse de Brigitte Chamak sur l'émergence des sciences cognitives en France dans les années quatre-vingt qui analyse la confrontation des communautés : psychologues et informaticiens autour du projet d'intelligence artificielle, se heurtant aux neurobiologistes<sup>21</sup>.

---

<sup>17</sup> Ce sont, par exemple, les travaux de Lili Kay ou Evelyn F. Keller (Keller, 1995).

<sup>18</sup> Pouzin & Mounier-Kuhn, 2002, chap. "ANALAC : simulation de l'équilibre acido-basique de l'organisme humain" par Yves Ploton ; p.96-121.

<sup>19</sup> En particulier *Voxels in the Brain: Neuroscience, Informatics and Changing Notion of Objectivity* (Beaulieu, 2001) L'auteur propose une triple analyse de l'impact de l'informatique dans la conception des atlas du cerveau dans les années 1990 : « ontologique » car elle s'intéresse à l'évolution de la représentation du cerveau, « épistémologique » car elle interroge la manière dont est produite la connaissance (les atlas), et « pragmatique » car elle analyse l'évolution de la pratique scientifique.

<sup>20</sup> Par exemple : Collura, 1995; Faugeras, Frégnac, & Samuelides, 2007; Horcholle-Bossavit & Tyč-Dumont, 2005; Lytton, 2000.

<sup>21</sup> Chamak, 1997.

L'étude présente explore donc un domaine quasiment en friche : la rencontre de l'informatique et des neurosciences en France. A l'échelle française, elle bénéficie de deux phénomènes relativement récents au carrefour desquels elle se situe :

- L'apparition d'un intérêt pour l'histoire de l'informatique en France dans les années quatre-vingt<sup>22</sup> avec l'introduction des « objets informatiques » dans les musées, la publication d'histoires de l'informatique par des pionniers français<sup>23</sup>, puis d'historiens<sup>24</sup>, la création d'associations comme l'Aconit ou l'AHTI<sup>25</sup> ou encore l'organisation d'une longue série de colloques sur l'Histoire de l'Informatique en France auxquels contribua l'historien Pierre-Éric Mounier Kuhn dont l'analyse fine et richement documentée de l'émergence de l'informatique dans la recherche française récemment publiée constitua une source majeure d'informations et de réflexion pour ce travail.
- L'apparition d'un intérêt encore plus récent pour l'histoire des neurosciences françaises, sous l'impulsion d'un groupe d'historiens, de philosophes et de neuroscientifiques, qui se concrétisa en 2005 par la création du Club d'histoire des neurosciences et en 2006 par un colloque dont les actes publiés constituent une source précieuse<sup>26</sup>. L'histoire des neurosciences modernes étant essentiellement faite de rétrospectives écrites par les acteurs eux-mêmes, dont certains philosophes se sont déjà emparés<sup>27</sup>, elle devient seulement aujourd'hui un objet d'étude pour l'historien ou le sociologue.

Cette recherche bénéficie par ailleurs de l'émergence récente de son objet d'étude qui, se situant dans une période proche, offre des sources de renseignements encore vives<sup>28</sup>. Mais ce qu'enseigne également à l'historien l'étude d'un phénomène qui lui est presque contemporain, est qu'il ne travaille pas seulement sur les souvenirs encore vivants, il les protège. Ainsi il vit avec cette peur d'arriver trop tard... après le « grand nettoyage » d'un déménagement de laboratoire ou d'un départ en retraite. C'est ainsi que quinze années de souvenirs contenus dans un même document longtemps cherché et espéré, le bulletin *Trace* rédigé par le Groupement pour les applications de l'informatique à la neurophysiologie, disparurent dans une benne ! Et quand il se réjouit de recueillir le souvenir dans la bouche même de ces hérauts, il craint de manquer la prochaine rencontre et de laisser se perdre le témoignage précieux sans lequel le souvenir se lisse et dans lequel trop de présent se glisse.

---

<sup>22</sup> Dans l'introduction de son livre, P-E. Mounier-Kuhn retrace l'histoire de cet intérêt (2010, pp. 23–26).

<sup>23</sup> Moreau, 1981 ; Ligonière, 1987.

<sup>24</sup> Breton, 1987; Ramunni, 1989; Mounier-Kuhn, 2010.

<sup>25</sup> Depuis sa création en 2000, l'Association pour l'histoire des télécommunications et de l'informatique (AHTI) soutient des travaux universitaires, même aux marges de ses thèmes habituels, comme l'étude ici présentée.

<sup>26</sup> Debru, Barbara, & Cheric, 2008.

<sup>27</sup> Chazal, 2000.

<sup>28</sup> L'utilisation des entretiens comme sources d'information et plus généralement l'histoire orale fut l'objet de nombreuses discussions depuis trente ans dont Dominique Pestre proposa une synthèse (Pestre, 1989).

## LE PROGRAMME DE RECHERCHE

Précisons maintenant quel fut l'outil principal de ce travail : *le programme de recherche*, employé au sens, non de l'épistémologie, mais au sens de l'administration de la recherche. En effet, développé par l'épistémologue Imre Lakatos<sup>29</sup>, le concept de *programme de recherche* ne nous semble pas adapté à la présente étude pour deux raisons :

1. Le niveau de description ou d'application de ce concept reste trop flou pour être un outil d'analyse utilisable par l'historien travaillant sur des archives écrites ou orales.

2. Ce concept repose sur une épistémologie normalisatrice en contradiction avec l'attitude méthodologique adoptée pour cette étude qu'est celle de la neutralité, de prise de distance avec le discours des scientifiques, posant comme principe la symétrie entre l'énoncé vrai et l'énoncé faux<sup>30</sup>.

Nous utiliserons le terme de *programme de recherche* comme étant la mise en œuvre par un chercheur ou par un groupe de chercheurs, au sein d'un laboratoire ou entre plusieurs laboratoires, d'un projet de recherche planifié défini par son objectif et par les moyens – c'est-à-dire l'ensemble des savoirs faire, des instruments, des ressources humaines, cognitives et matérielles - employés pour l'atteindre. Pour rendre compte de la spécificité d'un programme scientifique, il faut y ajouter trois dimensions :

- la part d'inconnu inhérente à la recherche, qui fait qu'une partie des objectifs sont flous quand un projet est lancé, ou devront être redéfinis, ou demanderont des recherches supplémentaires ;
- la nécessité de former les spécialistes aux techniques ou aux méthodes nouvelles que le programme exige ou produira ;
- le (ou les) paradigme(s) dominant(s), dans le cadre du(es)quel(s) ou en divergence avec le(s)quel(s) le programme se conçoit : il faut prendre en compte un ensemble de motivations, d'engouements pour un sujet, une approche ou une technique, d'effets de génération, ou encore l'influence de personnalités et de petits groupes "porteurs", avec leurs configurations d'intérêts, d'alliances, de relations, d'agenda scientifiques, intellectuels, voire politiques.

De ces critères et des ressources disponibles sont généralement déduits la durée et surtout le budget nécessaires à la réalisation du programme, renseignant ainsi l'historien sur l'effort fourni par les institutions et lui offrant autant de repères quantitatifs. De plus, emprunté au quotidien des chercheurs, *le programme de recherche* est repérable dans leurs contrats, leurs rapports d'activité et leurs publications. Il permet d'identifier des voies de recherches émergentes ou au contraire à bout de souffle, à condition que l'historien élargisse la définition de l'objectif proposé initialement par le chercheur à une thématique globale ou en y identifiant les concepts à l'œuvre.

---

<sup>29</sup> Lakatos, 1980.

<sup>30</sup> Bloor, 1976.

C'est donc à travers le *programme de recherche* ainsi défini que cette étude explore les changements survenus dans les pratiques, dans l'organisation de la communauté scientifique et dans les concepts suite à l'introduction des ordinateurs et des machines les préfigurant dans les sciences du cerveau et du comportement, en articulation avec des politiques de recherche.

## **PLAN**

En adressant les questions initiales sur la circulation des savoirs et des techniques au cas des neurosciences, nous répondrons en trois temps, dans le respect de la chronologie et dans l'optique de proposer un modèle de transfert d'instruments, de pratiques et de concepts sous-jacents à l'informatisation des sciences du vivant.

Dans un premier temps, les traces de « l'informatisation » des neurosciences seront recherchées bien avant la commercialisation des mini-ordinateurs, dans le besoin de calcul émanant des groupes de chercheurs au CNRS, d'où nous remonterons jusqu'à l'origine du besoin de l'un d'entre eux, l'EEG quantitative. Puis, en nous appuyant sur le travail de l'historien Joseph A. November, ce besoin naissant de calcul sera comparé à celui de la communauté biomédicale aux Etats-Unis et aux réponses que les institutions lui apportèrent dans ce pays.

Dans un second temps, nous explorerons la réponse des institutions à ce besoin de calcul. C'est tout d'abord celle de la DGRST, à travers la mise en place graduelle d'une politique de recherche soutenant l'informatique biomédicale : le Génie biologique et médical (GBM). Nous chercherons à évaluer la contribution des neurophysiologistes dans l'initiation de ce programme national. L'une de ses actions, la construction du « LINC français », permettra de spécifier les attentes techniques des biologistes et des médecins. De plus, son échec éclairera les facteurs initiaux limitant la technicisation de la recherche biomédicale.

Dans un troisième et dernier temps, nous suivrons à l'Inserm le déploiement, dans la recherche biomédicale, de la politique de recherche amorcée et poursuivie par la DGRST. En repérant les premiers signes de son informatisation, nous explorerons la contribution des neurophysiologistes à l'apparition d'une informatique numérique et temps réel, couplée au GBM. Puis nous identifierons les acteurs du GBM, leur programme et les limites de leur projet d'expansion. Enfin, nous suivrons le parcours de deux d'entre eux dans un laboratoire de neurophysiologie, où nous interrogerons les conditions de transfert de la technologie informatique et ses conséquences au niveau des pratiques.

En conclusion, nous discuterons de l'influence américaine sur la recherche biomédicale française comme étant un des aspects de la circulation de la technologie informatique. Puis nous réfléchirons aux conditions nécessaires ou favorables, au sein des sciences du cerveau, à l'introduction précoce des calculateurs dans la recherche biomédicale. Enfin, nous discuterons de la place de l'ingénieur dans ce transfert technologique.

## REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu mes parents pour leur soutien attentif et constant.

Je remercie les membres du jury qui ont discuté ce travail. Particulièrement :

Jonathan Simon pour m'avoir accompagnée dans mon orientation vers l'histoire des sciences et pour avoir été mon interlocuteur privilégié tout au long de mon parcours dans ce nouveau domaine de recherche.

Jean-Gaël Barbara pour nos discussions, pour m'avoir introduite dans le Club d'Histoire des Neurosciences qui a été un forum stimulant et pour m'avoir donné l'occasion de présenter mes recherches lors du 15<sup>e</sup> colloque de la Société internationale pour l'histoire des neurosciences qui s'est tenu à Paris le 15 juin 2010.

Benjamin Thierry pour avoir soutenu mon projet de recherche à l'AHTI puis pour avoir accepté d'évaluer un travail en marge de ses travaux.

Denis Forest pour m'avoir donné l'occasion de présenter mes premiers résultats lors de la « journée recherche » du 26 mars 2010 à la faculté de philosophie de l'Université Lyon 3.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude à l'Association pour l'histoire des télécommunications et de l'informatique (AHTI, <http://www.ahiti.fr/>), dont une bourse de recherche a soutenu cette étude.

Je suis reconnaissante à Pierre-Éric Mounier Kuhn, Joe November et Ronan LeRoux pour les conseils et discussions stimulantes qui ont permis d'approfondir comme d'élargir ce travail.

Je tiens à saluer le remarquable travail des archivistes et des historiens pour le site sur l'histoire de l'Inserm (<http://infodoc.inserm.fr/histoire>) et à les remercier pour leur serviabilité. Notamment Hélène Chambefort, Suzy Mouchet, Jean-François Picard. Mes remerciements s'adressent également à Alain Roux et Solange Meunier du service des collections muséologiques de la Cité des Sciences et de l'Industrie ainsi qu'aux archivistes du CNRS.

Ce mémoire est dédié aux « pionniers » français de l'informatisation des neurosciences, notamment à ceux et celles qui ont bien voulu transmettre à une jeune chercheuse en neurosciences, curieuse d'histoire et de philosophie des sciences, leurs témoignages, leurs archives, leur passion, et parfois même qui l'ont honorée de leur amitié<sup>31</sup>.

---

<sup>31</sup> On trouvera la liste des entretiens p.141.

## PRELUDE

Puisant dans les deux courants distincts que sont la neurologie et l'électrophysiologie du XIX<sup>e</sup> siècle, les *neurosciences* d'aujourd'hui sont un champ disciplinaire composite tendu vers un même objectif : la compréhension de la structure et du fonctionnement du cerveau, normal et pathologique, du niveau le plus élémentaire au niveau le plus global, c'est-à-dire des grandes fonctions cognitives. Le terme fut repris du programme de recherche interdisciplinaire lancé en 1962 par le Dr. F.O. Schmitt et ses collègues biologistes, médecins, chimistes, physiciens et aussi mathématiciens de différents pays et soutenu par le MIT, Cependant, la constitution d'une communauté internationale est antérieure comme le témoigne la création de l'International Brain Research Organization en 1960 puisant dans des rencontres internationales entre spécialistes, notamment les électro-encephalographistes dès la fin de la seconde guerre mondiale<sup>32</sup>.

Le cerveau fascine les spécialistes des disciplines les plus diverses qui apportent leurs méthodes, leurs outils techniques et leurs hypothèses : les neurosciences se construisent dans cette zone féconde de la recherche que sont les frontières disciplinaires. A chaque époque, elles ont un paysage propre<sup>33</sup>. Au début du XX<sup>e</sup> siècle, la physiologie du système nerveux devenue une branche autonome de la physiologie tout en se distinguant de la neurologie par l'exploration de la conduction électrique des nerfs connût un important essor avec les progrès techniques dans la fabrication des électrodes, en stéréotaxie et en microscopie électronique. A mesure que s'imposait le concept de neurone, émergeait la *neurophysiologie*<sup>34</sup>. L'invention de l'électro-encéphalographie (EEG) et de l'enregistrement extracellulaire dans les années 1930, ainsi que le rapprochement de la neurophysiologie et de la psychophysiologie favorisent une approche plus intégrative « visant à associer la connaissance des mécanismes nerveux à celle des fonctions les plus élevées »<sup>35</sup>. Un point de rencontre est l'exploration de la perception dont la figure majeure en France est Henri Piéron (1881-1964) qui a fondé la psychophysiologie sensorielle. Avant de reprendre les techniques de l'électrophysiologie, la méthode expérimentale se résumait essentiellement à la quantification du comportement, permettant d'inférer sur l'état interne du cerveau.

---

<sup>32</sup> Voir Figure 2 p.22.

<sup>33</sup> Plusieurs histoires des neurosciences ont déjà été écrites. Signalons seulement deux ouvrages : une histoire générale des neurosciences jusqu'à nos jours en français offrant une entrée chronologique et une entrée thématique (Clarac & Ternaux, 2008), ainsi que la très intéressante série des *Neurosciences in autobiography* éditée par la société des neurosciences (accès gratuit aux ouvrages sur son site !) et coordonnée par Larry R. Squire.

<sup>34</sup> Pour une analyse historique et épistémologique de l'émergence du concept de neurone sous-jacent à la création de la neurophysiologie, je conseille deux études complémentaires publiées cette année par l'historien Jean-Gaël Barbara (Barbara, 2010a, 2010b).

<sup>35</sup> Cazard, 1963, p.28.

Cependant, les approches élémentaire et globale semblent évoluer de manière cloisonnée, cloisonnement que l'on retrouve encore aujourd'hui<sup>36</sup>.

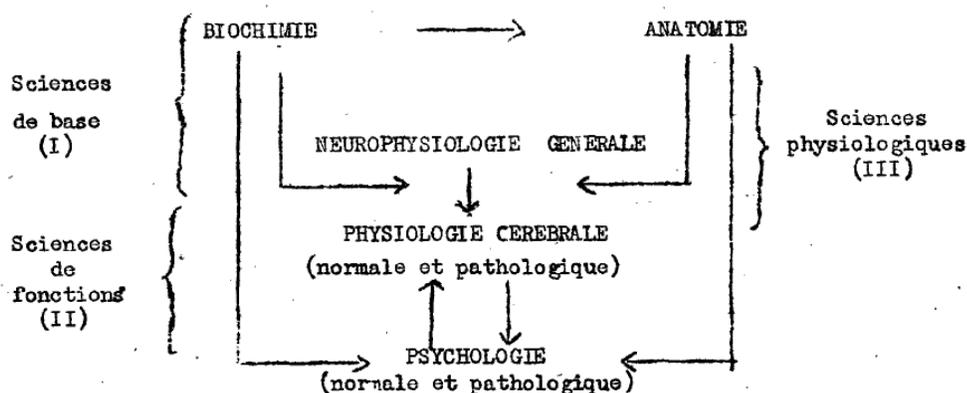


Figure 1 : La Cérébrologie dans les années cinquante

Derrière l'apparente unicité de l'objet d'étude de la *Cérébrologie* interagissent de multiples disciplines. L'étude du cerveau peut s'envisager selon trois axes : différentiel (comparaison entre espèces, normal/pathologique), temporel (développement) et opérationnel, en se focalisant sur un ou plusieurs niveaux de description (moléculaire pour la biochimie, cellulaire ou cérébral pour la neurophysiologie et l'anatomie, comportemental pour la psychologie). De l'interaction de ces axes et niveaux de description naît une déroutante complexité défiant les sciences du cerveau sans cesse remodelées par des apports nouveaux de disciplines connexes. [Figure extraite du projet de l'Institut international du cerveau par Alfred Fessard (Fessard, 1952, p. 7)]

La construction des neurosciences semble procéder par succession de processus de spécialisation puis de convergence tels que les a définis Jean-Paul Gaudillière. En effet, son modèle de spécialisation décrit la différenciation d'une discipline (neurophysiologie) à partir d'une discipline mère (physiologie) : c'est l'image de l'embranchement. Son modèle de convergence qu'il applique à l'émergence de la biologie moléculaire décrit un rapprochement de spécialistes, de concepts, de techniques de différentes disciplines (chimie, endocrinologie...) conduisant à la création d'une nouvelle discipline puis elle rentre en phase d'expansion où elle tend à annexer des problèmes d'autres domaines dont elle renouvelle les approches.

Si la France peut s'enorgueillir de sa brillante tradition de recherche en neurologie au XIX<sup>e</sup> siècle, la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle est considérée comme les « années sombres » de la neurophysiologie françaises<sup>37</sup> qu'affaiblit encore l'isolement de la seconde guerre mondiale. Le réveil est difficile pour les neurophysiologistes français qui constatent les avancées théoriques considérables et l'écart

<sup>36</sup> Jeannerod, 2002.

<sup>37</sup> Barbara, 2005. La mainmise sur la neurophysiologie par le doctrinaire Louis Lapicque (1866-1952) est une cause fréquemment avancée par les neurophysiologistes. Relativisons les souvenirs sévères de ses collègues en attirant le regard sur la réédition, un siècle plus tard, de son article de 1907 où il propose le modèle "intègre-et-tire" du neurone, qui est encore cité. Accompagnée d'une traduction en anglais, cette réédition rend hommage à Louis Lapicque pour sa contribution... aux neurosciences computationnelles ! (Brunel & van Rossum, 2007).

technologique avec les laboratoires de neurophysiologie outre-atlantique. Mais c'est aussi l'entrée dans une phase d'intense renouvellement technique et conceptuel<sup>38</sup>.



**Figure 2 : Colloque international d'EEG et de neurophysiologie clinique à Moscou en 1958.**

Ce colloque donne suite à une réunion internationale des électroencéphalographistes à Londres en 1947 où pour la première fois après la seconde guerre mondiale, les scientifiques des puissances alliées et des puissances ennemies se rencontrent. Il est suivi par un colloque organisé en pleine guerre froide à Marseille par Henri Gastaut en 1956, témoignant de la volonté d'une communauté internationale d'experts décidée à ignorer les frontières et à collaborer pour promouvoir les recherches sur le cerveau. La réunion de Moscou permet de concrétiser cette volonté par une structure administrative qui sera créée en 1960 sous l'égide de l'Unesco: *The International Brain Research Organization* (IBRO). Trois français sont présents parmi les participants: l'électrophysiologiste Alfred Fessard, professeur au collège de France; le neurologue et épiléptologiste Henri Gastaut, professeur à la faculté de médecine de Marseille et le médecin électrophysiologiste Paul Dell, directeur de recherche au CNRS, à l'Hôpital Henri Rousselle à Paris. Ils permettront à la France d'avoir une participation active dans l'organisation de l'IBRO ; Paul Dell en sera le secrétaire adjoint en 1962 puis le secrétaire en 1968.

Parmi les participants : [en 1ère ligne] Das (1), Magoun (USA), Fessard (FR), Bremer (Belgique), Beritashvili (Géorgie, URSS), Gastaut (FR), Jasper (Canada), Mme Brazier (USA), Rusinov (URSS), Moruzzi (IT), Chang (RPC), Lissak (Hongrie) ; [en 2nd ligne] Grey Walter (UK ; 2), Anokhin (URSS,4) Astrakyan (URSS, 8), Konorski (Pologne, 14) ; [en 3° ligne] Dell (FR ; 3). [photo donnée par Jean-François Clarac, commentée par lui-même et Suzanne Tyč-Dumont].

<sup>38</sup> Du colloque sur l'essor des neurosciences françaises (Debru et al., 2008) ressort l'idée d'un retard que prit la neurophysiologie française en début du XX<sup>e</sup> siècle mais qui fut rapidement rattrapé dans les années cinquante.

## AVANT L'ORDINATEUR

La rencontre des neurophysiologistes avec les calculateurs électroniques s'inscrit dans ce renouvellement technique et conceptuel des années d'après-guerre. Bien avant la diffusion des ordinateurs numériques à programmes enregistrés, l'on trouve des calculateurs - simulateurs analogiques ou calculettes de bureau – dans quelques laboratoires de neurophysiologie.

Il nous est aujourd'hui difficile d'imaginer ce que fut la recherche à l'époque où l'ordinateur était un instrument rare dans les laboratoires de biologie. La plupart des machines électromécaniques ou électroniques présentes dans les laboratoires de physiologie étaient au service de l'acquisition, et de l'enregistrement des données expérimentales.

« Le travail de base d'un électrophysiologiste est de mesurer des différences de potentiel ou des courants au niveau cellulaire ou global ; comme ces paramètres changent rapidement en fonction du temps, il convient de les enregistrer sur un support et de voir (et donc de figer) ces variations : l'appareil de base pour visualiser des signaux électriques était "l'oscilloscope cathodique" qui offre une excellente résolution temporelle (de l'ordre de la milliseconde) ; pour des signaux moins rapides on a utilisé effectivement des enregistreurs sur papier (oscillographes<sup>39</sup>) [...] Pour pérenniser les enregistrements observés sur oscilloscope on a beaucoup utilisé la photographie des écrans d'oscilloscopes»<sup>40</sup>

Mais l'usage de machines pour analyser les données expérimentales était encore peu répandu<sup>41</sup>. Les témoignages des neurophysiologistes ayant commencé à travailler dans les années cinquante ou soixante, recueillis au cours des entretiens ou dans des articles de vulgarisation<sup>42</sup>, s'accordent sur la description d'une pratique expérimentale bien différente de celle que nous connaissons.

« Le traitement des données électrophysiologiques se faisait par inspection visuelle soit directement sur l'écran d'un oscilloscope, soit après enregistrement sur papier ou sur film photographique (activité réflexe, activité unitaire des fibres). Les travaux sur les potentiels évoqués (électro-encéphalographie) étaient dans les premiers temps irréalisables faute de matériel de conversion analogique-numérique et de moyens de calcul pour améliorer le rapport signal/bruit par sommation d'un nombre relativement élevé de réponses [méthode du moyennage]. Quant aux données comportementales, représentées essentiellement par des mesures de temps, elles étaient relevées à la main et les calculs statistiques (moyennes, coefficients de corrélation, tests statistiques divers) étaient effectués sur des machines électromécaniques (de chez Olivetti) »<sup>43</sup>

C'était des kilomètres de papier ou de film photographique à développer et à « rejouer », qui étaient analysés par un électrophysiologiste armé d'un crayon, d'une règle et de beaucoup de patience ! (Ainsi que d'un fer à souder...) avant que des machines électroniques viennent graduellement le soulager en automatisant de nombreuses procédures, et surtout en lui apportant de nouvelles possibilités d'analyse. Le

---

<sup>39</sup> Ou polygraphe qui fut inventé dès la fin du XIX<sup>e</sup> par Sir James Mackenzie pour enregistrer simultanément différentes données physiologiques sous forme d'ondes (initialement les pouls vasculaires « ondulés » étaient transcrits sur un tambour rotatif de papier fumé).

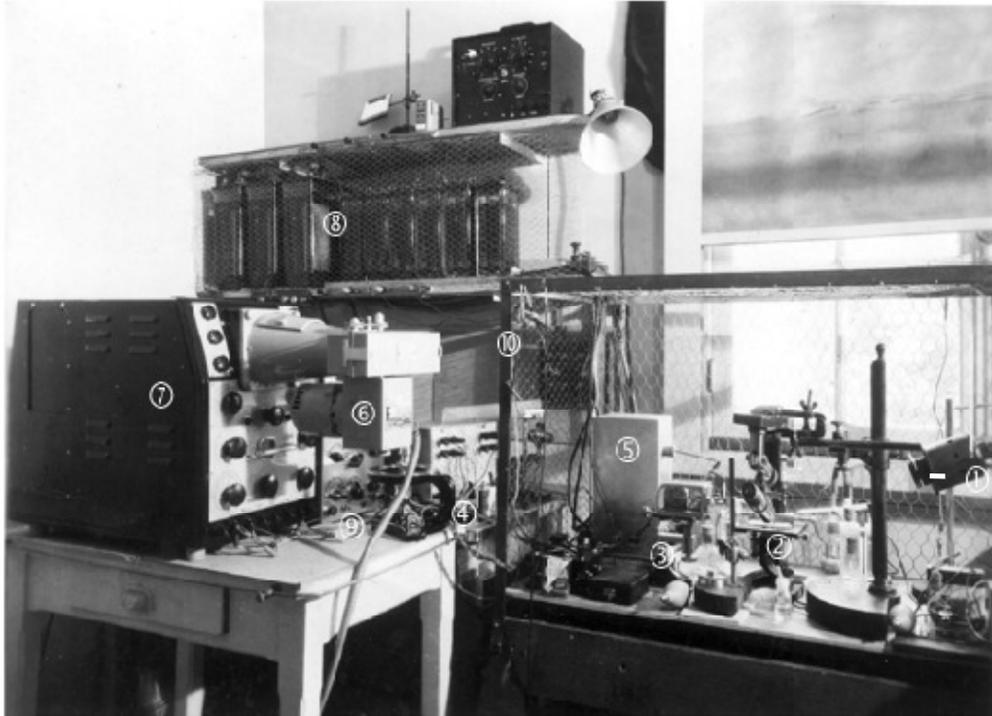
<sup>40</sup> Correspondance avec le neurophysiologiste Jacques Stinnakre du 10 mai 2010.

<sup>41</sup> Se reporter à la Figure 3 p.25 : un poste de micro-électrophysiologie classique dans les années cinquante.

<sup>42</sup> Cazard, 1963.

<sup>43</sup> Correspondance avec le psychophysiologiste Jean-Marie Coquery du 18 janvier 2010.

neurophysiologiste Jacques Stinnakre se souvient de cette époque comme des « temps héroïques » de la neurophysiologie<sup>44</sup> : petits moyens, faible effectif, machines à fabriquer de toutes pièces ou à bricoler...



**Figure 3 : Poste d'électrophysiologie de Ladislav Tauc entre 1950 et 1960.**

On reconnaît : une source de lumière (1), un microscope avec sa platine (2), un micromanipulateur de Fombrune (3), à l'intérieur d'une cage grillagée (cage de « Faraday », 10) et à l'extérieur de celle-ci, la télécommande du micromanipulateur (4), un pré-amplificateur à haute impédance d'entrée (5), une caméra « Cossor » (6) couplée à l'écran d'un oscilloscope de même marque (7), un ensemble de batteries (8) qui devait alimenter le pré-amplificateur (5) ; l'appareil visible à côté de l'oscilloscope est sans doute un générateur d'impulsion (stimulateur, 9) (Stinnakre, 2001). Aucun ordinateur ou appareil à traiter le signal n'est visible. « Constituant essentiel de tout poste électrophysiologique actuel, l'ordinateur personnel remplace aujourd'hui l'oscilloscope, le stimulateur l'enregistreur et pilote les amplificateurs qui restent l'intermédiaire obligatoire » (p.11). Se reporter à la photographie p.45 pour comparer : dix ans plus tard, un même poste expérimental mais informatisé.

<sup>44</sup> Entretien téléphonique avec le neurophysiologiste Jacques Stinnakre du 15 avril 2010.

## LA CYBERNETIQUE : UN LIEU DE RENCONTRE ENTRE CALCULATEURS ET NEUROPHYSIOLOGISTES

Les acquisitions ou utilisations de machines à calculer constituent le premier signe repérable d'une *informatisation* des neurosciences. Mais le besoin de tels équipements matériels ne peut se comprendre que dans un contexte intellectuel, dans des mouvements d'intérêts et de concepts qui ont préparé les esprits à leur utilisation.

Un événement significatif témoignant de cette rencontre est le colloque de 1951 organisé à Paris par l'Institut Blaise Pascal du CNRS sur *Les machines à calculer et la pensée humaine*, d'ailleurs qualifié de « congrès de cybernétique » par la presse de l'époque<sup>45</sup>. L'originalité de ce colloque est d'offrir à la fois un état de l'art des gros calculateurs et une session entière consacrée à la question de la pertinence de l'analogie entre ces machines et le cerveau<sup>46</sup>. L'analogie s'articule à différents niveaux : celui du neurone et celui des structures nerveuses comme les centres nerveux régulateurs ou les régions associatives, dans l'optique d'expliquer la genèse de la pensée humaine et de la conscience jusqu'au niveau le plus élémentaire. Mais, sceptiques, les neurophysiologistes présents se focalisent davantage sur les différences. Dix à quinze ans plus tard, la majorité des neurophysiologistes exprimeront encore leur méfiance voire leur rejet à l'égard de la cybernétique qui leur paraît « fumeuse », ou « vide » : trop de discussions pour peu d'applications ! Le pavillon de l'intelligence artificielle, directe héritière de l'engouement cybernéticien, ne réunira que des personnalités marginales parmi les informaticiens et les psychologues, jusqu'aux années quatre vingt où émergeront les sciences cognitives<sup>47</sup>.

Néanmoins, le colloque de 1951, en plein engouement pour la cybernétique, offre l'occasion d'un rapprochement entre différentes disciplines, habituellement cloisonnées par la spécialisation et le découpage académique : les participants sont majoritairement des mathématiciens, physiciens, ingénieurs, neurophysiologistes et médecins. Il est également l'occasion de diffuser des pratiques telles que le recours à la modélisation mathématique et la construction d'automates (e.g. présentation du joueur d'échec de Leonardo Torres-Quevedo ou des animaux artificiels de William Grey Walter) ainsi que de concepts : information, rétro-action ou *feedback*... Concepts que développent W.R. Ashby avec son homéostat, Warren McCulloch, un des pionniers de la modélisation mathématique du neurone, Norbert Wiener ou encore Lorente de Nó...<sup>48</sup> L'électro-encéphalographiste français Antoine Rémond, présent à ce colloque,

---

<sup>45</sup> « Le développement de l'électronique qui met à profit la vitesse et l'inertie extrêmement faible des électrons pour établir des relais électriques très sensibles, et les progrès de l'électro-encéphalographie, qui permet d'enregistrer l'activité du cerveau, au moyen d'électrodes judicieusement disposées sur le crâne, ont fait naître une science nouvelle pour laquelle le savant N. Wiener a proposé il y a un peu plus de deux ans le nom de cybernétique, issu du mot grec signifiant timonerie » ( « Après le congrès de cybernétique le cerveau humain conserve sa prédominance », *Le Monde*, 14 janvier 1951).

<sup>46</sup> Se reporter à l'extrait du programme du colloque montré en figure 4 p.22.

<sup>47</sup> Howard Gardner a publié une intéressante histoire de l'émergence des sciences cognitives (Gardner, 1985). Le cas français a été étudié par le philosophe Daniel Andler et a également fait l'objet d'une thèse réalisée par Brigitte Chamak (Chamak, 1997).

<sup>48</sup> Signalons également l'analyse de la circulation des concepts cybernéticiens et de leur formalisme effectuée par Ronan le Roux (Le Roux, 2010).

deviendra un spécialiste du « neurofeedback thérapeutique » dans les années soixante-dix<sup>49</sup>. Un second exemple est celui du neurophysiologiste Paul Dell, qui, bien qu'absent au colloque de 1951, est déjà dans l'orbite des cybernéticiens depuis son séjour en 1949 aux Etats-Unis chez McCulloch. Il développera par la suite le concept d'«homéostasie réticulaire»<sup>50</sup>.

Par une sorte de glissement de sens, des pionniers du calcul électronique appliqué à la neurophysiologie seront plus tard qualifiés de cybernéticiens. C'est le cas d'un élève de Paul Dell, le médecin André Hugelin qui emploiera au milieu des années soixante des mini-ordinateurs pour modéliser l'activité des populations de neurones au cours de la respiration<sup>51</sup>, travaux très critiqués :

« Si le labo d'Hugelin était le premier à s'ouvrir à l'informatique ? C'était plutôt le dernier laboratoire cybernéticien !! [...] Hugelin était un électrophysiologiste dur, il ne jurait que par l'électricité. Il n'a rien vu des neuromodulateurs et des protéines G ! »<sup>52</sup>

Et l'intéressé, André Hugelin, de répondre :

« Je ne me suis jamais considéré comme cybernéticien. La cybernétique fut très utilisatrice de données physiologiques. Je m'y suis intéressé comme cela... En fait, je n'ai jamais très bien pu définir la cybernétique. Je ne la prenais pas au sérieux. C'était un amusement pour les collègues. »<sup>53</sup>

Cependant, un seul orateur du colloque de 1951 discute de la possibilité d'utiliser les calculateurs comme un moyen pour automatiser la collecte et le traitement de données, le psychologue L. Delpuch<sup>54</sup>. A partir de la décennie suivante, la plupart des neurophysiologistes français qui étaient présents au colloque de 1951 seront les premiers à acquérir des calculateurs : Antoine Rémond, Jean Scherrer, Alfred Fessard, Henri Gastaut et au-delà du colloque, Paul Dell et ses élèves. L'utilisation des calculateurs se justifie davantage par l'adoption d'approches gourmandes en calcul que mettent en œuvre précocement les

---

<sup>49</sup> Tel que l'a développé Antoine Rémond, le *neurofeedback thérapeutique* consiste en la visualisation en temps réel par le patient de son propre EEG pour lui permettre d'acquérir le contrôle conscient d'une fonction mentale ou physique particulière. Il publiera un ouvrage de référence dans ce champ de recherche (Anne Rémond & Antoine Rémond, 1994). Se reporter également à la biographie d'Antoine Rémond p. 41. Cette technique n'est pas sans évoquer les actuels développements en neurologie plus connu sous le nom de « Brain TV ».

<sup>50</sup> Buser & Eccles, 1977 ; Debru et al., 2008, chap. "le laboratoire de Neurophysiologie de l'hôpital Henri-Rousselle, 1954-1975" par Suzanne Tyč-Dumont, p.57-66. Selon le concept d'*homéostasie réticulaire*, les activités sensorielles et motrices spécifiques seraient régulées par une structure diffuse du cerveau : la formation réticulée mésencéphalique constituée d'un réseau de neurones à la jonction de la moelle épinière, recevant ainsi les informations à la fois du cerveau et du corps (Dell, 1963). Suite aux travaux de G. Moruzzi et H. Magoun, avec lequel Paul Dell travailla également lors de son séjour aux Etats-Unis, la formation réticulée fut un grand thème de recherche de la neurophysiologie des années cinquante (Clarac & Ternaux, 2008).

<sup>51</sup> Entretien avec le neurophysiologiste André Hugelin du 11 novembre 2009.

<sup>52</sup> Entretien avec le neurophysiologiste Alain Sébille du 2 février 2010.

<sup>53</sup> Entretien avec le neurophysiologiste André Hugelin du 11 novembre 2009.

<sup>54</sup> Acte du colloque de 1951, pp. 539-548 : « Perspectives cybernétiques en psychologie ». J'aimerais souligner ici une des bornes délimitant ce travail : j'étudie l'informatisation de la psychologie uniquement dans ses branches les plus « biologiques » que sont la psychophysiology et la neuropsychologie. De même, l'important développement de la *cybernétique médicale* dans les années soixante et soixante-dix n'est pas abordé. Remarquons néanmoins des liens entre celle-ci et les neurophysiologistes comme Alfred Fessard qui participa également au colloque français de cybernétique médicale de Nice en 1966 (Barbara J.G., 2007).

cybernéticiens, comme la modélisation mathématique, mais aussi l'analyse statistique et numérique des données électrophysiologiques, notamment de l'EEG, leur permettant d'extraire l'information du bruit<sup>55</sup>.

Si ces neurophysiologistes des années cinquante se méfient de l'analogie cerveau-machine à calculer, elle semblera trouver un terreau plus favorable dans les années quatre-vingt. Ainsi, Suzanne Tyč-Dumont, autre élève du neurophysiologiste Paul Dell, qui ouvrira une nouvelle voie de recherche, l'exploration des liens fonctions-structure tridimensionnelle du neurone à renfort de modélisation mathématique et de simulation numérique, crée en 1982 un laboratoire qu'elle intitulera « laboratoire de neurocybernétique cellulaire » (CNRS-UPR 418)<sup>56</sup>. A la génération suivante, le jeune médecin François Vibert, qui a débuté chez André Hugelin, lui-même autre élève de Paul Dell, effectuera sa carrière dans l'informatique médicale et les *neurosciences computationnelles* dont le paradigme central est justement de considérer le cerveau comme une machine qui calcule, une machine à traiter des informations<sup>57</sup>.

Cependant, la portée du colloque de 1951 en lui-même dans le domaine biomédical est à relativiser. S'il est significatif pour l'historien en temps que marqueur temporel, le fut-il pour les neurophysiologistes eux-mêmes ? Les actes du colloque publiés par le CNRS deux ans plus tard sont diffusés à un millier d'exemplaires. Néanmoins, d'après une lettre de mécontentement datant du 9 janvier 1951, soit quelques jours après le colloque, adressée au directeur du CNRS par le directeur de l'Institut national de l'hygiène, le Pr. Bugnard, « dans le domaine biologique et médical, [...] des oublis fâcheux ont été signalés » : des personnalités scientifiques notables de ce domaine ne furent pas consultées pour l'organisation du colloque. L'implication des neurophysiologistes dans les réflexions cybernéticiennes est limitée. La pensée cybernéticienne et ses outils s'infiltrèrent dans les sciences du cerveau par d'autres voies.

---

<sup>55</sup> Ainsi Norbert Wiener ou encore William Grey Walter, participait à la construction ou construisait des calculateurs pour l'analyse du signal EEG (se reporter à la p.45).

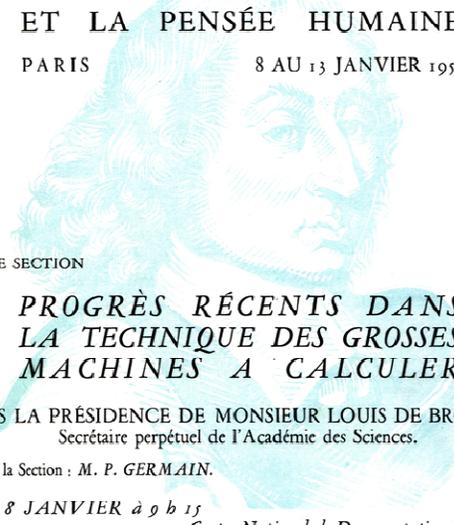
<sup>56</sup> Entretien avec Suzanne Tyč-Dumont en Mars 2010 ; L'histoire de cette audacieuse recherche au long cours est racontée dans deux ouvrages récents (Horcholle-Bossavit & Tyč-Dumont, 2005; Korogod & Tyč-Dumont, 2009).

<sup>57</sup> Entretien avec François Vibert, les 22 décembre 2009 et 2 février 2010.

Dans les deux décennies suivant le colloque de 1951, le terme « cybernétique » se retrouve donc attaché soit aux spéculations sur l'analogie cerveau-ordinateur qui ne sont pas prises au sérieux, soit aux premières utilisations des ordinateurs en neurophysiologie, ces deux sens se recouvrant, parfois à tort. En neurophysiologie cellulaire, il semble se cristalliser en une opposition de fond entre les neurosciences de la chimie qui raisonnent en terme de communication par neurotransmetteurs et les neurosciences de l'électrophysiologie qui raisonnent en terme de circuits électriques, de codage, de structures ou réseaux de neurones. Ces derniers thèmes dont s'emparèrent les cybernéticiens ne sont pas nouveaux pour les neurophysiologistes. Ce qui apparaît renouvelé ou, plus justement, « publicité », est l'approche, notamment la modélisation mathématique et le traitement du signal à la suite des travaux de Claude Elwood Shannon et de Norbet Wiener<sup>58</sup>. Et peut-être est-ce là l'apport majeur de la cybernétique : la cybernétique fut pour les neurophysiologistes l'occasion d'une double rencontre, celle avec des spécialistes de différentes disciplines et celle avec les calculateurs. Ainsi elle participa au renouvellement de leur approche en posant en concept central celui d'*information*, en leur donnant des méthodes et en leur indiquant des instruments pour son application.

COLLOQUES INTERNATIONAUX DU C. N. R. S.  
INSTITUT BLAISE PASCAL

**COLLOQUE INTERNATIONAL**  
“LES MACHINES A CALCULER  
ET LA PENSÉE HUMAINE”  
PARIS 8 AU 13 JANVIER 1951



PREMIÈRE SECTION

**PROGRÈS RÉCENTS DANS  
LA TECHNIQUE DES GROSSES  
MACHINES A CALCULER**

SOUS LA PRÉSIDENTENCE DE MONSIEUR LOUIS DE BROGLIE,  
Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

Secrétaire de la Section : M. P. GERMAIN.

LUNDI 8 JANVIER à 9 h 15  
au Centre National de Documentation Pédagogique.

Ouverture du Colloque : M. G. Dupouy.  
Présentation des travaux de la section : M. Louis de Broglie.  
Report on Mark II, Mark III, Mark IV : H. H. Aiken.  
A magnetic Automatic Calculating Machine : A. D. Booth.  
La machine Zuse de l'École Polytechnique Fédérale de Zurich et son application  
à un problème d'intégration : E. Sriefel.  
Development of Electronical Digital Computers at the National Bureau of  
Standards : E. W. Cannon.  
The Pilot. Model of the National Physical Laboratory Digital Computer (A. C. E.):  
F. M. Colebrook.

**Figure 4 : Extrait du programme du colloque « Les Machines à calculer et la pensée humaine » de 1951**

Les 32 exposés du colloque, dont 15 donnés par des Français, se répartissent en trois sections : 1. « progrès récents dans la technique des grosses machines à calculer » qu'elles soient arithmétiques telles le Mark IV, ou analogiques. 2. « problèmes de mathématiques et de sciences appliquées relevant des grosses machines » abordant la question de la programmation. 3. « Les grosses machines, la logique et la physiologie du système nerveux » présidée par le neurophysiologiste Louis Lopicque. Interviennent des figures majeures de la cybernétique (N. Wiener, W.R. Ashby, W. Grey Walter, W.S. McCulloch... ainsi que des neurophysiologistes et psychophysiologistes français (L. Lopicque, H. Gastaud, P. Chauchard, L. Delpéch). Louis Lopicque avait, pendant la guerre, engagé une réflexion sur ce thème avec le mathématicien et spécialiste des machines à calculer Louis Couffignal, organisateur de ce colloque. Dans un petit encart du journal *Le Monde* publié le 14 janvier suivant, l'on peut lire : « le développement de l'électronique [...] et les progrès de l'EEG [...] ont fait naître une science nouvelle pour laquelle le savant N. Wiener a proposé il y a un peu plus de deux ans le nom de cybernétique... ».

<sup>58</sup> Debru et al., 2008, chap. "Alfred Fessard : regard critique sur la cybernétique" par Jean-Gaël Barbara ; p.135-148.



## 1. L'AUBE DE L'INFORMATIQUE BIOMEDICALE VUE DU CNRS : LA DEMANDE DES SPECIALISTES DU COMPORTEMENT ET DU SYSTEME NERVEUX (DEBUT DES ANNEES 1960)

« L'accent doit être mis sur l'importance d'une conception moderne de la biologie qui fasse appel aux acquisitions mathématiques, physiques et chimiques, les plus récentes sans que soit pour autant perdu le bénéfice des efforts passés, base nécessaire d'une progression logique. »<sup>59</sup>

Nous nous intéressons dans cette première partie aux *zones privilégiées de contact*, à ces parcelles du champ des neurosciences qui constituent des espaces favorables à la pénétration des ordinateurs. Contact entre quoi et quoi ? C'est ce que nous précisons tout au long de cette étude. Nous localiserons ces zones en identifiant les besoins de calcul ainsi que les premières utilisations de calculateurs par les spécialistes du système nerveux et du comportement<sup>60</sup>. Une première approche consiste à repérer les mentions de location ou d'achat de calculateurs ou encore l'utilisation des centres de calcul, dans des rapports d'activité de chercheurs, de laboratoires ou d'organismes de recherche (Inserm et CNRS). Ce qui nous amène à nous interroger sur les différents moyens de calculs disponibles, et donc à suivre leur co-évolution avec la neurophysiologie.

Dans un premier temps, l'analyse des rapports d'activité et de conjoncture du CNRS<sup>61</sup> permet de repérer les demandes de calcul des scientifiques et ainsi d'y situer celles des spécialistes du système nerveux et du comportement. Cependant, présentant le discours officiel de groupes de chercheurs, ces rapports « lissent » les débats internes à ces groupes, n'en livrant au mieux que des traces appauvries. De plus cette approche ne peut prétendre à l'exhaustivité étant donnée que la recherche française ne se réduit pas à l'activité du CNRS (c'est l'exemple même de la génétique quantitative en plein essor à l'Institut national de recherche agronomique (INRA) et très discrète au CNRS. Elle n'aurait donc pas été repérée avec les seuls rapports de

---

<sup>59</sup> Commissariat général du plan d'équipement et de la production et DGRST, rapport pour le Ve Plan (1966-1970), tome 2e, 1966, p.260.

<sup>60</sup> Le terme choisi de « calculateur » est volontairement vaste. Il englobe les « ordinateurs » utilisé ici dans son sens actuel, c'est-à-dire tel que l'a défini John von Neumann dans son article de 1945 (disponible dans une réédition récente : Neumann, 1993) : « *un calculateur électronique numérique à programme enregistré* ». Adopté en 1955 en France, ce terme permet de le distinguer des autres calculateurs : mécaniques, électromécaniques, analogiques (non numériques), numériques mais non programmables ou à programme externe (sur des cartes perforées). Cependant, il n'est pas rare de lire, ou d'entendre encore, le terme *ordinateur* utilisé par des neurophysiologistes, c'est-à-dire des non-spécialistes, pour désigner ces calculateurs.

<sup>61</sup> Publiés par le CNRS depuis 1959, les rapports de conjoncture sont rédigés tous les quatre ans par chaque commission du Comité National. Représentant une discipline ou un ensemble de disciplines particulières, elle y expose les programmes de recherche à développer en priorité et les besoins en investissements (contrairement aux rapports d'activité publiés tous les ans depuis la création du CNRS en 1939).

cet organisme !). Relativisons également l'importance de cette demande, en rappelant que le besoin de calcul des biologistes reste très faible comparé à celui des physiciens, voire des chimistes cristallographes<sup>62</sup>.

Parmi ces documents, le rapport de conjoncture 1963-1964 est particulièrement intéressant en ce qu'il constitue une sorte de manifeste pour l'utilisation de calculateurs dans le vaste secteur des sciences de la vie. Notons que la même demande était exprimée quatre ans plus tôt dans les rapports de conjoncture de 1959 et 1960 de la physique et des mathématiques appliquées<sup>63</sup>. Laissons tout d'abord les spécialistes de la biologie végétale parler au nom de l'ensemble des biologistes :

« Le développement des moyens de calculs automatiques (calcul analogique et numérique) au service des biologistes, serait à favoriser d'urgence. L'obtention très rapide d'enregistrements des variations de nombreux phénomènes n'est généralement pas suivie d'une exploration suffisante, en raison du temps nécessaire à leur dépouillement. [...]. Ces moyens de calcul pourraient être obtenus en deux étapes, comme l'a recommandé la section de Mécanique générale et mathématiques appliquées dans le rapport de 1960<sup>64</sup> :

- dotation des laboratoires intéressés en machines relativement modestes, ainsi que l'a demandé pour son service le laboratoire de photosynthèse du CNRS.
- équipement d'un ou plusieurs services spécialisés pour les biologistes dans les grands centres universitaire de la recherche. »<sup>65</sup>

Des voix s'élèvent également de la commission de physiologie animale, de la part de spécialistes de la neurophysiologie, de la physiologie respiratoire et de la biologie cellulaire (qui recouvre la neurochimie et la neuro-endocrinologie), ainsi que ceux plus axés vers les recherches biomédicales. A travers les rapports du CNRS, les spécialistes du système nerveux et du comportement semblent donc constituer une grande part de la demande de calcul émanant des sciences du vivant, au milieu des années soixante.

Signalons également une demande de calcul venant des généticiens, avec la montée en puissance de la génétique quantitative et de la biométrie dès le début des années soixante, repérée grâce aux archives de la DGRST :

« Aussi bien dans le domaine fondamental que dans celui des applications, les chercheurs doivent faire appel à des méthodes de calcul statistique de plus en plus élaborées, par exemple dans les études de populations végétales, animales ou humaines, dans les recherches sur les interactions génotype-milieu ou sur l'hérédité de caractères dits quantitatifs, ou encore dans la préparation des dispositifs expérimentaux et l'interprétation des résultats obtenus. »<sup>66</sup>

---

<sup>62</sup> C'est ce que montre par exemple Sandra Mols dans sa thèse (Mols, 2006). Il en va de même aux Etats-Unis où les physiciens sont les plus gros consommateurs de calculs, en particulier les cristallographes (November, 2006).

<sup>63</sup> Avant les années soixante, les rares mentions de calculateurs proviennent des mathématiques appliquées, de la physique (cristallographie, spectrographie, astronomie...) et dans une moindre mesure des sciences humaines.

<sup>64</sup> « [...] mais dans les sciences de la vie un phénomène est plus généralement une convergence de multiples causes de natures différentes, et par conséquent, absolument incohérentes, il n'y a pas alors d'autres recours que d'essayer de nombreuses combinaisons. C'est pourquoi le progrès en puissance et en rapidité de calcul automatique est capital ». Commentaire émanant d'une section voisine «Théories physiques, probabilités et applications» (CNRS RA 1960 p.14). Se dessine ici une approche complémentaire à l'approche empirique traditionnelle : la modélisation mathématique.

<sup>65</sup> CNRS RC 1963-1964 de la section de physiologie végétale, p.216. L'idée des centres de calcul communs s'intègre dans une logique de création d'instituts de service et reprend le débat récurrent à la direction du CNRS sur la taille idéale du laboratoire de recherche.

<sup>66</sup> DGRST rapport AC 1965 p.465 (« Application de la génétique »).

Pour répondre à leurs besoins de calcul statistiques, l'INRA a créé dès 1960 un Bureau de génétique et biologie quantitative, dans le service de génétique animale de M. Poly, bureau qui se dote en 1963 d'un ordinateur IBM 1620, pour renforcer les centres de calcul des services de biométrie de l'INRA à Versailles et à Nancy. Depuis sa création, ce bureau a permis le développement de la génétique mathématique théorique (élaboration de concepts sur la relation entre les gènes, modélisation de la répartition et de la diffusion de gènes dans une population, etc. ) et la création de méthodes et de programmes de calcul automatique pour l'analyse de « l'information biologique » (99 travaux en 1964, puis 145 en 1965 effectués tous en génétique et majoritairement à la station de génétique animale de l'INRA). Il a également contribué à former des chercheurs et techniciens aux méthodes biométriques<sup>67</sup>.

### 1.1. La mathématisation de la psychologie : un enjeu disciplinaire

Anticipant le rapprochement de la psychologie et de la neurophysiologie, dépassons tout d'abord les frontières disciplinaires pour entendre la forte demande émanant de la section de psychologie du CNRS. Encore rattachée au secteur des sciences humaines, elle rejoindra le secteur des sciences de la vie lors du redécoupage du Comité national en 1967. En effet, dès la fin des années cinquante, sa progressive mathématisation marquée par son rapprochement avec des mathématiciens, en particulier avec l'Ecole Pratique des Hautes Etudes et l'Institut H. Poincaré<sup>68</sup>, ainsi que par la réforme de l'enseignement universitaire instituant en 1967 un cycle d'étude complet en psychologie où apparaissent des cours de statistiques<sup>69</sup>, conduit la même année à son intégration (discutée) dans le secteur des Sciences de la vie.

Choisissant l'option d'un service commun, les psychologues appellent expressément à la création d'un « bureau de mécanographie et de calcul automatique à Paris » doté « d'un personnel qualifié [...] de formation double, à la fois mathématique et psychologique », permettant ainsi le « développement méthodologique de la discipline »<sup>70</sup>, autrement dit sa mathématisation. La demande de calculateurs se justifie initialement par un gain de temps dans le traitement des données expérimentales, ainsi que par une plus grande puissance d'analyse grâce à l'application d'outils statistiques plus poussés. Progressivement se développe la « psychologie mathématique » reposant sur la modélisation. « Dans certains domaines, les tâches d'inspection, par exemple, des modèles mathématiques s'élaborent ou bien des simulations du sujet sur ordinateur sont progressivement mis en place. »<sup>71</sup>. Plusieurs neurophysiologistes gardent de ce

---

<sup>67</sup> DGRST rapport d'actions concertées de 1965, « Application de la génétique » p.461-480. Cependant la génétique quantitative semble se développer davantage à l'INRA - le rapport de conjoncture du CNRS de 1960 signale que la « Génétiques des populations, partie intégrante de la Génétique quantitative entre naturellement dans la vocation de l'INRA » (p.223) Cependant les archives de l'INRA ne furent pas consultées, mais il semblerait que cette voie particulière que pût prendre l'informatique dans les sciences de vie soit très attachée à une discipline, contrairement au cas du génie biologique et médicale dont elle est absente. Il en va de même pour l'épidémiologie à l'INH puis à l'Inserm qui repose également sur les statistiques (cf. §3.1, p.98).

<sup>68</sup> CNRS RC 1961-1962 p.186.

<sup>69</sup> CNRS RA 1967 p.201.

<sup>70</sup> CNRS RC 1960 p.413.

<sup>71</sup> Commentaire émanant de la section 21 « Psychophysiologie et psychologie » au sujet des recherches en psychologie du travail (CNRS RA 1969 p.247).

développement de la psychologie le souvenir d'un recours exagérément systématique à la modélisation mathématique<sup>72</sup> et d'une obsession pour les statistiques :

« Quand vous faites des études chez l'homme, si vous n'avez pas une batterie de tests statistiques, comment allez-vous tirer quelque chose ? C'est obligatoire mais les stats avaient pris une telle importance que certains en perdaient le sens du problème scientifique ! »<sup>73</sup>.

La commercialisation des premiers mini-ordinateurs « temps réel » au milieu des années soixante, dont le PDP-8 de Digital Equipment est le *best-seller*, offre également la possibilité de piloter automatiquement l'expérience, répondant à un désir pratique d'efficacité et probablement à un idéal d'objectivité où l'expérimentateur n'interfère plus avec le sujet. A titre comparatif, l'informatisation des Sciences Humaines au CNRS s'avère rapidement très organisée, semblant s'inscrire dans un programme de recherche et de développement global<sup>74</sup>.

A la fin des années cinquante, le centre d'études scientifiques de l'homme dirigé par Camille Soula (1918–1963) à Paris avait été l'un des premiers laboratoires des sciences humaines et des sciences de la vie à traiter ses données expérimentales « par des méthodes mécanographiques »<sup>75</sup>. En 1958, le médecin Jean Scherrer (1917-2007) reprenait la direction du centre, devenant quatre plus tard le Laboratoire de physiologie du travail. Depuis 1956, Scherrer dirige concomitamment une unité de neurophysiologie appliquée à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière de Paris dépendant de l'INH puis de l'Inserm<sup>76</sup>. Cette unité est parmi les premières à utiliser des calculateurs en neurophysiologie dans les années soixante.

Mentionnons également, un autre pionnier issu de la psychologie et qui est particulièrement influent : Jacques Paillard (1920–2006), membre de la commission de psychologie du CNRS dans les années cinquante et soixante, qu'il préside lors de son rattachement aux Sciences de la vie en 1967 jusqu'en 1970. Scientifique de renommée internationale, il est l'ardent promoteur de la psychophysiologie, comme en témoigne sa contribution à la création d'un institut « unique au monde, institut de neurosciences avant la lettre »<sup>77</sup> : l'Institut de neurophysiologie et de psychophysiologie (INP) à Marseille en 1963, dont il deviendra le directeur en 1969 et où il introduit les calculateurs.

Les conséquences du changement de secteur de la psychologie sur son informatisation et sur celle de la neurophysiologie restent à étudier. Les points de rencontre entre la psychologie et la neurophysiologie, où se situent les travaux de Jacques Paillard et Jean Scherrer, ont-ils pu faire bénéficier la neurophysiologie d'un programme de recherche promouvant l'informatique dans les Sciences humaines ? La question reste

---

<sup>72</sup> Entretien avec Marc Jeannerod du 22 octobre 2009.

<sup>73</sup> Entretien avec François Clarac du 3 février 2010.

<sup>74</sup> Programme dont témoigne la création d'un centre de calcul dédié aux sciences humaines en 1970, puis, l'année suivante, avec l'apparition de la ligne budgétaire « machines à calculer », d'un investissement financier pour équiper les laboratoires. Un dernier exemple : en 1976 est lancée l'action thématiques programmée « informatique en sciences humaines » (cinq contrats, 709 000 F).

<sup>75</sup> CNRS RA 1958-1959.

<sup>76</sup> En se focalisant sur le programme Génie biologique et médical, seule l'activité de l'unité Inserm fut suivie.

<sup>77</sup> Debru et al., 2008, chap. "La Psychophysiologie" par Vincent Bloch ; p.103-112.

ouverte. Néanmoins, l'exemple de ces deux chercheurs suggère des transferts méthodologiques et techniques sous-jacents à une approche intégrative<sup>78</sup>.

## 1.2. Du traitement automatique des données en (neuro)physiologie à la neurophysiologie théorique

Dans le rapport de 1963-1964, il est frappant de constater que la demande de calculateurs émanant de la section de physiologie provient majoritairement des neurophysiologistes. Notons une demande émanant d'une discipline voisine qu'est la physiologie respiratoire (dont les travaux d'un des pionniers, André Hugelin, se situent à la jonction : la neurophysiologie respiratoire). Le projet de création d'un « centre de coordination des recherches sur le système nerveux » nommé « Institut du cerveau ») émanant du comité d'action concertée « Fonctions et Maladies du Cerveau » de la Délégation Générale de la Recherche Scientifique et Technique (DGRST), sous l'influence du neurophysiologiste Alfred Fessard<sup>79</sup>, est particulièrement éclairant : parmi ses services généraux est proposé un « service de traitement électronique des données » (Figure 5). Ce service doit traiter essentiellement le signal électrique du cerveau, qu'il soit l'indice de l'activité cérébrale globale (électro-encéphalographie), de celle d'un neurone particulier ou de celle d'une assemblée de neurones (électrophysiologie cellulaire).

Neurophysiologie	1966	1967	1968	1969	1970	Total (milliers de francs)	Organismes
Centre de Traitement Elect. des informations							
— Construction		néant					Délégation générale ou C.N.R.S. ou Faculté de Médecine de Paris
— Equipement (calculatrice)		1 200				1 200	
— Fonctionnement	40	40	40	40	40	200	
— Salaires	100	100	100	100	100	500	
— Missions	10	10	10	10	10	50	
						1 850	

**Figure 5 : Budget prévisionnel pour le centre de calcul de l'Institut du Cerveau soumis à la DGRST en 1963**

« L'introduction – que l'on souhaite prudente et coordonnée - des nouvelles techniques d'enregistrement multiple et de traitement automatique des données entraînera des dépenses assez élevées » [CNRS RC 1963-1964 p.133]. Effectivement, à titre de comparaison, le coût du déménagement de l'Institut Marey (reconstruction, équipement et fonctionnement inclus sur la même période) est évalué à 6 200 MF (Ibid. p.134) ; si le centre de calcul lui était rattaché, il lui coûterait à lui seul le tiers de son crédit d'installation tandis qu'un centre de microscopie électronique, plus habituel à l'époque, lui en coûterait 1/5 (1 140 MF, ibid. p.135) !

Le projet de création de l'Institut du Cerveau est en fait bien antérieur, et reprend une proposition d'institut international du cerveau soumise en 1955 par Alfred Fessard, directeur du centre d'études de physiologie nerveuse et d'électrophysiologie au CNRS, à l'Organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la culture (Unesco)<sup>80</sup>. Il témoigne de la conscience aiguë, chez quelques rares scientifiques, de l'existence d'une spécificité des sciences du cerveau pensées comme un entrecroisement de techniques et de

<sup>78</sup> Les biographies synthétiques de Jean Scherrer et de Jacques Paillard sont en cours de rédaction et sont vouées à être incluses dans ce paragraphe. Celles d'autres pionniers sont également envisagées : Alfred Fessard, Paul Dell et Robert Naquet, ainsi que de la génération suivante : André Hugelin, Suzanne Tyč-Dumont, François Etevenon, etc.

<sup>79</sup> Parmi les membres de la commission de physiologie, remarquons la présence d'Alfred Fessard et de Jean Scherrer. Il est vraisemblable qu'ils aient encouragé leurs collègues physiologistes à les imiter.

<sup>80</sup> Je remercie Suzanne Tyč-Dumont de m'avoir signalé ce passionnant projet, document à l'appui, dont j'ai pu suivre ensuite la vie dans les archives de la DGRST et du CNRS.

concepts puisés dans des disciplines diverses : l'interdisciplinarité apparaît comme condition nécessaire à la compréhension des mécanismes de la conscience. Ainsi, Alfred Fessard envisage de doter l'Institut d'une section théorique chargée d'élaborer des statistiques et divers travaux en « psychométrie, en biomathématiques, cybernétiques », soutenue par un bureau de statistique et de calcul.

« Les propriétés d'ensemble de neurones font en outre l'objet de travaux théoriques, qui sont du domaine de la Biophysique mathématique [souligné dans le texte] (école de Rashevsky) et ont de nombreux points communs avec la science plus générale des communications et contrôles, ou Cybernétique (Wiener). Bien que ces tentatives éveillent parfois quelque méfiance de la part des expérimentateurs, il est certain que l'extrême complication des structures cérébrales exige, pour que leurs propriétés cinétiques soient bien analysées, la collaboration d'esprits capables de s'attaquer aux aspects abstraits des problèmes posés ; bref, il y a dès maintenant place pour une Neurophysiologie théorique [idem], dont l'objet principal est évidemment le cerveau. »<sup>81</sup>

Dans le vaste champ des sciences du cerveau, il existe donc une tradition de recherche dite « théorique » à l'interface de la physique et des mathématiques, puisant dans les concepts de la cybernétique et nécessitant l'usage des calculateurs<sup>82</sup>.

### **1.3. Les calculateurs au cœur de la recherche biomédicale : un outil stratégique pour les électro-encéphalographistes**

Mais c'est surtout au sein des recherches médicales que semble se mettre en place une véritable dynamique. En effet, au début des années soixante, les représentants de la section de « Pathologie expérimentale, pharmacodynamie et thérapeutique expérimentale » du CNRS, qui regroupe la « Neuropsychiatrie avec la Neurologie expérimentale, la Psycho-pharmacologie et les théories de l'information »<sup>83</sup> considèrent que :

« le développement de la recherche médicale nécessite, et nécessitera de plus en plus, la possession de moyens d'approche essentiels qui sont, les mathématiques appliquées par l'usage des calculatrices, l'utilisation des statistiques, le traitement de l'information et d'autre part, la technologie, qui requiert le développement et l'organisation d'un véritable « génie médical. »<sup>84</sup>

Ce programme de développement repose donc sur deux piliers désormais inséparables<sup>85</sup> : les mathématiques et la technologie. Le premier, annonçant un changement fondamental dans la manière de résoudre les problèmes par rapport à l'approche expérimentale appelle un investissement dans les moyens de calcul. Le second, annonçant un changement dans les pratiques, appelle à la création d'un corps d'experts, les ingénieurs.

Quelques pages plus loin, revient avec insistance l'importance des calculateurs pour analyser les données expérimentales de la neurologie :

---

<sup>81</sup> Fessard, 1952, pp.4-5.

<sup>82</sup> Toutefois, dans l'état actuel de la présente recherche, seul un historique synthétique du développement de l'électro-encéphalographie quantitative a été proposé (figure 7, p35). L'EEG quantitative constituant un courant beaucoup plus fort qui irriguera aussi bien la recherche que le secteur médical.

<sup>83</sup> CNRS RC 1963-1964 p.220.

<sup>84</sup> CNRS RC 1963-1964 p.221.

<sup>85</sup> Dans ce même rapport est suggéré un projet d'un institut de Génie médical doté de « grands calculateurs à programme », c'est-à-dire d'ordinateurs [CNRS RC 1963-1964 p.231].

« Dans le domaine des recherches neurologiques, les secteurs qui paraissent devoir être actuellement développés sont la neuro-anatomie, la biochimie et l'histochimie nerveuse, la neurophysiologie et la neuropsychologie, la psychopharmacologie et la stéréotaxie. Il semble qu'une priorité globale doive être donnée aussi aux recherches sur le cerveau et qu'il faille développer des procédés de traitement de l'information par les nouvelles méthodes d'analyse comportant le recours aux calculatrices électroniques. »<sup>86</sup>

Probablement l'auteur de ces lignes, qui siège parmi les membres de la commission, est l'électro-encéphalographiste Antoine Rémond, pionnier reconnu de la cartographie cérébrale (ou topographie). Ses recherches intègrent déjà des calculateurs et même un ordinateur depuis 1959.

De plus, il tentera activement de convaincre ses collègues du potentiel des ordinateurs, comme en témoignent les différents groupes qu'il créera tout au long des années soixante et soixante dix (se reporter à sa biographie p.34).

---

<sup>86</sup> CNRS RC 1963-1964 p.230.

**Antoine Rémond** naît en 1917 en Argentine. Son père chimiste lui communique le goût pour les sciences. Fasciné dès sa jeunesse par les ondes cérébrales, ce passionné de technique fabrique son propre électro-encéphalgraphe à la suite d'une visite rendue à Hanz Berger, pionnier de l'EEG chez l'humain. Puis, il rejoint son oncle, le médecin Baudouin, directeur du laboratoire de pathologie à l'hôpital Sainte-Anne et professeur à la faculté de médecine de Paris. Il commence ses études de médecine en 1936 et apprend l'anatomopathologie auprès d'André Hovelacque. Capturé en 1941 à Zuydcoote, il parvient à s'évader et se cache au laboratoire de son oncle où il s'initie à l'expérimentation électro-encéphalographique sur des patients épileptiques auprès du couple Fischgold et découvre la neuro-psycho-chirurgie auprès de Pierre Puech. Renonçant à l'internat, il soutient sa thèse, *Introduction à l'électroencéphalographie*, en 1945. Puis grâce à une bourse du Ministère des Affaires étrangères, il visite les laboratoires américains de Joseph Erlanger, d'Herbert Gasser et de Detlev Bronk chez lequel il travaille pendant un an. Il y rencontre John C. Lilly dont les travaux sur de modélisation physique et topographique de l'EEG en vue de localisations corticales d'activités électriques anormales l'influencent fortement.

De retour en France en 1946, il est recruté au CNRS. L'année suivante à Londres, le premier congrès international d'EEG lui donne l'occasion de rencontrer un pionnier de l'EEG quantitative : Grey Walter ainsi que le pionnier des études sur l'épilepsie en France, Henri Gastaut. En 1948, à la demande de Théophile Alajouanin, cinquième successeur de Charcot à la chaire des maladies du système nerveux, il crée son propre laboratoire : le laboratoire central d'EEG à la Salpêtrière qui, après une division interne, deviendra en 1960 un laboratoire propre au CNRS : le *Laboratoire d'EEG et de neurophysiologie appliquée* ou LENA, qui existe toujours. Concomitamment naît la Société française d'EEG dont Rémond devient le secrétaire. L'année suivante, Gastaut demande à Rémond et Alajouanin d'organiser le deuxième congrès international d'EEG à Paris qui voit naître la Fédération internationale d'EEG. Antoine Rémond gagne peu à peu en influence. Il retourne aux États-Unis en 1951 où il travaille pendant un an avec le neurologue Warren McCulloch connu pour son modèle de neurone formel. Ce dernier

l'introduit aux conférences de cybernétique de la fondation Macy dont il est le président.

A la Salpêtrière, il développe la stéréotaxie humaine, en parallèle des recherches pionnières de Jean Talairach à l'Inserm. Conseillé par ses collègues américains et s'associant au fabricant d'instruments scientifiques Offner, il met au point plusieurs systèmes électromécaniques d'analyse du signal EEG qu'il applique à la localisation de tumeurs et de foyers épileptiques. Puis, s'alignant sur l'orientation des laboratoires d'EEG américains, il est l'un des premiers neurophysiologistes français à opter pour la technologie numérique. Grâce à un de ces gros calculateurs numériques Bull qu'il acquiert en 1959, il développe l'analyse EEG des nappes spatio-temporelles qui est maintenant une méthode couramment employée dans les laboratoires d'imagerie cérébrale.



**Figure 6 : Antoine Rémond (1917-1998) : un pionnier de l'EEG et de l'informatique biomédicale**

Orientant astucieusement ses recherches vers l'étude de personnes à risque, comme les conducteurs de poids lourds, ou les pilotes de ligne, il bénéficie du soutien de la NASA où il participe à la sélection des astronautes du projet Apollo, ainsi que d'Air France et de la Direction des recherches et moyens d'essais du Ministère des Armées (DRME), dont il est consultant. Dans les années soixante-dix, il s'engage dans une nouvelle voie de recherche : le biofeedback thérapeutique, probablement dans la continuité de son intérêt précoce pour la cybernétique.

Convaincu du potentiel des ordinateurs, il s'investit activement dans leur diffusion. Ainsi il fonde le Groupement pour les *Applications de l'Informatique à la Neurophysiologie* en 1966 réunissant régulièrement les spécialistes du domaine, des informaticiens, mathématiciens, physiciens et industriels. Le GAIN fusionnera avec l'Association d'Informatique médicale créée en 1968 par les Pr. Brouet, Hamburger et Castaigne. Il participera également à la création de l'Institut international d'électronique médicale et de génie biologique. C'est également dans un même esprit d'interdisciplinarité qu'au sein du CNRS, il obtient en 1965 le lancement d'une recherche coopérative sur programme « Electrophysiologie expérimentale » (RCP 114). Elle donne naissance en 1967 au Groupe de Recherches d'Electrophysiologie expérimentale et Neurophysiologie Clinique (Gr9) qui, tout au long des années 1970, réunira médecins, neurophysiologistes et psychophysiologistes autour de la technologie informatique.

Les travaux d'Antoine Rémond s'inscrivent dans une tradition de recherche reposant sur l'étude quantitative de l'EEG, tradition qui remonte à sa découverte chez l'humain par Hans Berger en 1929<sup>87</sup> et à l'identification du rythme cérébral « alpha » mesuré lorsque le sujet est au repos. Fascinés par ce phénomène qui varie en fonction de l'activité du sujet, les neurophysiologistes se heurtent aussitôt au problème de son interprétation qui impose le recours à la quantification. Tout d'abord, elle se présente en complément de la simple description visuelle de sa forme globale (caractérisation des tracés par la fréquence et l'amplitude) puis comme un moyen de révéler l'information pertinente caché dans le « bruit » : c'est le programme de « l'EEG quantitative », qui se développe dans les années 1930.

« D'après les données de la littérature, le terme d'*électroencéphalographie quantitative* englobe l'ensemble des procédés métriques applicables à l'EEG. On mesure les fréquences, les tensions, les formes et les multiples rapports, afin de suppléer, par une expression numérique, à la difficulté de définir avec précision l'évolution de l'électro-activité cérébrale, enregistrée sous forme d'une courbe bizarre et compliquée. Le problème est imposé par la nécessité de comparer des EEG différents. Les mesures sont accomplies souvent à l'aide des méthodes imparfaites et même inadéquates. Si la signification physiologique des résultats n'est pas claire, leur interprétation difficile, sinon impossible pour le moment, leur signification pratique paraît par contre évidente : tous les procédés différents aboutissent à des systèmes indicateurs chiffrés, plus ou moins sensibles et caractéristiques des modifications de l'activité cérébrale. Leur utilité, d'une part et, d'autre part, l'énorme complexité du problème de l'EEG justifient, d'emblée, tous ces essais. »<sup>88</sup>

Un problème que souligne ici le neurophysiologiste polonais immigré en France : Zénon de Drohocki est celui de l'impossibilité d'expliquer la genèse de l'EEG - qui n'est jusqu'à ce jour pas encore complètement élucidée. Il constitue un facteur limitant majeur à sa reconnaissance comme technique au sein de la communauté des neurophysiologistes, dominée par l'électrophysiologie unitaire. La transformation d'un phénomène biologique en outil expérimental – le marqueur biologique - ne nécessite donc pas systématiquement sa compréhension élémentaire, pourvu qu'il soit « efficace ». Caractéristique de l'approche empirique, elle heurte les plus réductionnistes qui dénigreront les recherches reposant sur l'EEG<sup>89</sup>. Plusieurs méthodes sont explorées : le « moyennage » consistant à répéter la même stimulation puis à superposer les signaux de réponse et en faire la moyenne, l'analyse de Fourier, l'analyse fréquentielle mécanique ou expérimentale par l'utilisation de filtres oscillants électriques, diverses analyses statistiques (histogrammes, courbes de dispersion, spectres de fréquence, etc.).

---

<sup>87</sup> Avant que Hans Berger ne commença ses travaux dans les années 1920 et que Edgar D. Adrian ne popularisa l'EEG, l'activité électrique cérébrale fut détectée dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle par le médecin anglais Richard Caton, puis par le physiologiste polonais Adolf Beck. Au début du XX<sup>e</sup>, le physiologiste Russe VP Neminsky fut le premier à utiliser les potentiels évoqués (Collura, 1993). En France, l'EEG fut introduit par Alfred Fessard dans les années trente (Durup et Fessard, 1935).

<sup>88</sup> Drohocki, 1946, p. 230. Le comte Zénon Drohocki est l'inventeur de l'électro-spectrographie cérébrale et de la méthode de l'électro-encéphalographie quantitative par intégration des amplitudes du signal EEG redressé. Il conçoit un intégrateur électronique en 1948 (Drohocki, 1948) breveté en 1955 (brevet France CNRS n°143019).

<sup>89</sup> Entretien avec le neurophysiologiste Pierre Etevenon du 3 février 2010. Cette opinion semble partager par la plupart des neurophysiologistes. Je remercie particulièrement Pierre Etevenon pour m'avoir indiqué et mis à disposition les articles de Zénon de Drohocki et de Léonide Goldstein, ainsi que d'avoir critiqué et complété mon travail sur l'EEG quantitative.

Les partisans de l'EEG quantitative sont rares en France : en plus d'Antoine Rémond, mentionnons également le spécialiste de l'épilepsie Henri Gastaut qui utilise et développe l'analyse statistique de l'EEG dès les années quarante<sup>90</sup>, ainsi que, pour la génération suivante, un élève d'Alfred Fessard et du français émigré aux Etats-Unis Léonide Goldstein<sup>91</sup> : l'ingénieur-neurophysiologiste Pierre Etevenon qui introduira les calculateurs numériques chez les Pr. Boissier puis Deniker à l'hôpital psychiatrique Sainte Anne à Paris dès 1967.

Comme le résume la **Figure 7** p.26, l'histoire de l'EEG quantitative met en scène des médecins ou des physiologistes capables de construire leurs propres machines, mais ces compétences en électronique étaient communes chez les électrophysiologistes. S'intéressent également à l'EEG des mathématiciens (e.g. le cybernéticien Norbert Wiener) et des spécialistes de l'ingénierie physique (e.g. Clynes, Baldock, etc.), initiant des collaborations fertiles. L'EEG quantitative ne peut prendre son essor sans le développement de machines électroniques capables d'appliquer automatiquement les méthodes mathématiques dont elle a besoin. Forte de ces méthodes, l'EEG devient un outil expérimental puissant dont s'emparent diverses disciplines des sciences du système nerveux et du cerveau, où elle favorise de nombreux programmes de recherche cliniques ou fondamentaux, caractérisés par l'approche intégrative. Néanmoins, il nous faut relativiser l'essor de l'EEG quantitative dont les partisans restent minoritaires non seulement au sein du groupe des neurophysiologistes dominés par les électrophysiologistes cellulaires, mais aussi parmi les utilisateurs de l'EEG.

---

<sup>90</sup> Cornil L. & Gastaut H., 1945 Cornil L. & Gastaut H., 1945.

<sup>91</sup> Elève du Comte Zénon de Drohocki, Léonide Goldstein est un pionnier de la pharmaco-EEG. En effet, à partir des années cinquante, il développe les techniques d'EEG quantitative pour l'analyse de l'effet de drogues chez les animaux puis chez l'humain, au service de la psychiatrie et de la psychophysologie (Etevenon, 1988).

Figure 7 : Historique synthétique de l'EEG quantitative de 1930 à 1960

**Lire le schéma :**

Les chercheurs :

médecins/physiologistes (bleu)  
physiciens / ingénieurs (vert),  
mathématiciens (rouge)  
cybernéticiens ou proches de la cybernétique (\*)

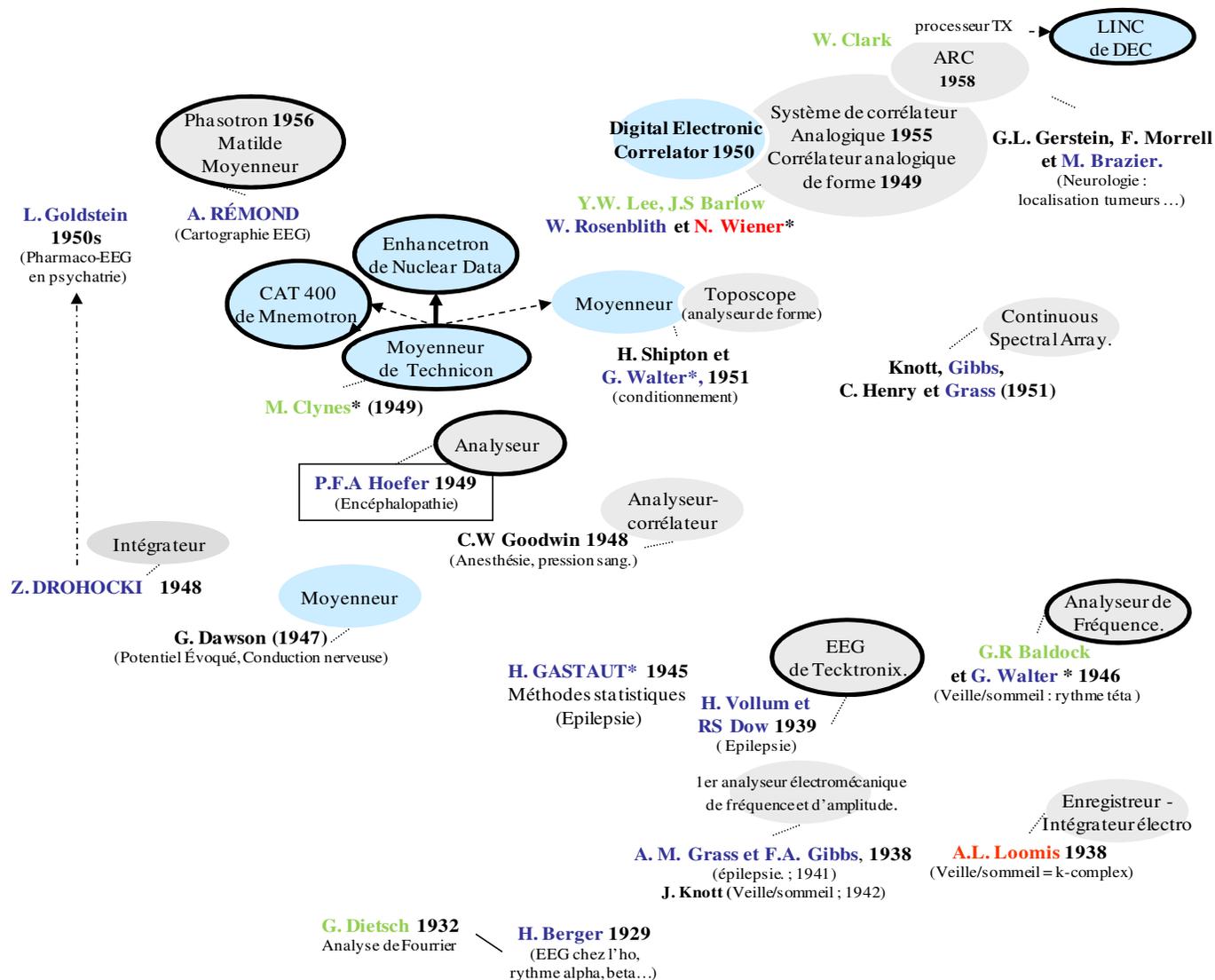
Les machines :

analogiques (gris)  
digitales (bleu clair),  
commercialisées (cercle)

**Les sources utilisées sont :**

Drohocki, Z. (1946).  
Etevenon P. (1977)  
Collura, T. (1993).  
Collura, T. (1995).

Les articles ont été complétés par les entretiens, en particulier ceux avec les électro-encéphalographistes Pierre Etevenon (les 2 et 24 février 2010) et Jacques Martinerie (les 16 novembre et 21 décembre 2009)



#### 1.4. Le modèle américain

**1949-1959** : Premières utilisations des ordinateurs dans les recherches en génétique et dans l'aide au diagnostic médical – méthodes importées de la recherche opérationnelle.

**1949-1955** : Construction de l'*Analog Electronic Correlator* (1949) puis du *Digital Electronic Correlator* (1950) et du *Analog Correlator System* (1955) par l'ingénieur Y.W. Lee et le neurophysiologiste Walter Rosenblith du MIT avec la collaboration du mathématicien Norbert Wiener – application à l'EEG.

**1956** : Tournée des universités américaines, par le directeur de la division des moyens humains de l'US Air Force, pour promouvoir l'utilisation des ordinateurs dans la recherche biomédicale.

**1957** : Symposium sur l'utilisation des ordinateurs en biologie et en médecine.

**1959-1965** : Mise en œuvre d'un programme par le NIH pour informatiser la recherche biomédicale.

**1960-1965** : Développement d'un modèle des mini-ordinateurs : le LINC au Lincoln Laboratory MIT par W. Clark, en communication avec le groupe de Rosenblith (TX\*\*\*, ARC pour l'EEG).

**1964-1966** : Développement du *Dendritic Algorithm* (programme Dendral) à l'interface de l'intelligence artificielle et de la biologie moléculaire : naissance des systèmes experts.

Dans les récits d'acteurs comme dans les rapports, les Etats-Unis apparaissent comme une source d'inspiration : un modèle pour les pratiques scientifiques et pour l'organisation de la recherche biomédicale, ainsi qu'un producteur d'instruments convoités. La thèse de Joseph A. November fournit une analyse détaillée de l'entrée du calcul électronique dans les sciences de la vie américaines au tournant des années soixante.

S'appuyant sur de nombreuses études de cas - parcours individuels, histoires de laboratoires-, nourries par une ample exploitation des archives de laboratoires, d'universités, d'agences de recherche... et par de nombreux entretiens, l'auteur remonte jusqu'aux années quarante pour repérer les premières utilisations d'ordinateurs dans la recherche biomédicale, qu'il suit jusqu'à la fin des années soixante.

L'informatisation de la biologie et de la médecine apparaît comme un processus non évident, dépendant de la convergence de facteurs sociaux, économiques, intellectuels, politiques et technologiques particuliers. Etonnement, la biologie moléculaire, qui nous apparaît aujourd'hui la plus liée à l'informatique, n'eut qu'une importance mineure dans la diffusion précoce des ordinateurs en biologie et médecine. Ce rôle fut occupé par les physiologistes, essentiellement les neurophysiologistes, ainsi que par les psychophysiologistes travaillant notamment sur le système auditif – cela jusqu'au milieu des années soixante-dix. L'histoire du petit ordinateur LINC, né de la synergie entre des concepteurs d'ordinateurs universitaires et des neurophysiologistes, qui inspira le développement des mini-ordinateurs, lui permet de suggérer que la biologie a changé l'informatique.

## **Au commencement de la bio-informatique américaine : la recherche opérationnelle**

De 1949 à 1959, les ordinateurs furent tout d'abord introduits en biologie moléculaire au service de l'exploration de la structure et de la fonction des gènes et des protéines, ainsi que dans le secteur médical pour l'aide au diagnostic.

L'utilisation des ordinateurs ne fut rendue possible que parce que les problèmes biologiques furent « préparés » pour une telle analyse, non par la cybernétique ou la théorie de l'information, mais par les méthodes de la recherche opérationnelle. Née durant la Seconde Guerre Mondiale du besoin de déployer le plus efficacement possible les hommes et le matériel sur le champ de bataille et de rendre plus efficaces les radars et les armes employés dans toutes types de conditions, la recherche opérationnelle utilise abondamment la modélisation mathématique et la simulation numérique. Ces méthodes furent introduites dès les années quarante en biologie et nécessitèrent l'utilisation de calculateurs : via le cristallographe John Kendrew pour modéliser les structures des protéines d'hémoglobine et de myoglobine, via le dentiste mathématicien et ingénieur Robert S. Ledley qui au RNA Tie Club a participé aux tentatives pour casser le code génétique et enfin via le radiobiologiste Lee B. Lusted pour l'analyse automatique des données médicales. Tous eurent ensuite recours aux ordinateurs. D'un point de vue institutionnel, l'agence *Air Research and Development Command (ARDC)* de l'US Air Force, investissant déjà dans les recherches de base en calcul électronique, tente de convaincre les biologistes et les médecins de l'intérêt des ordinateurs en entreprenant une tournée de conférences informelles dans les universités en 1956.

### **Le temps des grands programmes**

#### ***Bio-informatique mathématicienne ou bio-informatique statisticienne ?***

Le symposium sur l'utilisation des ordinateurs en biologie et en médecine, organisé à Washington le 18 janvier 1957 par le *National Academies of Sciences* et le *National Research Council (NAS-NRC)* à la demande l'ARDC (US Air Force), offre un panorama des opinions travaillant la politique de recherche du NIH en gestation. Il révèle deux visions irréconciliables de l'informatisation du secteur biomédical :

- La première, annonçant une révolution épistémologique, est celle des tenants d'une mathématisation préalable de la biologie (c'est par exemple la vision de Howard Aiken ou de Robert S. Ledley. L'on retrouve donc l'influence de la recherche opérationnelle) ;
- La seconde est celle des administrateurs de l'NIH et des statisticiens. Ceux-ci ne voient dans les ordinateurs qu'un outil dont l'utilisation ne changera pas fondamentalement la nature de la recherche en biologie, mais leur permettra simplement d'accélérer les calculs habituels, voire d'en permettre d'autres qui n'auraient pas été réalisés du fait du temps et des efforts exigés. Cette voix

des statisticiens et des administrateurs, dont les retombées sociales sont les plus évidentes, est celle qui sera entendue par les instances fédérales.

### ***1959 à 1965: L'Advisory Committee on Computers in Research du NIH***

En 1959, le NIH dirigé par J. Shannon prend prudemment le relais de l'US Air Force et du NAS-NRS : "In 1959, it gave out roughly \$250,000 for support of computer use, while the much smaller NSF [National Science Foundation] provided \$424,000 for the same kinds of projects"<sup>92</sup>. La gestion de ce budget ainsi que l'évaluation des besoins et des recherches sont confiées au *Advisory Committee on Computers in Research* (ACCR) composé de biostatisticiens et de biomathématiciens. Son programme s'articule en quatre actions :

1. Soutenir les recherches et les aménagements de laboratoires ou de centres.
2. Inciter les universités à proposer des formations en informatique pour les biologistes
3. Inciter les universités à se doter de « centres d'ingénierie biomédicale », dans l'optique de former un nouveau type de scientifique : l'ingénieur biologiste. L'appareil de référence est le LINC<sup>93</sup>.
4. Sensibiliser le milieu médical et universitaire aux ordinateurs par des visites et en finançant des conférences et des réunions de travail.

Ainsi les premières bourses sont attribuées à des services de calcul : *Health Sciences Computing Facility* de l'Université de Californie et de Los Angeles, au laboratoire d'analyse des données du *Brain Research Institute* ainsi qu'au département de psychologie du *Carnegie Institute of Technology* (projet de simulation du traitement de l'information par l'humain). Analysant plus finement l'introduction des ordinateurs dans ces laboratoires, l'auteur remarque qu'il n'y eut pas de changements radicaux d'ordre épistémologique ou institutionnel.

Créé en 1961 sous l'action d'Horace W. Magoun, R. Adey et Mary A. Brazier, le Brain Institute fédère différentes disciplines autour de l'exploration du cerveau. Probablement grâce à Mary Brazier, qui avait travaillé à Cambridge (Massachusetts) sur des ordinateurs dès les années cinquante, l'Institut obtient une bourse de \$290,000 de l'ACCR pour s'équiper en ordinateurs et développer des nouvelles méthodes de recherche pour le traitement des données, essentiellement de l'EEG et dans une moindre mesure de l'activité unitaire.

---

<sup>92</sup> « En 1959, le NIH a peine versé \$250,000 pour soutenir l'utilisation des ordinateurs tandis que la fondation NSF pourtant beaucoup plus petite a délivré \$424,000 pour le même type de projets » (.

<sup>93</sup> November, 2006, p. 199.

Les programmes de recherche reposant sur l'utilisation des ordinateurs sont :

- 1) "Relating electrical events in single nerve fibers to the physicochemical processes that occur in the transmission of the nerve signal"
- 2) "Monitoring electrical events in order to map pathways in the nervous system"
- 3) "Correlating EEG changes in electrical activity with different behavioural of physiological states"
- 4) "Classifying characteristic EEG patterns for clinical diagnosis"
- 5) "Monitoring electrical activity during different stages of sleep, conditioning, and learning"

Les principaux utilisateurs sont le laboratoire de *Clinical Neurophysiology* de Mary Brazier et le *Space Biology Laboratory*<sup>94</sup>. Pour Mary Brazier, les ordinateurs leur permirent d'explorer de vieilles idées (cf. le code neuronal) en permettant une approche statistique jusqu'alors impossible.

Parallèlement, le *Neurosciences Research Program* lancé l'année suivante par F.O Schmitt et soutenu par le MIT, le gouvernement fédéral et des fondations privées poursuit l'unification des sciences du cerveau en pleine explosion. En effet, ce programme de recherche particulièrement intensif renouvelé tous les trois ans et ponctué de colloques réunit nombreux spécialistes du domaine biomédical mais aussi des physiciens, des mathématiciens, des chimistes et des ingénieurs autour de l'étude à différents niveaux d'intégration (cellulaire, cérébral et comportemental) des bases physicochimiques et biophysiques des processus mentaux comme la mémoire, l'apprentissage et la conscience<sup>95</sup>.

### **Le LINC ou la contribution des neurophysiologistes à l'informatique**

En 1960, le concepteur d'ordinateur W. Clark du Lincoln Laboratory du MIT, par l'entremise d'un client physicien passionné de biologie, est introduit dans le *Communications Biophysics Group* (CBL) du neurophysiologiste Walter Rosenblith, directeur du Harvard's Psychoacoustic Laboratory. Ce dernier deviendra le MIT Psychoacoustic Laboratory. Il y rencontre le mathématicien et « cybernéticien » Nibert Wiener et se passionne pour les travaux de Warren McCulloch et Walter Pitts sur la modalisation des neurones. Rosenblith et ses collaborateurs avaient déjà fabriqué leurs propres calculateurs pour traiter les signaux « neuro-électriques » (corrélation du signal EEG avec des potentiels évoqués ; analyse de l'activité neuronale considéré comme un patron de processus aléatoires).

---

<sup>94</sup> 1) Relations entre l'activité électrique des fibres nerveuses et les processus physico-chimiques survenant lors de la transmission du signal nerveux, 2) Enregistrement des activités électriques dans le but de cartographier les voies de signalisation du système nerveux, 3) corrélation entre les variations de l'activité électrique cérébrale (EEG) avec différents états physiologiques et comportementaux, 4) Classification de marqueurs dans l'EEG pour aider au diagnostic médical, 5) Enregistrement de l'activité électrique durant différents états de sommeil, durant un conditionnement et durant un apprentissage .

<sup>95</sup> Chaque programme est publié par Rockefeller University Press à New York, sous le titre général : *The Neurosciences: X<sup>th</sup> Study Program*. Ces publications constituent une source historique d'une grande richesse.

S'engage alors un échange fécond autour de la conception d'un nouveau type d'ordinateur adapté aux besoins des biologistes, c'est-à-dire un ordinateur permettant :

- Le contrôle en temps réel des expériences, du fait de la variabilité du comportement des objets étudiés nécessitant un constant réajustement des paramètres expérimentaux, d'où l'inadaptation des gros centres de calculs multi-utilisateurs.
- La conversion des signaux biologiques, analogiques, en signaux numériques sans artefact, conversion qui pose la question de l'adaptation des problèmes biologiques à l'analyse numérique.
- L'accessibilité pratique des ordinateurs pour les néophytes que sont les biologistes.
- L'accessibilité en terme de coût adapté au budget limité de la « petite » science qu'est encore la recherche biomédicale.

La réponse s'articulera en plusieurs calculateurs : la série des ordinateurs TX\*\*\* et l'*Average Response Computer* (ARC), un calculateur digital conçu spécifiquement pour moyenner les potentiels évoqués cérébraux. L'aboutissement est à un petit ordinateur : le LINC qui servira de modèle aux mini-ordinateurs dont la série des PDP\*\*\* développés par *Digital Corporation Equipment*, qui connaîtront un grand succès commercial.

« The demands of EEG applications have actually been a driving force in the development of computers themselves; indeed, the very roots of modern laboratory computers can be traced to early attempts to automate the acquisition, analysis, and display of EEG data »<sup>96</sup>

Le LINC, né dans l'environnement exceptionnellement riche du MIT, est le véritable signal de départ pour de nombreux laboratoires biomédicaux. S'appuyant sur l'exemple de physiologistes, de psychologues, de généticiens et de neurophysiologistes, l'auteur montre que l'acquisition de cette nouvelle machine recompose à la fois les programmes de recherches, les relations entre les biologistes, leurs mécènes et les fabricants d'instruments scientifiques.

Aux historiens, Joseph November lègue cette question :

“Then there is the problem of the absence of European science (with the notable exception of Kendrew) from this narrative. Why were Europeans relatively hesitant to adopt computer technology when so many of them worked within the same theoretical frameworks as their US based peers and indeed enjoyed support from the same institutions that funded American biocomputing?”<sup>97</sup> “

---

<sup>96</sup> Commentaire extrait d'une revue de synthèse sur l'histoire de l'informatisation de l'EEG (Collura, 1995, p. 1). « La demande des utilisateurs de l'EEG fut une force motrice pour le développement des ordinateurs eux-mêmes ; en effet, les extrêmes origines des ordinateurs modernes des laboratoires peuvent être rattachées à l'automatisation précoce de l'acquisition, de l'analyse et de la visualisation des données électro-encéphalographiques ».

<sup>97</sup> « Cette étude souffre de l'absence de la science européenne (avec l'exception notable de Kendrew). Pourquoi les Européens ont-ils été relativement hésitants à adopter la technologie informatique quand la plupart d'entre eux travaillaient dans un même cadre théorique que leurs collègues américains et plus encore, quand ils profitaient des mêmes institutions qui soutenaient la bio-informatique américaine ? » (November, 2006, p. 22).



Le besoin précoce de calcul émanant des sciences du cerveau et du comportement revêt plusieurs aspects reflétant les particularités des différentes disciplines qui les composent. Il émerge de différentes traditions de recherche à l'interface des sciences du vivant, des sciences humaines, des mathématiques et de la physique, qui se caractérisent par un souci aigu non plus seulement de mesurer, c'est-à-dire d'acquérir des données quantitatives, mais aussi de donner sens à celles-ci par la puissance des représentations mathématiques. Plus encore, l'utilisation des calculateurs prend, dans le cas de l'électro-encéphalographie ou de la psychophysologie, dont les acteurs gardent le souvenir d'une difficile reconnaissance sous le joug des neurophysiologistes cellulaires, l'aspect d'un enjeu disciplinaire.

La manifestation précoce de leurs besoins en calcul et de leurs enjeux ainsi que la pression du modèle américain laissent penser que la communauté des spécialistes du système nerveux et du comportement ne restera pas passive et demandera des budgets spéciaux aux instances dirigeantes de la recherche française. Quelles réponses obtiendront-ils ? Que deviennent par exemple le projet de l'institut du Cerveau et de son centre de calcul ? Et pour l'ensemble des biologistes, le programme de développement proposé par la plus « médicale » de leurs sections se réalisera-il ?



## 2. LA REPONSE DE LA DGRST (A PARTIR DE 1962)

Dans l'enthousiasme de la reconstruction de l'après-guerre, une politique de valorisation et d'expansion de la recherche scientifique française fut initiée sous le bref gouvernement de Mendès France et s'amplifie sous la présidence du général De Gaulle :

**« Les années 1960 restent dans la mémoire des chercheurs comme les années fastes de la recherche scientifique. Les crédits disponibles et les postes de chercheurs comblaient les attentes du milieu scientifique. La France n'est qu'un exemple de cette expansion »<sup>98</sup>.**

Cette période d'abondance pour la recherche est également celle d'un formidable progrès technique. Grâce au progrès en électronique, en particulier dans le domaine de la miniaturisation des composants, les ordinateurs deviennent plus accessibles : réduction de leur taille, de leur coût, augmentation de leur capacité de mémoire et plus grande facilité d'utilisation. Ils gagnent également en puissance de calcul et en fiabilité et deviennent plus polyvalents. Inspirés des derniers-nés des laboratoires du bouillonnant MIT, les mini-ordinateurs recomposent le paysage de l'informatique<sup>99</sup>.

Cependant, si les mini-ordinateurs sont mieux adaptés aux besoins de nombreux scientifiques, leur coût d'achat et de fonctionnement (frais d'entretien, de personnel, etc.) n'est pas négligeable, surtout pour un petit laboratoire de physiologie ou psychologie. Un mini-ordinateur PDP-8 coûte environ 250 000 F lors de sa commercialisation en 1965, soit 1/3 du budget d'équipement de la création d'un laboratoire de neurophysiologie<sup>100</sup>. Ce coût peut même dépasser son budget annuel de fonctionnement<sup>101</sup> ! « L'argent ne fait peut-être pas le bonheur, mais il fait la recherche ! »<sup>102</sup>. Une telle acquisition nécessite donc un budget exceptionnel qu'ont pu offrir des contrats spéciaux avec les organismes de recherche ou avec des agences telle la Délégation générale à la recherche scientifique et technique (DGRST) ou la Direction des recherches et études techniques (DRET), l'ancêtre de l'actuelle Direction des recherches et moyens d'essais du ministère des Armées (DRME)<sup>103</sup>.

---

<sup>98</sup> Ramunni, 2002.

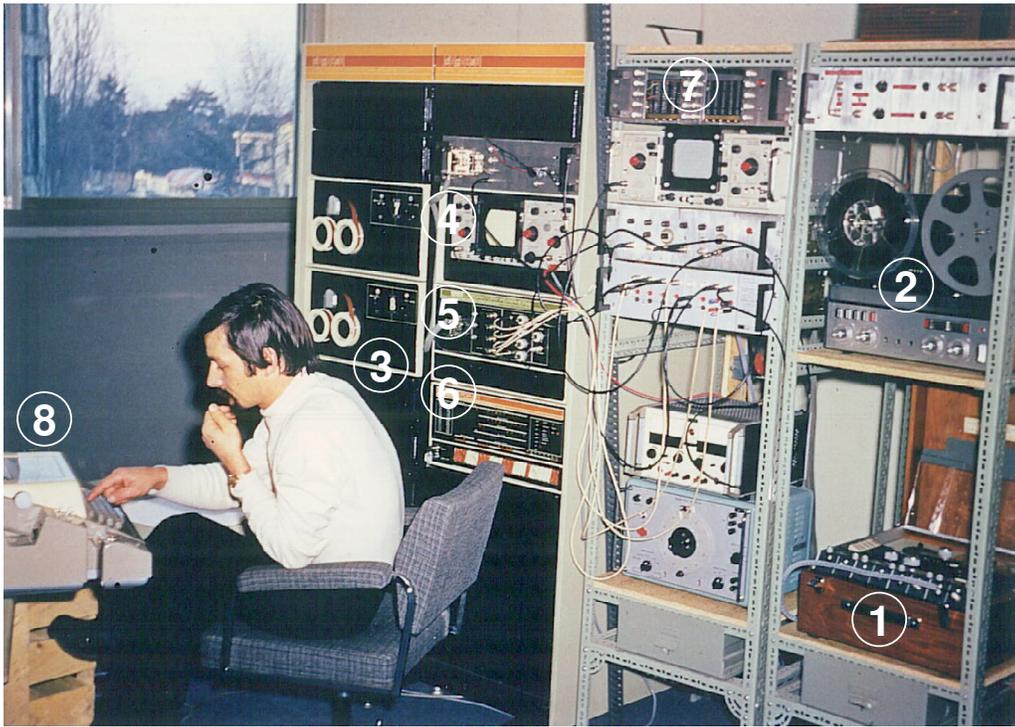
<sup>99</sup> Se reporter à la Figure 8 p.56 pour la photographie du mini-ordinateur PDP-8.

<sup>100</sup> Entretien avec le neurophysiologiste Jacques Pernier du 4 mars 2010; entretien avec les neurophysiologistes Henri Condé et Jean-François Dormont du 2 juillet 2010 ; ce sont les mêmes proportions que pour les heures louées au centre de calcul, dans les prévisions budgétaires du projet de l'Institut du cerveau (p.38).

<sup>101</sup> L'estimation du budget moyen de fonctionnement en 1963 est de 220 000 F pour une équipe du CNRS, de 330 000 F pour un laboratoire propre et de 240 000 F pour un laboratoire de faculté des sciences reconnu par le CNRS (comprenant des techniciens et chercheurs CNRS). Ce budget moyen incluant déjà les crédits extérieurs « classiques » comme ceux de la « Délégation Générale » ou des « Américains » presque les 2/3 ! (Le *Public Health Service* ou la Fondation Rockefeller). Cette estimation est donnée par la section de Chimie-biologie [CNRS RC 1963-1964 p.121].

<sup>102</sup> Formule empruntée au neurophysiologiste Alain Sébille [entretien du 2 février 2010].

<sup>103</sup> Un aperçu de l'inventaire du Centre des archives de l'Armement et du Personnel civil de Châtelleraut révèle plusieurs dizaines de contrats passés avec la DRME au cours des années soixante et soixante-dix. Les thèmes récurrents sont : les niveaux de vigilance, la plongée profonde, la physiologie sensorielle (vision et audition), les neurotoxines ainsi que, plus



**Figure 8 : Installation du système « Lab8 » à l'unité Inserm 94 en 1970**

(Unité de neurophysiologie expérimentale et clinique dirigée par Paul Gerin à Lyon). Commercialisé en 1965 par la firme *Digital Equipment Corporation*, le mini-ordinateur PDP-8 est l'un des premiers ordinateurs à proposer une analyse en temps réel. A titre de comparaison, les *mainframes* alors disponibles comme le Gamma 60 de Bull, pouvaient occuper une pièce entière de 200 à 400 m<sup>2</sup>. Cependant, certains sont plus accessibles aux biologistes tel le Gamma M40 de Bull acquis par l'électro-encéphalographiste Antoine Rémond en 1966 qui occupait une pièce de 15 m<sup>2</sup>, l'unité centrale pesait à elle seule une tonne et plusieurs m<sup>3</sup> de câble étaient tendus sous le plancher ! Les enregistreurs analogiques pour l'EEG (1) ou pour les potentiels d'action (2) sont progressivement remplacés par les bandes magnétiques numériques adressables beaucoup plus fiables et pratiques : les DECTAPES (3) sur lesquels sont également inscrits les programmes (écrits généralement en langage assembleur). Créé en 1970 pour s'adapter aux oscilloscopes (dont on voit l'écran cathodique ici (4)), le périphérique de laboratoire l'AXO8 (5) intègre un convertisseur analogique/digital et permet de piloter le système lab8 dont l'unité central est celle d'un PDP-8L (6) et les différents appareils électroniques (7) (générateurs de signaux et autres dispositifs conçus au laboratoire). Ici, l'informaticien du laboratoire, Jean-François Echallier, tapant sur la télétype ASR33 (8), terminal d'impression et d'écriture des programmes (photo donnée par Jacques Pernier). Entre 1950 (photo p.22) et 1970, le poste d'électrophysiologie s'est « numérisé », induisant une évolution majeure dans les pratiques expérimentales.

---

tardivement, la robotique et l'interface homme/machine. De plus, plusieurs témoins ont mentionné des contrats avec « l'Armée », la « DRET » ou encore « le centre spatial », voire même avec la « NASA », le « CERMA » (Centre d'étude et de recherche médicale aéronautique). En regard du rôle initiateur de la recherche opérationnelle sur l'informatisation des recherches biomédicales aux Etats-Unis, il est possible que les Armées intéressées à la recherche opérationnelle depuis le début des années cinquante, aient précocement encouragé des approches quantitatives et/ou intégratives.

## 2.1. Les actions concertées « Calculateurs » et « Fonctions et maladies du cerveau » (1962)

Pour pouvoir soutenir la recherche scientifique et la piloter, le Comité Consultatif de la Recherche Scientifique et Technique, plus connu sous le nom de « Comité des sages », et la DGRST qui lui est rattachée, furent créés à la fin des années 1950 : « l'organe de conseil et son relais administratif »<sup>104</sup>. Un nouveau système de financement de la recherche inspiré des systèmes anglais et américain visant à inciter et à coordonner les travaux dans des domaines considérés comme prioritaires, est mis en place : ce sont « les actions concertées » (AC). Contrairement au financement classique de la recherche dont la répartition entre secteurs scientifiques est votée chaque année au Parlement, ce mode d'action soutient des projets de recherche publique ou privée d'intérêt public sur le moyen ou le long terme (18 mois à 2 ans renouvelables) et bénéficie d'un budget propre (de 120 millions de francs initialement à plus d'un milliard de francs en 1965).

Une action concertée se veut donc ciblée, fédérative, souple, nationale et temporaire. Elle lie un chercheur nommément par un contrat avec le comité de spécialistes de cette action. S'il permet d'échapper aux règles de l'annualité budgétaire et à de nombreuses rigidités administratives...

«...une contrainte demeure : le programme doit être défini et approuvé à l'avance ; un plan de financement doit être établi sur une période assez longue. Le chercheur est par suite amené à réfléchir dans le détail sur son action avant de l'entreprendre. Cette exigence qui est acceptée couramment dans la recherche appliquée paraît parfois exorbitante en recherche fondamentale. Elle est pourtant souhaitable à une époque où de gros moyens sont mis en œuvre. »<sup>105</sup>

Néanmoins relativisons la capacité d'orientation de la recherche par la DGRST via ses contrats, en insistant sur trois points :

1. Les laboratoires ont généralement d'autres sources de financements ;
2. Le programme de recherche soutenu contient une incertitude inhérente : « la recherche est aléatoire et lorsqu'une autorité décide d'entreprendre ou de confier à un chercheur une étude, elle fait un véritable pari »<sup>106</sup> ;
3. Les chercheurs eux-mêmes peuvent participer à la mise en place et au pilotage des actions concertées.

Nous verrons successivement les actions concertées « Calculateurs » et « Fonctions et maladies du cerveau », lancées au début des années soixante, pour y repérer de premières demandes d'équipement en calculateurs de la part des spécialistes du système nerveux et du comportement. Puis nous verrons comment ces demandes convergent vers l'action concertée « Génie biologique et médical », qui lance un véritable Plan Calcul pour les applications biomédicales.

---

<sup>104</sup> Expression empruntée à F. Jacq (2005). Pour une étude approfondie sur la naissance et le développement des politiques de recherche, se reporter à l'ouvrage collectif (Chatriot & Duclert, 2006).

<sup>105</sup> DGRST rapport AC 1965 p.17-18.

<sup>106</sup> DGRST rapport AC 1965 p.9.

### **2.1.1. L'action concertée « Calculateurs » : la faible voix des biologistes et des médecins**

Le IV<sup>e</sup> Plan gouvernemental pose le « Calcul effectif » et les « Processus électroniques » comme des priorités nationales<sup>107</sup>. La DGRST lance ainsi en 1962 l'action concertée « Electronique » soutenant le développement des semi-conducteurs et celui des calculateurs qui deviennent l'objet d'une action concertée à part entière en 1963. L'action « Calculateurs » a pour but de développer l'informatique en France en soutenant la recherche publique dans ce domaine, en relation avec l'industrie informatique et avec les applications, notamment dans le domaine de l'analyse numérique. Le rapport des actions concertées de 1965 ne fait état que de deux contrats avec la recherche médicale, pour un même projet de « simulation de l'équilibre acido-basique de l'organisme », avec M. Fourquet de la firme Analac (calculateurs analogiques) et du Dr. Nedey du centre médical Foch à Paris. Il fait également mention de trois autres contrats, dont deux pour les sciences de la vie, uniquement en neurophysiologie, et un troisième relevant de la psychologie<sup>108</sup>.

- Avec M. Gastinel du service de mathématiques appliquées de la faculté des sciences de Grenoble pour un projet de traitement numérique des courbes d'EEG.
- Avec M. Martin du laboratoire de biophysique médicale à Nancy pour un projet en neuro-endocrinologie de modélisation mathématique des échanges ioniques de part et d'autres de la membrane neuronale<sup>109</sup>, en collaboration avec le centre de calcul automatique de la même ville dirigé par M. Legras<sup>110</sup>.
- Avec M. Benzécéri du laboratoire de calcul automatique de la faculté des sciences de Rennes pour un projet de simulation sur machines de processus d'apprentissage. Jean-Paul Benzécéri est connu pour ses travaux théoriques en statistiques et probabilité.

Soit seulement 4 contrats pour le secteur biomédical, en excluant celui en psychologie, pour 67 contrats conclus entre 1963 et 1965 ! Remarquons que les projets sur le cerveau ou le comportement prédominent et que les contractants sont des mathématiciens ou des physiciens.

Cette part quasi-négligeable témoigne-t-elle de la relative faiblesse de la demande de ce secteur ? Ou au contraire de l'existence de cette demande, mais qui n'aurait pas sa place dans l'action « Calculateurs » ? Le budget limité dont dispose le comité d'action concertée l'oblige à effectuer des choix. La priorité pour la

---

<sup>107</sup> La planification en France a vu le jour en 1946 à l'initiative de Jean Monnet. Sous la responsabilité du Commissariat général du Plan, elle marque les objectifs à atteindre dans les différents secteurs de la société. Le 4<sup>e</sup> Plan couvre les années 1961 à 1965.

<sup>108</sup> Rapport AC 1965, p.44-45 (cf. note 18 p.10).

<sup>109</sup> Cette recherche s'inscrit à la suite des travaux précurseurs de modélisation de l'activité neuronale des physiologistes, mathématiciens et biophysiciens A. Hodgkin et A. Huxley, W. Rall, J. Eccles, W. McCulloch et W. Pitts... Elle constitue encore un aspect marginal de la neurophysiologie cellulaire.

<sup>110</sup> Contrat n°65.FR.208, 63 960 F pour 26 mois. Une demande de renouvellement sera présentée au comité de l'action concertée GBM, ce qui appuie l'hypothèse d'une continuité entre ces deux actions, discutée plus bas [Arch.nat.19810244 (art 184 à 186)].

jeune communauté informaticienne est évidemment de soutenir ses propres recherches, alors dirigées vers le calcul numérique et la programmation. Plus encore, elle semble vouloir affirmer la distinction entre, d'une part les recherches en calcul ou en informatique, d'autre part les applications relevant du service de calcul. En effet, dans les années cinquante et soixante, les centres de calcul n'étant pas encore différenciés des équipes de recherche, les informaticiens sont assaillis par les demandes et manquent de temps pour leurs recherches et leurs enseignements<sup>111</sup>. Il est donc probable que les informaticiens ne se soient pas contentés de réserver leur budget mais aient incité les biologistes et médecins à gérer eux-mêmes leur propre besoin de calculateurs et de traitement.

### ***2.1.2. L'action concertée « Fonctions et maladies du cerveau » : vers une approche intégrée gourmande de calcul***

Parmi les actions concertées lancée par la DGRST en faveur de la biologie et de la médecine<sup>112</sup>, l'action concertée « Fonctions et maladies du cerveau » constitue un premier pas significatif vers la construction des neurosciences. En effet, « le comité, initialement créé pour la neurophysiologie et la psychopharmacologie, eut pour tâche de recenser, de stimuler, de coordonner et enfin d'orienter les recherches de son domaine qui n'étaient pas véritablement organisées dans notre pays »<sup>113</sup>. Cette action concertée marque le début d'un investissement public considérable et continu dans un domaine voué à une véritable explosion (accroissement du nombre de chercheurs et diversification des thèmes de recherche). Ce sont 8,5 MF qui y sont injectés entre 1961 à 1965<sup>114</sup>. Encourageant initialement les recherche de base sur les structures et sur les mécanismes internes : organisation anatomofonctionnelle du cerveau, mécanismes neurovégétatifs, développement cérébral, etc., elle s'oriente vers une approche plus intégrée en soutenant la recherche appliquée à l'humain dans les centres hospitaliers (en particulier à Paris, Lyon, Marseille et Bordeaux) autour de quelques thèmes prioritaires : « mécanismes de l'émotion et de l'humeur », « acquisition et mémoire », et « vigilance, sommeil et rêve ». Cependant cette réorientation n'est pas suivie par l'ensemble des neurophysiologistes, en particulier ceux de la première approche s'aménageant des contrats « hors thème », révélant une tension entre les tenants de l'approche élémentaire et ceux de l'approche intégrée. Cette action concertée contribue ainsi à tisser des liens forts entre la clinique et la recherche fondamentale, donnant plus de poids aux approches intégrées.

---

<sup>111</sup> Mounier-Kuhn, 2010.

<sup>112</sup> Les sciences de la vie bénéficient de cinq actions concertées sur les douze premières : « Nutrition », « Applications de la génétique », « Cancers et leucémies » et « Biologie moléculaire ». Cette dernière recevant entre 1961 et 1965 le deuxième plus gros budget : 39,3 MF contre 17,7 MF pour les Calculateurs [DGRST rapport AC 1965 p.25].

<sup>113</sup> DGRST, Rapport AC 1965 p.413 ; Présidé par Jean Delay, secondé par Alfred Fessard\*, le comité est composé de 12 membres (H. Baruk, R. Coirault, R. Couteaux, P. Delmas-Marsalet, B. Alpern, L. Revol, JR Boissier\*, P. Deniker\*, H. Gastaut\*, J. Scherrer\*. Ces quatre derniers chercheurs ainsi que Fessard utiliseront précocement les calculateurs électroniques. Il est étonnant de constater l'absence de l'influent EEGiste Antoine Rémond.

<sup>114</sup> A titre indicatif, 2,5 MF furent répartis sur 35 contrats en 1962, soit 70 000 F par contrat. Dans une communauté de chercheurs encore restreinte, ce soutien direct de la DGRST n'est pas négligeable.

Les neurophysiologistes du comité font état de l'émergence de techniques nouvelles qu'ils abordent avec prudence du fait de leur coût élevé.

« Depuis quatre ans d'essais encore insuffisants », une équipe tente « d'exploiter au mieux les méthodes et les appareils les plus modernes du traitement de l'information appliquée à l'analyse des réponses électro-encéphalographiques transcrâniennes du cerveau humain lorsque le sujet est soumis à des stimulations sensorielles de divers natures [la méthode des « potentiels évoqués »] ». Il paraît alors nécessaire « de procéder à des analyses plus élaborées et pour cela d'utiliser les ressources d'un ordinateur de moyenne capacité, après établissement des programmes de traitements appropriés. »<sup>115</sup>

Etonnante réponse qu'est le recours à des méthodes d'analyse encore plus ardues plutôt que la réduction du problème qui serait probablement le réflexe de l'empiriste ! Cette attitude souligne une divergence de fond, dans la manière même d'aborder les problèmes, accentuant vraisemblablement les incompréhensions entre les deux groupes.

Une des actions majeures de la DGRST sur l'aspect clinique de la recherche est également d'inciter à la standardisation et à la rationalisation des pratiques (cf. « codification des essais cliniques »).

### ***2.1.3. L'intégration progressive des calculateurs dans les pratiques***

De nombreux laboratoires en neurophysiologie se dotent de machines pour capter divers signaux simultanément – électriques et chimiques – et les enregistrer : grâce aux polygraphes ou à des fabrications locales comme l'« onigraphe » pour explorer les états de rêves. Plusieurs types de machines électroniques au service de l'analyse sont également acquis : ce sont essentiellement des *moyenneurs* et des *auto-analyseurs*. Ces calculateurs électroniques très spécialisés, sont en grande majorité importés des Etats-Unis, témoignant d'un actif transfert de technologie vers la France<sup>116</sup>. Les versions commercialisées ont d'abord été créées (ou adaptées) dans un atelier électromécanique d'un laboratoire, pour les besoins spécifiques des chercheurs. C'est le cas du moyennneur hybride (à la fois digital et analogique) à mémoire intégrée *Computer Average Transient* (CAT) que le médecin Paul Dell, connu pour ses travaux sur le système neurovégétatif réalisés à l'hôpital Henri Rousselle de Paris, fut l'un des premiers à acquérir au retour d'un séjour aux Etats-Unis<sup>117</sup> ; ou encore du moyennneur digital *Enhancetron*, conçu dans les années cinquante par l'ingénieur Manfred Clynes à l'usage des chimistes, des neurologues et des séismologues, et commercialisé par Nuclear Data de Chicago (Collura, 1995)<sup>118</sup>. C'est également lors d'un séjour aux Etats-Unis que le médecin Paul Gerin avait repéré ce moyennneur dont il a doté son laboratoire lyonnais au début des années soixante<sup>119</sup>.

---

<sup>115</sup> DGRST Rapport AC 1965 p.419.

<sup>116</sup> Ce transfert technologique des Etats-Unis vers la France se traduit par l'importation des techniques d'enregistrements intra et extracellulaires, qui contribua dans les années cinquante au « rattrapage » sur le plan international de la neurophysiologie française (Barbara, 2008).

<sup>117</sup> Se reporter à la note 50 p.21.

<sup>118</sup> Les moyennneurs sont devenus entièrement digitaux quand ils furent réalisés en circuits intégrés.

<sup>119</sup> Histoire de l'unité Inserm 94 p.108.

Quelques firmes françaises se lancent également dans l'aventure, comme Intertechnique en étroite collaboration avec les scientifiques, comme avec le polytechnicien Jean-François Dormont (X1962) et le biologiste Henri Condé, chez Alfred Fessard, pour adapter un auto-analyseur digital au traitement de l'activité unitaire du neurone<sup>120</sup>. Ces calculateurs sont alors l'occasion d'interactions entre le chercheur et l'industriel, occasions rares dans un milieu scientifique encore très fermé aux sciences appliquées et à la technologie<sup>121</sup>. Ou bien de rares chercheurs construisent leurs propres machines, comme Antoine Rémond au service de la cartographie cérébrale par EEG dès les années cinquante<sup>122</sup>. Il développa ainsi une « méthode d'analyse et de traitement intégré des données électro-encéphalographiques » (Matide) basée sur l'injection de molécules radio-actives mise au point avec ses collègues américains<sup>123</sup>, dont le fabricant d'instruments scientifiques Franklin Offner. Puis il a mis au point, avec l'ingénieur André Ripoché, « un appareil d'analyse de phases, un moyennneur du signal électro-encéphalographie ainsi [en 1952] qu'un appareil [analogique] d'analyse de potentiels évoqués, le « Phasotron », dont un modèle commercialisé est acquis par Henri Gastaut à Marseille » pour l'étude de l'épilepsie<sup>124</sup>.

Ainsi apparaît une grande diversité de « tactiques » technologiques dans le choix des calculateurs non programmables : analogiques, digitaux, hybrides mais aussi dans leur acquisition : les importer, les acheter en France ou les fabriquer soi-même... dans autant de combinaisons d'avantages-inconvénients pour le chercheur ! L'ordinateur devient-il une nouvelle voie parmi d'autres dans ce champ des possibles ou s'impose-t-il comme la solution évidente, universelle, aux besoins d'analyse quantitative des chercheurs ?

Un moyen d'accéder aux ordinateurs, à partir des années cinquante, est pour les neurophysiologistes d'utiliser les centres de calcul publics où ils bénéficient d'un tarif préférentiel. Quelques chercheurs utilisent cette possibilité au début des années soixante, dans le cadre du CNRS et des Université. Quant à l'Inserm, ou à son ancêtre l'INH, il propose un centre de calcul autour d'un ordinateur Bull depuis 1960. Mais il est voué principalement aux statistiques en épidémiologie<sup>125</sup>. Réalisant les calculs des scientifiques, les conseillant et parfois les formant<sup>126</sup>, les centres de calcul semblent être le lieu idéal pour

---

<sup>120</sup> Entretien avec J.F Dormont et H. Condé le 1 juillet 2010; thèse de JF. Dormont, 1970.

<sup>121</sup> Les collaborations entre biologistes et industriels tissent les liens d'un réseau étroit en trame de fond de la recherche scientifique, dont l'influence réciproque encore mal connue mériterait une analyse plus approfondie.

<sup>122</sup> Biographie d'Antoine Rémond .p.41.

<sup>123</sup> « John Lilly qui l'initie aux analyses topographiques, Grey Walter pionnier des techniques d'analyse électro-encéphalographique, Warren McCullock utile pour les aspects mathématiques et Franklin Offner pour l'électronique. » (Cherici & Barbara, 2007).

<sup>124</sup> Ibid. note 123.

<sup>125</sup> Se reporter §3.1.1 p.58 au pour l'historique de l'informatique à l'Inserm. Signalons en passant que l'un des fondateurs de l'informatique théorique en France, le mathématicien Schützenberger, a commencé par être médecin et statisticien à l'Organisation mondiale pour la santé à la fin des années quarante.

<sup>126</sup> En 1964, le Centre de calcul analogique de Châtillon-sous-Bagneux, dirigé L. Malavard (ex-Institut Blaise Pascal, CNRS) propose aux laboratoires du CNRS et aux facultés de sciences et de médecine des stages de formation à la programmation, probablement dans l'idée de soulager les informaticiens de la forte demande de calcul.

opérer la transition, entre analogique et numérique, des neurophysiologistes déjà engagés dans la voie de la quantification, voire peut-être pour susciter l'intérêt de leurs collègues envers le calcul, et plus encore pour rapprocher les neurophysiologistes des informaticiens.

Cependant, les témoignages s'accordent en considérant que ces centres sont inadaptés aux besoins des neurophysiologistes et (peut-être pouvons généraliser ?) aux biologistes<sup>127</sup>.

« Le traitement des données analogiques, particulièrement important pour toutes les recherches qui concernaient l'EEG et les potentiels évoqués, était initialement impossible sur la place de Marseille où n'existait aucun moyen de convertir les données analogiques. Les chercheurs du département de Physiologie appliquée, dirigé par Robert Naquet, dont les travaux portaient sur la physiologie du sommeil et sur l'épilepsie, enregistraient leurs données sur des bandes magnétiques analogiques qui étaient envoyées au centre de conversion de la Salpêtrière (Pr Grémy, P. Jutier). Les données converties étaient retournées sur bandes magnétiques numériques au standard IBM 7 pistes. Des différents ordinateurs en service à Marseille, seule la Pallas du centre de calcul de la Faculté des sciences de Marseille Saint-Charles était équipée pour lire ces données grâce à un dérouleur 7 pistes loué par le Dr Régis, de l'équipe Inserm du Pr Henri Gastaut implantée boulevard Sainte-Marguerite à Marseille »<sup>128</sup>

L'on comprend mieux pourquoi parmi les neurophysiologistes, déjà peu nombreux à utiliser des calculateurs, rares sont ceux qui optent pour la solution de l'ordinateur du centre de calcul. Ils sont rebutés par :

- Son caractère chronophage, dû aux allers-retours des données d'un centre à l'autre pour pallier l'absence du matériel adéquat (le convertisseur analogique/digital), ou pour résoudre les problèmes de compatibilité — délais qui s'ajoutent au temps d'attente habituel à l'entrée des centres de calcul déjà saturés majoritairement par les physiciens !
- Son manque de souplesse : dans un laboratoire de biologie, les expériences sont rarement programmables sur plus d'une semaine et se composent souvent au jour le jour au hasard des manipulations, et même pour l'électrophysiologiste au rythme du défilement du signal nerveux sur son oscilloscope !

---

<sup>127</sup> A titre indicatif, la part des biologistes sur l'ensemble des utilisateurs est nulle pour le centre de calcul de Strasbourg en 1970 puis elle est passée à 7% en 1971. Les chimistes et les physiciens (dont 25% pour la physique nucléaire seule) constituent la plus forte demande. Pour le centre CIRCE qui est le Centre de calcul d'Orsay, la part des utilisateurs biologistes est également nulle en 1970 contre 50% pour la physique et l'autre moitié pour la chimie, les mathématiques et les sciences humaines puis elle passe à 3% en 1973. Elle comprend 66 laboratoires et 17 terminaux [CNRS RA 1970, 1971 et 1973].

<sup>128</sup> Correspondance avec Jean-Marie Coquery du 28 janvier 2010.

- Son inadaptation au calcul des neurophysiologistes :

« Je n'ai jamais fait appel à des centres de calcul, conçus pour les "gros calculs", et essentiellement implantés non pas à Gif ou à l'Institut Marey mais à Orsay. Je ne me souviens pas de collègues qui en aient fait usage. En effet à l'époque ils n'étaient pas du tout adaptés à la mesure mais à des calculs selon des équations impliquant une entrée de relativement peu de données (par des cartes perforées sur lesquelles étaient encodés à la main, le programme à exécuter et les données) »<sup>129</sup>.

S'ajoute également une mauvaise connaissance des moyens mis à leur disposition qui accentue l'importance du facteur géographique : la plupart des utilisateurs de calculateurs interrogés n'avaient pas connaissance de l'ensemble des grands centres de calcul qu'ils pouvaient solliciter (et pas seulement pour les chercheurs isolés en Province !).

Les centres de calcul furent-ils des forums d'échanges avec les informaticiens ? La réponse générale est négative. Furent-ils au moins des lieux de formation ? Pas plus : la plupart des biologistes apprirent plutôt à programmer « sur le tas » : dans des livres ou auprès de collègues auxquels ils rendaient visites ou qui, plus tard, viendront faire un « cours » pour toute une équipe<sup>130</sup>. Cependant, les informaticiens universitaires offrent des formations à la programmation, notamment en Fortran, mais cela ne semble pas avoir eu un grand impact chez les neurophysiologistes. Est-ce les informaticiens qui ne furent pas suffisamment persuasifs ou est-ce les neurophysiologistes qui ne se laissèrent pas suffisamment persuader ?

Les gros ordinateurs qui ne sont accessibles que dans les centres de calcul des organismes publics ou dans des laboratoires de disciplines voisines (la physique) sont donc peu praticables<sup>131</sup>. Peut-être ont-ils même contribué à donner une image négative des ordinateurs, jusqu'à ce que leurs besoins soient spécifiquement pris en compte (le LINC), jusqu'à ce que la commercialisation du premier mini-ordinateur PDP-8 en 1965 change les perspectives.

## **2.2. Le programme « Génie biologique et médical » : le lancement de l'informatique biomédicale (1966)**

L'orientation médicale de l'action concertée « Fonctions et maladies du cerveau » témoigne du rapprochement entre recherche et clinique qui préside à l'émergence de la recherche biomédicale.

Cependant Jean-Paul Gaudillière fait remonter la construction de la recherche biomédicale à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, avec l'expérimentation clinique qui se poursuit au XIX<sup>e</sup> avec le renouvellement de la

---

<sup>129</sup> Correspondance avec Jacques Stinnakre en avril 2010. Soulignant le même problème, le neurophysiologiste André Hugelin, qui a eu recours à l'ordinateur de collègues astronomes (observatoire de Meudon) précise qu'il y avait souvent des problèmes de langages de programmation [entretien avec André Hugelin le 11 novembre 2009].

<sup>130</sup> C'est par exemple ainsi que bien plus tard, dans les années soixante-dix que le neurophysiologiste François Clarac suivra malgré lui des cours de Fortran, ne ressentant pas le besoin d'utiliser les ordinateurs pour ses propres recherches [entretien avec François Clarac, le 3 février 2010].

<sup>131</sup> Avec l'exception notable du Gamma Tambour de Bull au laboratoire d'Antoine Rémond.

physiologie patronné par Claude Bernard et, au début du XX<sup>e</sup>, par la « révolution Pasteurienne ». A l'issue de la seconde guerre mondiale, l'expansion de l'industrie pharmaceutique et l'implication croissante de l'Etat dans la recherche scientifique favorisent l'essor de la biologie moléculaire : c'est la « molécularisation des savoirs du normal et du pathologique »<sup>132</sup>. La recherche *biomédicale* s'organise<sup>133</sup>. A la fin des années soixante, elle prend un nouveau tournant au nom de sa modernisation : l'informatisation.

### **Le modèle américain vu par les neurophysiologistes français**

A mesure que la communauté biomédicale française s'internationalise, les échanges se densifient par le moyen de colloques internationaux, de sociétés savantes, de stages ou de visites à l'étranger ; les chercheurs prennent l'habitude de s'évaluer par comparaison. Depuis la Seconde Guerre Mondiale les Etats-Unis apparaissent comme la référence. C'est ainsi que de jeunes neurophysiologistes sont envoyés pour se former à la recherche américaine et en ramener du neuf ; des chercheurs confirmés vont eux aussi y renouveler leur inspiration. Durant l'été 1965, le médecin et neurophysiologiste François Grémy, promu depuis peu à la direction du centre de calcul de statistiques de la faculté de médecine de Paris, accompagné de son collègue le polytechnicien suisse Pierre Jutier, parcourt les Etats-Unis. Les deux hommes y recueillent des informations sur les moyens de calcul dont disposent leurs homologues américains, dans le but de définir « les lignes du développement futur de ces moyens dans les laboratoires de neurophysiologie, et plus généralement dans les facultés de médecine »<sup>134</sup>. Ils visitent une vingtaine de sites : centres médicaux, laboratoires, universités dont le *Brain Research Institut* et l'Université de Californie Los Angeles, ainsi que des constructeurs d'ordinateurs dont *Digital Equipment Corporation*. François Grémy assiste également au 7<sup>e</sup> symposium organisé par la firme IBM sur les applications médicales des méthodes de traitement de l'information<sup>135</sup>. Cette manifestation régulière leur révèle l'implication des constructeurs dans l'informatisation du secteur biomédical américain. Le rapport de mission dresse un inventaire des applications des méthodes de traitement de l'information en cours aux Etats-Unis, qu'elles soient au service de la recherche – pour l'analyse des données expérimentales en cardiologie et en neurophysiologie, pour la « simulation mathématiques des fonctions physiologiques » (métabolisme, hérédité), ou pour la gestion des publications, ou qu'elles soient au service direct de la clinique : « surveillance des malades », gestion des dossiers de patients et constitution de bases de données

---

<sup>132</sup> Gaudillière, 2002.

<sup>133</sup> Rappelons quelques étapes significatives dans le rapprochement du milieu médical et de la recherche: la réforme Debré (1958) qui instaure les Centres Hospitaliers et Universitaires (CHU), la transformation de l'Institut national d'hygiène en Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) en 1964, ainsi que la création des unités de recherche associées au CNRS en 1965.

<sup>134</sup> « Rapport de mission aux USA et suggestions pour un centre de calcul de CHU » rédigé François Grémy en décembre 1965 p.1-7. [Arc.Nat.F14256/N°8].

<sup>135</sup> Le premier symposium médical organisé par IBM se tint à Endicott (New-York) en 1959. De manière similaire, la firme Technicon organisa des rencontres annuelles sur les applications des ordinateurs dans les laboratoires biomédicaux à partir de 1965 (Collen, 1986).

médicales. S'y dessinent deux grandes voies de développement : l'informatique au service du biologique et l'informatique au service du médical.

Plus particulièrement, les ordinateurs sont présentés comme des outils nécessaires en neurophysiologie et en cardiologie, pour pouvoir mettre en œuvre les méthodes statistiques ou numériques permettant d'extraire l'information pertinente dans le signal électrique recueilli. Autrement dit, l'utilisation des ordinateurs devient nécessaire pour gérer l'abondance et la complexité des données expérimentales – elles-mêmes produites par des instruments et des capteurs qui ne cessent de se perfectionner pour répondre à des questionnements de plus en plus précis et variés.

Le rapport Grémy n'envisage le déploiement de l'outil informatique qu'à travers le centre de calcul. Il en décrit l'organisation idéale :

1. Le centre bénéficierait des avancées technologiques les plus récentes aux Etats-Unis, notamment le traitement de l'information en temps réel et la mise en réseaux des calculateurs.
2. Le centre regrouperait les personnes compétentes dans les domaines biomédical et informatique, travaillant à l'élaboration des programmes pour leurs collègues et gérant les ordinateurs.

Apparaît ici un nouveau profil de scientifique, capable de développer les méthodes mathématiques et les outils informatiques spécifiques à la recherche biomédicale. Cependant, aux yeux des visiteurs, l'informatique biomédicale américaine semble se réduire à ses centres de calculs que gèrent les universités et les centres médicaux. Par conséquent, aucun plan ou programme de développement à l'échelle nationale sur le long terme pour informatiser le secteur biomédical français n'est envisagé par François Grémy, au-delà de la volonté d'asseoir son propre centre à Paris. Ce rapport semble refléter d'abord l'intérêt particulier de son auteur et n'offre donc pas de vision d'ensemble, autrement que par effet d'entraînement à partir de ce centre pilote. De notre point de vue, il confirme le fait que les Etats-Unis sont un modèle et que le groupe des neurophysiologistes est l'un des premiers à envisager et à proposer, par des rapports de mission, les moyens d'informatiser non seulement leur champ de recherche, mais toute la biologie et la médecine. Remarquons également que d'autres références sont régulièrement mentionnées dans les rapports de la DGRST et de l'Inserm : la Suède et dans une moindre mesure la Grande-Bretagne.

## L'ingénierie biomédicale aux Etats-Unis

D'après l'historique dressé par *The Whitaker foundation*, l'agence de financement créée en 1975 pour la soutenir exclusivement, l'ingénierie biomédicale puise son origine dans l'électrophysiologie, avec les travaux de D. Reymond sur l'électricité corporelle au XIX<sup>e</sup> siècle, et se nourrit de l'essor de la biophysique entre les deux guerres mondiales, particulièrement en Allemagne.

Stimulé par le progrès de l'électronique au cours de la Seconde Guerre Mondiale, le *biomedical engineering* émerge aux Etats-Unis grâce au soutien des fondations privées et de constructeurs d'instruments scientifiques. Il se caractérise par l'apparition du statut d'ingénieur biomédical en 1951, accompagné de la mise en place d'une formation académique appropriée, par la création des laboratoires axés sur le développement de méthodes et d'instruments à des fins médicales, ainsi que par l'ouverture de services de centres de « génie biomédical et d'informatique ». Curieusement, *l'International Federation for Medical Electronics and Biological Engineering* est créée en 1959 au cours de la seconde conférence internationale d'ingénierie médicale et biologique, qui réunit physiologistes, médecins et ingénieurs-physiciens... à Paris !

Les applications de ce nouveau domaine vont du traitement du signal biophysique à la conception de prothèses, en passant par la réalisation de greffe.

### Le « retard »

C'est par confrontation avec le modèle américain, accentuée par l'exemple d'autres pays européens comme la Suède ou le Royaume-Uni, que naît l'idée d'un « retard » français. Ce thème devient récurrent dans les rapports d'actions concertées de la DGRST et les discours des intéressés<sup>136</sup>.

En effet, excepté pour la radiologie, très peu de laboratoires publics se consacrent alors au développement de technologies au service de la recherche biologique et médicale. L'ingénieur est encore rare dans les laboratoires et quasiment absent dans les centres médicaux qui manquent donc de personnes compétentes pour mettre au point ou adapter les techniques<sup>137</sup>. Les exemples de collaboration avec des industriels français cités dans le cas de l'instrumentation en neurophysiologie restent marginaux. D'autant plus que l'organisme créé pour soutenir la recherche biomédicale...

« ...l'Inserm, en pleine voie de transformation, n'était pas prêt à lancer de telles collaborations à échelle suffisante de crédits, à partager avec des laboratoires industriels, et a fortiori à soutenir un programme important de recherche technique, d'autant plus que, en dépit de sa croissance récente, il ne disposait pas en nombre suffisant d'un personnel chercheur à polarité technologique, tels les ingénieurs de grandes écoles. »<sup>138</sup>

Réciproquement, peu de constructeurs français d'instruments scientifiques voient dans la recherche et même dans le secteur biomédical un marché intéressant. Les plus familiers sont les firmes comme Alvar

<sup>136</sup> DGRST les rapports AC de 1966 à 1970 ainsi que l'article de François Grémy, "Informatique médicale et recherche," *Revue d'informatique médicale*, vol. 3, n°. 1 (1972): 9-11. Une analyse de l'idée de retard dans la recherche française a été réalisée par Julie Bouchard (2008).

<sup>137</sup> Un suivi des effectifs du personnel pour les sciences du vivant au CNRS et de l'Inserm fut tenté, mais s'est heurté au problème de l'imprécision du statut d'ingénieurs, quant il était distingué du groupe encore plus vague des « ITA » (ingénieurs – techniciens – administratifs) et que des statistiques étaient proposées par secteur disciplinaire. Il y a eu deux problèmes : le premier est que la catégorie des ingénieurs-chercheurs ne regroupe pas uniquement des personnes issues d'écoles d'ingénieurs (électroniciens, chimistes, etc.) ; le second, suggéré par l'étude de parcours individuel de neurophysiologistes, est qu'il existe des ingénieurs de formation qui deviennent chargés de recherche.

<sup>138</sup> Chatriot & Duclert, 2006, chapitre 41 : *Regard sur l'action concertée « Génie biologique et médical »* par Daniel Laurent p.306.

Electronic que les neurophysiologistes connaissent bien – l'électro-encéphalographiste Henri Gastaut en est d'ailleurs le représentant<sup>139</sup>, la Compagnie des Compteurs (absorbée en 1969 par Schlumberger), Alcatel, Électronique Appliquée ou encore la Thomson Medical Telco. Au-delà des limitations budgétaires des organismes et de la frilosité réciproque du secteur public à établir des partenariats avec les industriels, qui expliquent en partie cette pénurie en moyens matériels et humains, la difficile interaction médecin-biologiste, exacerbée par le cloisonnement disciplinaire<sup>140</sup> et par la difficulté de l'industrie française à rivaliser dans ce secteur avec la concurrence étrangère, qui sait tirer parti de la recherche universitaire, rend le milieu biomédical peu perméable aux avancées techniques.

### **Rattraper le retard : les propositions**

Au regard des instances directives et de chercheurs atypiques que nous chercherons à caractériser, il apparaît alors urgent de « moderniser » le secteur biomédical en le dotant de technologies de pointe, en renforçant les moyens humains et le structurant autour de thématiques prioritaires. Ils s'inspirent du *biomedical engineering* américain et probablement du génie chimique qui se développe en France au début des années soixante, lui aussi en important approches et matériels américains<sup>141</sup>. Des spécialistes reconnus de la recherche biomédicale et des experts en automatique et informatique se réunissent en 1965, à la demande du comité des Sages, pour mettre en place un programme de recherche soutenant « la création de nouveaux instruments ou de nouvelles méthodes » pour « renforcer les moyens de la recherche biologique ou médicale »<sup>142</sup>. La présidence est confiée au neurophysiologiste Alfred Fessard. La configuration d'intérêt n'est pas sans évoquer celle de la cybernétique !

---

<sup>139</sup> Entretien avec le neurophysiologiste Pierre Buser du 12 novembre 2009.

<sup>140</sup> Le neurophysiologiste Pierre Buser se souvient que dans les années cinquante « L'atmosphère parisienne était telle que médecins et non médecins se regardaient en chiens de faïence. Par exemple, quand ma femme Arlette Rougeul-Buser, médecin de formation, est arrivée à Marey, elle était regardée comme une bête curieuse ! » mais qu'il en était tout autrement en Province et que cette situation avait rapidement évolué (Entretien du 12 novembre 2009).

<sup>141</sup> Un développement important fut l'automatisation de processus par ordinateurs (cf. raffineries, cimenteries, etc.)

<sup>142</sup> DGRST rapport AC 1967 p.108.

**Figure 9 : Membres du comité GBM à sa création en 1965**  
 (\*membres d'une autre commission scientifique du CNRS ou de l'Inserm)

**1. Membres biologistes ou médecins [Inserm : 33% et CNRS : 22%] :**

Le président Alfred Fessard\* (neurophysiologiste, CNRS), le néphrologue François Morel\* (prof. fac. sciences de Paris, Inserm), André Hugelin (médecin-neurophysiologiste au CNRS, il sera « remplacé », par le neurophysiologiste Michel Imbert), le cardiologue Yves Bouvrain (prof. Fac. de médecine de Paris), le chirurgien Jean-Paul Binet\* (idem), le néphrologue Jean-Louis Funck-Brentano\* (idem).

> A partir de 1968, deux figures importantes apparaîtront : le cardiologue Daniel Laurent\* (idem, il succède à A. Fessard à la présidence du comité en 1970), le biophysicien et cancérologue Maurice Tubiana\* (idem, Inserm).

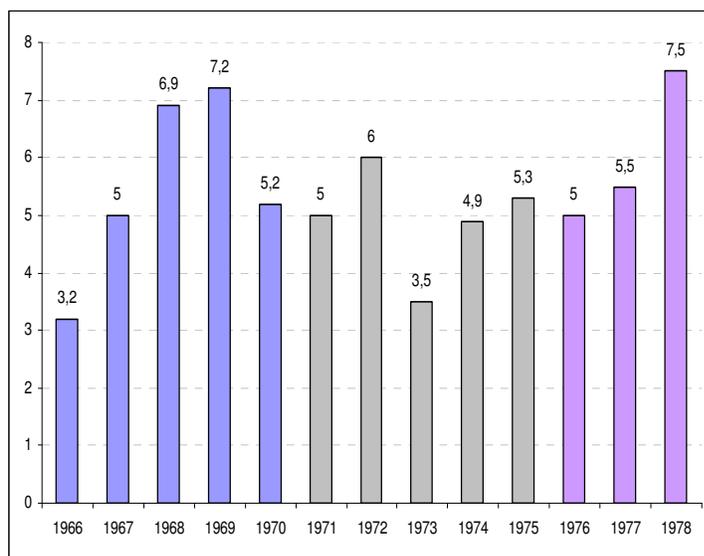
**2. Membres du secteur de l'automatisme et de l'informatique :**

Le vice-président, Gérard Lehmann (pionnier français du radar et des servomécanismes, directeur scientifique de la Compagnie Générale d'Electricité), Henri Boucher (pionnier dans l'utilisation et le développement des calculateurs temps réel dans la Marine, fondateur du Centre de calcul scientifique de l'Armement en 1965), Lous Vadot (ingénieur-conseil de la firme SOGREAH - barrage hydro-électrique).

> A partir de 1968, Yves Lecerf (chargé de mission à la Délégation à l'informatique).

Ce groupe lance dès l'année suivante l'action concertée « Génie biologique et médical ». Prévues pour durer cinq ans, elle sera renouvelée par deux fois dans les années soixante-dix. La DGRST constitue initialement « le seul soutien identifié du génie biologique et médical au plan national »<sup>143</sup> puis reste son principal soutien en y consacrant en moyenne 5 MF par an (Figure 10 ; cf. entre 1960 et 1965 ; une somme de 8 MF par an avait été attribué pour le lancement de la biologie moléculaire).

**Figure 10 : Evolution du budget annuel de l'action concertée «GBM » de 1966 à 1978 (en MF courants)<sup>144</sup>.**



Le financement moyen par contrat s'élevant à 150 000 F, ce qui pouvait permettre aux chercheurs l'achat d'un petit ordinateur de type PDP-11. A titre de comparaison, la somme allouée par le NIH pour son programme d'informatisation du secteur biomédical était d'environ \$ 250 000, soit 1,3 MF pour la première année (1959). Au tournant des années soixante dix, une forte chute du budget alloué au comité GBM est visible, suivie de « coups d'accordéon » budgétaires : elle s'inscrit dans une période de disette générale qui contribue à la réorientation très médicale du GBM et au renforcement des liens avec l'industrie. En 1978, le comité de l'action « GBM » se réorganise : il devient le « comité de coordination du GBM » et se concentre sur la sur l'industrie, un budget de 12 MF est attendu pour l'année suivante.

<sup>143</sup> DGRST, *Progrès scientifique*, N°197, 1978, p.91.

<sup>144</sup> Pour les années 1966 à 1970 : rapport GBM de 1970 [Arch. Nat. P01343], pour les années 1971 à 1975 : PV réunion du 8 sep 75 du comité « GBM » de la DGRST (Arch. Nat. 20060283/art 7).et pour les années 1976 à 1978 : DGRST, *Progrès scientifique*, N°197, 1978.

### **2.2.1. L'informatique au service du traitement du signal**

Après avoir défini les quatre grandes thématiques, le comité se subdivise en autant de commissions et groupes de travail chargés d'évaluer et de suivre les projets de recherche :

- 1 « Méthodes et techniques en cardiologie ».
- 2 « Traitement de l'information ».
- 3 « Applications biologiques et médicales des membranes artificielles »
- 4 « Méthodes et techniques en neurophysiopathologie ».

S'ajoutera en 1967 la thématique « Capteurs », puis trois nouvelles au milieu des années soixante-dix : « Biochimie », « Rayonnements » et « Biomatériaux »<sup>145</sup>. Il est également intéressant de souligner la montée de la thématique du traitement numérique de l'image dans les années soixante-dix, ouvrant sur l'imagerie médicale et pour la recherche ; elle est soutenue par l'action concertée GBM, en synergie avec le CNRS (telles la magnéto-encéphalographie (MEG), l'imagerie par résonance magnétique (IRM), mais aussi au service de la microscopie)<sup>146</sup>. La commission de cardiologie semble être la mieux préparée ou organisée et suscite le plus de projets. Nombreux sont les programmes de recherches qu'elle favorise et qui utilisent l'ordinateur, en particulier pour le traitement de l'électrocardiogramme. Elle connaîtra un fort développement dans les années soixante-dix.

De manière plus générale, le développement de l'informatique médicale est confié à la commission « Traitement de l'information » en liaison « [...] non seulement avec l'action concertée « calculateurs » mais aussi avec la Délégation à l'informatique et l'Inserm. Une politique cohérente prend naissance »<sup>147</sup>. Le champ de compétences de cette commission n'a pas de frontières bien définies : elle reprend par exemple des projets sur le traitement du signal en cardiologie et en neurophysiologie qui pour la plupart utilisent des calculateurs. Au début des années soixante-dix, la commission « Traitement de l'information » ne se consacrera qu'aux projets d'élaboration de dossiers médicaux numériques, ainsi qu'aux centres de calcul hospitaliers dans le cadre d'un « plan national d'équipement des hôpitaux ».

C'est pourquoi une analyse plus fine que celle fournie par le comité en 1975 fut réalisée<sup>148</sup>. L'évaluation initiale des contrats de 1966 à 1971 indique 13 contrats en neurophysiopathologie sur 118 soit 11% de la totalité des contrats<sup>149</sup>. Cependant l'analyse plus détaillée des contrats ayant des

---

<sup>145</sup> PV de la réunion du comité du GBM de mai-juin 1974 (Arch. nat. 20060283/art.7).

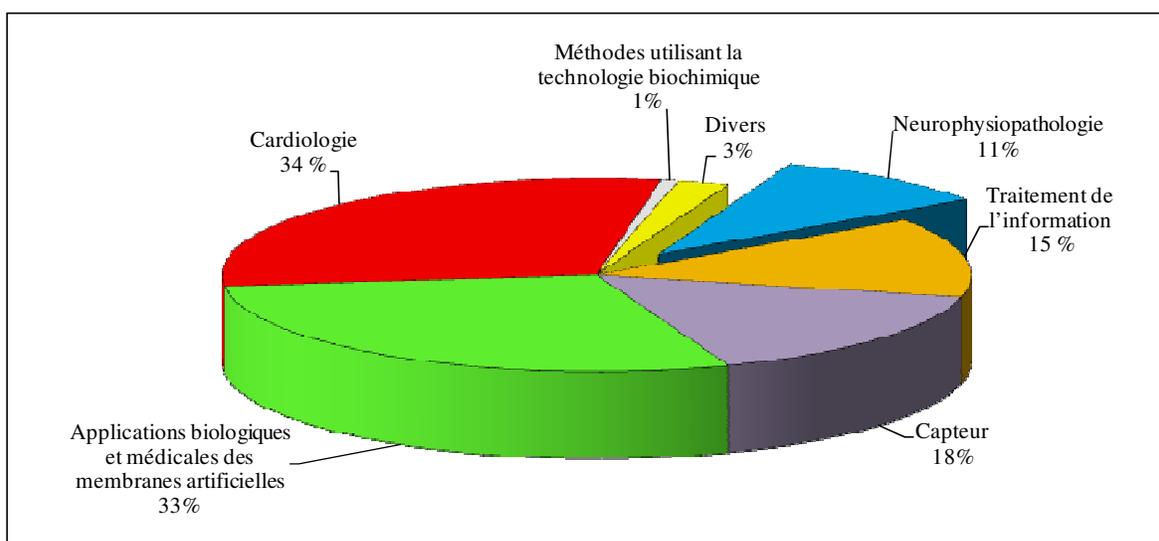
<sup>146</sup> Le CNRS lancera en 1973 une ATP « Traitement, transmission et stockage des images », pilotée par les sections d'électronique et d'informatique ; deux ans plus tard, le comité GBM de la DGRST lancera un appel en six objectifs, dont « Traitement du signal » et « Nouveaux procédés d'analyse et de traitement des images ». Le PV du comité GBM en septembre 1975 rend compte de l'examen d'un projet émanant du labo de microscopie quantitative de Bisconte, concernant « la mise au point des méthodes d'analyse quantitative des images biologiques, en particulier en neurohistologie » (voir note 151).

<sup>147</sup> DGRST, Rapport AC 1967, p.105.

<sup>148</sup> La liste des membres de la commission est présentée dans la Figure 10.

<sup>149</sup> DGRST PV réunion comité GBM du 8 sep 1975 [Arch.Nat.20060283/art 7]. La liste des contrats en « neurosciences » pour 1966 à 1970 ainsi que pour 1971 à 1975 est exposée en annexe.

programmes de recherche en « neurosciences » (donc hors catégories utilisées par le comité) élève ce nombre à 16 contrats. Elle indique que les 2/3 des contrats sont pour des programmes de recherche fondamentale relevant du traitement du signal électrophysiologique et utilisant à cette fin un ordinateur ou un autre type de calculateur électronique. Le contrat passé avec François Grémy en 1968 de la commission « Traitement de l'information » est ainsi comptabilisé. En effet, François Grémy développe des programmes d'analyse de l'EEG et de l'activité unitaire. Néanmoins l'informatique n'a pas le monopole du traitement du signal et d'autres voies techniques sont explorées comme « l'exploration électrophysiologique par variation thermique »<sup>150</sup>. Elle soutient également dans une moindre mesure des réalisations purement techniques (sondes thermiques, capteurs divers, prothèse). Les thèmes récurrents sont ceux de la physiologie sensorielle (audition, vision) et de la psychophysiologie (surtout pour l'EEG). Signalons tout de même un programme de neurophysiologie cellulaire<sup>151</sup>. Enfin, remarquons, qu'il n'y a pas de programmes de recherche en neurochimie ou en neuro-endocrinologie.



**Figure 11 : Répartition par thématique des contrats de l'action concertée « GBM » de 1966 à 1971<sup>152</sup>**

L'action GBM est multiple. Deux catégories sont uniquement dédiées à des disciplines reflétant leur importance dans le développement technologique initial du secteur biomédical : la cardiologie et dans une moindre mesure la neurophysiologie, dont les programmes de recherche nécessitent l'usage de calculateurs électroniques.

La diversité des axes de recherches soutenus par le GBM montre que les membres du comité optèrent pour une stratégie de « dissémination » : il faut toucher l'ensemble des groupes du secteur biomédical, constructeurs potentiels inclus. Dans ce programme de technisation apparaît celui de l'informatisation du

<sup>150</sup> Par le Dr. Dondey du laboratoire de physiologie et psychologie neurochirurgicale et la Société Coderg (c66.00.405). Cette voie, en marge de l'informatique, nous offre-t-elle l'exemple d'une impasse technique ou au contraire d'une voie secondaire féconde ?

<sup>151</sup> Dr. Bisconte et Dr. Marty, du laboratoire de neurophysiologie de la faculté des sciences de Montpellier, en collaboration avec le LETI du CEA de Grenoble : « Méthodologie nouvelle pour l'analyse automatique des informations histologiques et cytologiques : automaticité, détection de la radioactivité, codage numérique, analyse graphique, positionnement, cartographie, calcul numérique (ontogenèse et structure du SNC des mammifères) » (contrat 69.01.974).

<sup>152</sup> PV réunion comité GBM du 8 sep.75 [DGRST Arch.Nat.20060283/art 7].

secteur biomédical. Inversion étonnante en regard de la référence américaine où le développement du *biomedical engineering* ne recoupe qu'un des axes du programme du NIH pour informatiser la recherche biomédicale<sup>153</sup>. Face aux réticences de la communauté biomédicale pour se *moderniser*, les Français coalisèrent un ensemble d'intérêts proches (rapprochés par les nouvelles technologies) mais distincts (informatique, électronique des capteurs, biochimie...), afin de les unir en une action commune pour « faire masse », c'est-à-dire peser suffisamment pour pouvoir mettre en œuvre leurs programmes. Ainsi, les projets d'applications de l'informatique à la biologie et la médecine, jusqu'alors adressés aux actions concertées Calculateur ou Fonctions et pathologies du cerveau, auraient convergé avec d'autres demandes de développements techniques et poussé à la création du GBM.

La présence du neurophysiologiste Alfred Fessard à la tête de la jeune action concertée, ainsi que celle de son collègue neurophysiologiste André Hugelin, témoigne de la pression émanant de la neurophysiologie alors que la demande en nouvelles techniques est encore faible ou absente dans d'autres sciences du vivant. Nous avons vu de quelle nature était cette pression : une demande de calculateurs pour satisfaire les besoins croissants de traitement qu'exige l'application de méthodes mathématiques à l'analyse du signal électrophysiologique. C'est ce que confirme la thématique à part entière consacrée aux recherches en neurophysiopathologie dans l'action GBM, où prédominent les recherches axées sur le traitement automatique des données. Ce constat, s'ajoutant à l'enquête préalable effectuée aux Etats-Unis par le médecin neurophysiologiste François Grémy, renforce l'hypothèse de la contribution des neurophysiologistes au lancement de l'informatisation du secteur biomédical. Poursuivons en l'étayant d'avantage.

---

<sup>153</sup> Se reporter à la thèse de Joseph A. November (résumée au §1.3 p46).

## 2.2.2. Le premier centre de calcul biomédical est créé par les neurophysiologistes

### Historique du centre de calcul de la Pitié-Salpêtrière

**1955** : Projet de l'Institut International du Cerveau doté d'un bureau de statistique et de calcul présenté par Alfred Fessard à l'Unesco.

**1960** : Séjour d'initiation au calcul automatique chez Rosenblatt au MIT (Etats-Unis) du médecin François Grémy envoyé par Alfred Fessard.

**1963** : Projet de l'Institut du Cerveau comprenant un service de traitement électronique des données soumis à la DGRST.

**1964?** Création du Centre de traitement des informations neurophysiologiques\* dirigé par François Grémy sous le tutorat de la faculté de médecine de Paris et la DGRST.

**1965** : Mission de reconnaissance aux Etats-Unis par François Grémy et son collègue Pierre Jutier.

**1967** : Acquisition du mini-ordinateur PDP-10/24 (DEC) financé par le CNRS pour le Centre de biomathématiques ou Centre de calcul et statistique.

**1968** : Centre de calcul et statistique du CHU de la Salpêtrière.

Création de l'unité Inserm 88 « Méthodologie Informatique et Statistique en Médecine » : dirigée par François Grémy (Michel Goldberg lui succède en 1979).

**1969** : Groupe de recherche sur « l'analyse des trains de potentiel d'action ».

**1972** : Séparation administrative du laboratoire Inserm avec le centre de calcul qui devient Centre Inter-Universitaire de calcul de Paris III.

Après l'avoir repéré dans le rêve de « neuroscience » du neurophysiologiste Alfred Fessard dans les années cinquante, le premier centre de calcul dédié aux recherches biomédicales en France voit le jour dans la décennie suivante<sup>154</sup>. Son histoire nous offre un tableau des forces en œuvre sous-tendant l'informatisation du secteur biomédical en y resituant le rôle des neurophysiologistes, du modèle américain et des politiques de recherche.

### *Transfert d'un modèle*

Lorsqu'en 1955 le neurophysiologiste Alfred Fessard présentait à l'Organisation des Nations Unies son projet d'un institut international du cerveau, il dotait ce lieu fédératif d'un bureau de statistique et de calcul, conscient des besoins croissants de calcul qu'exigeraient les nouvelles pratiques qu'il souhaitait voir s'y épanouir<sup>155</sup>. Ce projet ne fut pas retenu. Moins d'une décennie plus tard, il revenait sous la forme d'un « centre de coordination des recherches sur le système nerveux », proposant là encore un « service de traitement électronique des données » dans les projets proposés par le comité de l'action concertée « Fonctions et maladie du cerveau », lancée en 1962 à la DGRST, et dont Alfred Fessard était le vice-président. Là encore, le projet n'aboutit pas, du moins pas complètement.

<sup>154</sup> Le bilan d'activité de l'U88 (1967-1971) présente un historique du centre de calcul, p.10 [Arch. Inserm 9203-160]. Il a été complété par des archives de la DGRST et de l'Insem ainsi que par des entretiens.

<sup>155</sup> Nous avons précédemment mentionné en plus de l'analyse quantitative du signal, l'apparition d'une « neurophysiologie théorique » (cf. §1.2 p.37).

En effet, à défaut d'avoir un nouvel Institut<sup>156</sup>, les neurophysiologistes parisiens bénéficient rapidement d'un « Centre de traitement des informations neurophysiologiques », à la double initiative du Ministère de l'Education et de la DGRST. L'action concertée « Fonctions et maladies du cerveau » constitue un de ses premiers soutiens, sur l'avis favorable de son rapporteur : Alfred Fessard<sup>157</sup>. Implanté à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière pour sa forte tradition en neurologie<sup>158</sup>, le centre de calcul est rattaché administrativement à la faculté de médecine de Paris, devenant un *laboratoire de chaire*.

Le centre se situe alors juste au-dessus de l'unité Inserm n°6 du neurophysiologiste Jean Scherrer. Ce sera un membre de cette unité, François Grémy, qui sera nommé responsable du centre. Encore jeune médecin, il fut encouragé par Alfred Fessard à suivre son exemple<sup>159</sup> : aller prendre l'air vivifiant des laboratoires américains de neurophysiologie pendant quelques semaines. C'est ainsi qu'au début des années soixante, François Grémy fut initié à l'utilisation des ordinateurs chez le père des réseaux neuronaux artificiels, Frank Rosenblatt au MIT<sup>160</sup>. Riche de cette expérience et responsable à son tour d'un centre de calcul, il est envoyé à nouveau aux Etats-Unis en 1965 pour se renseigner sur les moyens de calcul dans la recherche biomédicale à la suite duquel il rédige le rapport que nous avons analysé précédemment. Elément central du programme d'informatisation de la recherche biomédicale, le centre de calcul doit, pour François Grémy, avoir une dimension interdisciplinaire. Ainsi, se dotant de solides connaissances en physique et en mathématiques, il s'investit fortement dans ce centre dont il veut étendre le rayonnement à l'ensemble du secteur médical.

---

<sup>156</sup> L'Institut de neurophysiologie et de psychophysologie de Marseille ouvre ses portes en 1963.

<sup>157</sup> Inserm, RA de l'U88 de 1967 à 1971 p.10 [Arch. Inserm 9203-160]. Dans son rapport, Fessard appuie la demande d'achat d'un mini-ordinateur par le centre en soulignant qu'il y a deux principaux utilisateurs qui l'attendent : les neurophysiologistes Robert Naquet et André Hugelin.

<sup>158</sup> Avec ses médecins célèbres comme Charcot, puis, dans les années cinquante, avec ses spécialistes du langage (problème de l'aphasie) dont Théophile Alajouanin, François Lhermitte ou encore Paul Castaigne. C'est également sur ce site qu'est implanté le laboratoire d'Antoine Rémond.

<sup>159</sup> En effet, le neurophysiologiste Yves Laporte, se souvenant de sa rencontre avec Fessard à St-Louis (Missouri) fin 1945 : « Louis Bugnard et lui-même [Fessard] parcouraient alors les Etats-Unis, visitant de nombreux laboratoires de recherche et services hospitaliers, afin de recueillir toute information scientifique ou technique susceptible d'être utile à la recherche biomédicale dans notre pays » (Debru et al., 2008, chap. "Les débuts de la recherche en neurophysiologie à Toulouse" par Yves Laporte ; p.285-291).

<sup>160</sup> Entretien avec François Grémy du 16 avril 2010.

### *Lieu de rencontres des neurophysiologistes*

Le centre n'acquiert son premier ordinateur qu'en 1967, financé par le CNRS. Du fait de l'environnement immédiat et de la vocation initiale du centre, François Grémy et son assistant, l'ingénieur Marcel Goldberg, travaillent plus spécifiquement à la conversation analogique/digital et au développement de programmes pour le traitement du signal neurophysiologique<sup>161</sup>. Ils collaborent majoritairement avec des neurophysiologistes et des neurologues, avec une prédilection pour la neuropsychologie<sup>162</sup>. Grâce à ces activités, le centre a bénéficié de contrats avec la DGRST, puis plus tard avec l'Inserm et le CNRS<sup>163</sup>.

Au cours de l'année 1969 se constitue un groupe de recherche sur l'analyse des trains de potentiels d'action, qui réunit physiologistes<sup>164</sup> et mathématiciens<sup>165</sup> réfléchissant sur la manière d'intégrer et de traiter des données issues d'enregistrements multi-unitaire. Il ne dure qu'un an.

### *Elargissement des thématiques de recherche*

A la suite des événements de 1968 qui éclatent la faculté de médecine de Paris en dix facultés, le centre de calcul, rebaptisé entre temps « Centre de biomathématiques » devient le « Centre de calcul et statistique » du CHU de la Salpêtrière. Sa situation financière est alors si difficile qu'un refus de soutien du ministère de l'Education nationale compromet son existence. Son sauvetage est réalisé par l'Inserm : Il est transformé en unité Inserm, le groupe 88 « Méthodes informatiques et statistiques en médecine », dans le but affiché de « promouvoir des recherches méthodologiques nouvelles »<sup>166</sup>. Mais à la fin des années soixante, le groupe déplore un manque d'investissement de l'Inserm, « manifestement rebelle aux activités informatiques » le poussant à opter pour une « attitude commerciale » et donc à élargir ses

---

<sup>161</sup> « Par transformée de Fourier, par fonction d'autocorrélation, par spectre croisé, par des statistiques d'amplitude, par des calculs de démodulation complexe, et des outils d'analyse spectrale » [Inserm RA U88 1969]

<sup>162</sup> De 1967 à 1973, les spécialistes du système nerveux et du comportement ayant collaboré avec l'U88 ou eu recours à leur service sont: Chevrie, Dordain et Fernet (psychophysiologie –langage- , U.3 Scherrer), Samsom-Dolfus (Service neurologique de Rouen, ), , Deniker (psychopharmacologie chez l'humain, Paris), Boissier (psychopharmacologie chez le rat, U.19, Paris ), Gerin (électrophysiologie unitaire, corticographie et EEG, épilepsie U94, Lyon), Signoret (neuropsychologie, U84 dir. Lhermitte, -même site - ), Hugelin (neurophysiologie respiratoire, CNRS, Paris), Naquet (épilepsie, Marseille), Pichot du service de neurologique de St Anne (Paris), Boyer, Vidal et Soulayrol à Marseille et Giard et Salmon à Bordeaux sur un programme de recherche sur l'épilepsie avec une approche statistique d'épidémiologie.

<sup>163</sup> DGRST AC « Fonctions et maladies du cerveau » Cr. 66-011, 210 000 FR (1966) ; DGRST AC « GBM » Cr. 66-00-404, 450 000 F « Dépouillement automatique de l'EEG par analyse spectrale complétée avec statistique multidimensionnelle et reconnaissance de forme dans un but de diagnostic automatique (*screening*) » (1966) ; Cr.68.01.436, 21 40 FR et Cr.68.01.973 : 200 000 FR « Traitement information biomédicale » (EEG et PA) (1968) ; CNRS RCP 229 "analyse (automatique) multivariée en médecine (EEG) (1970) ; Inserm ATP « informatique et GBM » 40 000 F ( ? ) « Algorithme d'analyse automatique de l'EEG. Constitution d'une banque de données de tracés normaux de sujets de tous âges pour tester ces algorithmes » (1973) et Inserm ATP « traitement du signal » « Adaptation d'un programme d'analyse temporelle de l'EEG à une exploitation sur mini-ordinateur en laboratoire hospitalier » (1975), mais le projet fut refusé ! .

<sup>164</sup> Mme Benoit chez Scherrer ; Cazard, Ben-Ari (habitation), Szabo (électrorecepteurs de mormyres) chez Fessard ; Mme Tyč-Dumont (motricité oculaire) chez Hugelin, ainsi que Lévy et Caspi du CEA (modèles mathématiques) – au CEA qui possède alors les plus gros centres de calcul d'Europe.

<sup>165</sup> Montrouge, Mme Guillaume, Hanen et Delasnerie.

<sup>166</sup> Inserm RA U88 1967-1971.

services. Il est plus vraisemblable que l'Inserm n'avait tout simplement pas les moyens de financer à elle seule un centre de calcul. De fait une crainte forte de la commission spécialisée GBM qui verra le jour à l'Inserm, et à laquelle participera François Grémy plus tardivement<sup>167</sup>, sera de voir la DGRST se retirer brusquement<sup>168</sup>.

L'unité-centre de calcul regroupe médecins, biologistes et ingénieurs de l'Inserm et du CNRS. Son activité s'articule en trois axes :

- « Le traitement de l'information électrophysiologique », consistant en l'élaboration de programmes d'analyse du signal EEG et EMG (électromyogramme pour le cœur).
- « Les statistiques » : conseils auprès des médecins, programmation sur PDP-10, analyses diverses pour des laboratoires et services hospitaliers, dont des laboratoires de neuropsychologie et des services neurologiques.
- « L'informatique hospitalière » : acquisition des données médicales, gestion de dossiers médicaux, aide à l'installation d'un équipement informatique ou mise en réseau<sup>169</sup>, surveillance des malades et soins intensifs (utilisant entre autre l'EEG), traitement des enquêtes épidémiologiques et constitution de banque de données.

S'ajoute une importante activité de « diffusion » passant par la formation. Dès 1966, des cours de programmation en langage Fortran sont délivrés à la faculté de médecine de la Pitié-Salpêtrière. Selon les responsables, ils auraient été les premiers cours d'informatique proposés par une faculté de médecine en Europe occidentale. En 1968, des cours d'informatique médicale et de mathématiques sont donnés à la faculté des Sciences. Le centre propose également des démonstrations d'utilisation d'ordinateurs. Les publications de manuels<sup>170</sup> ou encore la participation à des colloques<sup>171</sup> assurent également la diffusion de leurs méthodes. Enfin, le centre assure la formation des spécialistes via les thèses qu'y sont réalisés<sup>172</sup>.

Mais la charge du centre de calcul devient trop lourde pour le laboratoire, ce qui conduit à leur séparation. Le centre de calcul passe sous l'autorité de l'Education Nationale et devient le « Centre Inter-Universitaire de calcul de Paris III » en juin 1972<sup>173</sup>, conduisant à un nouveau élargissement de ses

---

<sup>167</sup> Lors de l'apparition du GBM à l'Inserm en 1973, il est lui-même vice-président d'une autre commission scientifique spécialisée en « Santé publique, environnement, écologie, écologie parasitaire, biomathématiques, biostatistiques et épidémiologie » qui fusionnera avec le GBM en 1983.

<sup>168</sup> Inserm RA 1973.

<sup>169</sup> Remarquons une réalisation majeure : la constitution d'un réseau informatique en radiothérapie, s'étendant sur tout le territoire national, appelé « Isodorat » [Inserm RA U88 1971].

<sup>170</sup> Par exemple : Goldberg & Grémy, 1973.

<sup>171</sup> Par exemple : 4<sup>e</sup> congrès de médecine cybernétique de Nice du 19 au 22 septembre 1966, congrès de GBM à Grenoble le 16 septembre 1971, journées d'informatique médicale à Toulouse (1971), congrès d'informatique médicale (mars 1972).

<sup>172</sup> 24 thèses furent réalisées à l'U88 de 1971 à 1978 dont 3 sur des thèmes spécifiques de neurologie et de neuropsychologie [RA 1978].

<sup>173</sup> Cette scission entre le laboratoire et le centre de calcul est générale en informatique au début des années soixante-dix, où se multiplient les centres inter-universitaires nés de la recombinaison des laboratoires d'informaticiens ployant sous la gestion de leur centre de calcul (Mounier-Kuhn, 2010, annexe 4 p.588).

services : génétique, bactériologie, immunologie, etc. Il multiplie également les services aux hôpitaux. En neurophysiologie, les demandes proviennent de moins en moins des laboratoires de neurophysiologie « fondamentale », et plus de services de neurologie ou des recherches à applications médicales directes. Au milieu des années 1970, les recherches et les collaborations à l'U.88 sont exclusivement tournées vers la médecine. François Grémy se fera le héraut de l'informatique médicale. Il ne se considère pas comme un pionnier de l'informatique en neurophysiologie, mais comme un « ouvrier » dans le champ de la médecine<sup>174</sup>.

Ce bref historique du premier centre d'informatique médicale en France montre qu'il est né de l'ouverture précoce de la neurophysiologie aux mathématiques appliquées. C'est grâce à ce rapprochement qu'il pût bénéficier, dans ses premières années, du soutien de certains spécialistes des deux domaines, ainsi que des institutions qui leur étaient favorables, notamment de par leur orientation technique. En retour ce centre produisit et diffusa des méthodes adaptées non seulement à leurs besoins spécifiques mais aussi à l'ensemble de la communauté biomédicale à mesure qu'il élargissait son activité, devenant ainsi le champion de l'informatique médicale.

### ***2.2.3. Le « LINC français » : les spécifications des neurophysiologistes***

#### *La participation des neurophysiologistes*

Le V<sup>e</sup> Plan accentue les efforts consacrés à l'électronique, notamment au domaine des calculateurs : en 1966 est lancé le « Plan Calcul », volonté gouvernementale affichée de développer l'industrie et la recherche en informatique, et plus généralement de stimuler l'informatisation de la société. Il se concrétise par la création la même année de la Délégation à l'informatique, chargée au niveau gouvernemental de piloter le Plan Calcul et d'inciter le secteur public à s'équiper en privilégiant le matériel français. Dans le même esprit sont créés diverses instances chargées d'examiner et d'orienter les demandes d'équipement des administrations, comme le Comité de coordination des équipements électroniques et électromécaniques du Ministère de l'Education nationale. En 1966 également, est constituée la Compagnie internationale pour l'informatique (CII) qui devient le « champion national » des constructeurs d'ordinateurs<sup>175</sup>. L'année suivante l'Institut de recherche en informatique et en automatique (IRIA) voit le jour (elle deviendra l'INRIA, le « N » pour « national », à la fin des années

---

<sup>174</sup> Il fonde ainsi l'*International Medical Informatics Association*, est le co-fondateur d'*European Federation for Medical Informatics* ou encore il participe aux activités de la Commission Européenne consacrées à l'évaluation des technologies de l'information en médecine [Biographie sur le site de l'Institut International de la Recherche en éthique Biomédicale].

<sup>175</sup> Le Plan Calcul prendra fin en 1975 lorsque la CII sera absorbée par Honeywell-Bull, après la suppression de la Délégation à l'informatique dont les pouvoirs seront transmis à la DIELI (ministère de l'industrie).

1970)<sup>176</sup>. La DGRST lui transmettra progressivement la responsabilité de la recherche dans son domaine. Le Plan Calcul revêt donc un triple aspect :

- Politique industrielle, appuyée par une politique d'achats préférentiels en matériels CII ;
- Politique de recherche ;
- Politique d'éducation et d'équipement en informatique.

C'est dans ce contexte que naît le projet de construction d'« un petit ordinateur d'expérimentation en temps réel à l'usage des laboratoires » biologiques et médicaux. Il s'agit de remplacer les machines américaines LINC-8 qui commencent à apparaître dans les demandes de matériel présentées par les chercheurs<sup>177</sup>. Le projet est discuté au comité d'action concertée GBM, récemment créé à la DGRST, sous la présidence du neurophysiologiste Alfred Fessard.

Le projet est transmis à la commission « Traitement de l'information » présidée par Yves Bouvrain, professeur à la faculté de médecine de Paris. En 1967-1968, cette commission est chargée « de définir, par comparaison d'ailleurs avec le LINC-8, divers besoins des usagers médecins et chercheurs et d'intéresser plusieurs constructeurs »<sup>178</sup>. Les biologistes et médecins demandent donc un mini-ordinateur temps réel. Leurs spécifications portent essentiellement sur des périphériques et des interfaces adaptés aux contraintes particulières de leurs expériences telles la compatibilité avec le débit d'information. A titre indicatif, le neurophysiologiste François Grémy indiquait qu'un EEG à 20 dérivation (donc 20 électrodes) transmet 10 000 données numériques par seconde, ce qui, par exemple, surpassait largement les capacités de transmission direct au calculateur sur une ligne téléphonique classique<sup>179</sup>.

---

<sup>176</sup> La consultation des *archives ouvertes* en ligne de l'INRIA (<http://hal.inria.fr/>) ne révèle qu'une étude réalisée dans les années soixante-dix concernant la conception d'un ordinateur et de méthodes de modélisation à l'Ecole Nationale Supérieure d'Electronique et de Radioélectricité de Grenoble dans l'optique de résoudre des problèmes de cinétique chimique en neurobiologie (Brini & Héroult, 1972 puis Brini, Kamarinos, & Viktorovitch, 1974). Dans les années quatre-vingt, les recherches sur le cerveau effectuées à l'INRIA ou en collaboration avec l'INRIA explosent (imagerie cérébrale, modélisation de l'activité d'un neurone ou d'un réseau neuronal).

<sup>177</sup> DGRST Rapport AC 1967 p.111. Parmi ces chercheurs, le neurophysiologiste Jean Scherrer voit sa demande d'achat d'un LINC n'aboutir qu'en 1968 sous la forme d'un PDP-8 !

<sup>178</sup> DGRST Rapport AC 1967 p.111.

<sup>179</sup> « Rapport de mission aux USA et suggestions pour un centre de calcul de CHU » rédigé par François Grémy en décembre 1965 p.1-7 [Arc.Nat.F14256/N°8].

Le psychophysioleste Jean-Marie Coquery, qui travaillait alors chez Jacques Paillard à l'Institut de Neurophysiologie et de Psychophysiology à Marseille, se souvient d'avoir été chargé, avec son collègue le polytechnicien neurophysiologiste Pierre Jutier travaillant alors au centre de calcul de François Grémy, d'établir un rapport sur les quelques projets présentés par des constructeurs :

« Le Plan calcul [...] créa vers 1970-1971 une commission pour le développement d'un ordinateur adapté aux besoins de la biologie, avec une dotation de 10 millions de francs (si ma mémoire est bonne) pour financer la réalisation d'un prototype. Cette commission était présidée par M. Fessard et y participaient entre autres des représentants des différentes armes. J'y participais moi-même comme consultant à la demande de M. Fessard, ainsi que Pierre Jutier, ingénieur de l'École polytechnique fédérale de Zürich et ancien chercheur de son laboratoire. L'un des deux projets (je crois me souvenir qu'un troisième avait été retiré par ses auteurs) soumis pour l'octroi des financements avait été déposé deux jours avant la clôture des appels d'offre par un ingénieur (ancien d'Inter technique me semble-t-il). Ce projet incorporait un élément américain mais, de l'avis de Jutier, de moi-même et d'un autre membre de la commission, il était beaucoup plus conforme aux besoins des biologistes que le second projet présenté par Dassault et qui consistait à adapter un micro-ordinateur construit par sa firme et utilisé pour les essais d'avions. Après débat, la majorité de la commission penchait pour donner l'avantage au projet concurrent de celui de Dassault. Mais le délégué au Plan calcul, Maurice Allègre, estima que le fait de l'avoir déposé 48 heures seulement avant la date limite alors que Dassault avait déposé le sien bien plus tôt, était contraire « à l'éthique des affaires » et disqualifiait sa soumission. Dassault emporta le contrat. Je rencontrai M. Fessard quelque temps après. Il était fâché de s'être fait jouer en apparaissant comme caution d'une attribution qu'il estimait déloyale. Il me dit qu'il veillerait à ce que, en cas de succès, Dassault rembourse les financements reçus comme la loi le prévoit mais comme c'est, paraît-il, rarement le cas. Je ne sais ce qu'il est advenu de ce projet dont je n'ai plus entendu parler. »<sup>180</sup>

Malheureusement, ni le rapport Coquery-Jutier, ni les PV des réunions préparatoires et de la discussion au sein de la commission « Traitement de l'information » n'ont été encore retrouvés ; néanmoins nous pouvons suivre ce projet à travers les rapports d'actions concertée de la DGRST. Ainsi, en 1969, le comité de l'action concertée GBM accorde la somme de 1 143 320 F pour une durée de 18 mois à la société Electronique Marcel Dassault (EMD), spécialisée dans l'instrumentation aéronautique, nucléaire et scientifique<sup>181</sup>. En regard des 111 000 F délivré en moyenne pour un contrat, c'est un investissement lourd que réalise la DGRST. Dassault s'engage à mettre au point un calculateur et ses programmes, ainsi que d'assurer sa commercialisation. Le champion du Plan Calcul, la CII, ne semble pas avoir déposé de projet.

---

<sup>180</sup> Correspondance avec Jean-Marie Coquery du 28 janvier 2010. Psychologue de formation, Jean-Marie Coquery est déjà familier des ordinateurs. En effet en 1964, ce psychologue intéressé par la neurophysiologie (thèse en 1962) fut envoyé par son directeur Jacques Paillard en stage dans le laboratoire de Psychophysiology de John I. Lacey, à Yellow Springs, Ohio (USA) pour se former aux méthodes et techniques de ce laboratoire disposant d'un IBM 1620.

<sup>181</sup> Contrat 69.01.720 [DGRST Rapport AC GBM 1970].

## *Un échec*

Avec un long développement qui prend plusieurs mois de retard, l'équipement *Strada 10* est finalement présenté par EMD. « Commercialisé » pour la forme, il sera très peu vendu. Le rapport de 1970 ne mentionne son implantation que dans un seul site : le service de réanimation de M. Duroux à l'hôpital Laennec à Paris. Considérant que le calculateur répond pourtant bien au cahier des charges, les membres de la commission Traitement de l'information concluent à une « réussite technique et un échec commercial ». Trois facteurs limitants y sont mentionnés :

- Le manque d'intérêt des chercheurs « à acquérir un matériel dont ils n'ont pas trouvé l'utilisation dans la littérature scientifique »<sup>182</sup> ;
- Le manque d'organisation des instances de santé ;
- Le manque d'investissement du constructeur devant un marché peu important.

Néanmoins, nous pouvons nous demander si ce projet ne souffrit pas également de la concurrence ? Lorsque le *Strada 10* est présenté au début des années soixante-dix, DEC occupe solidement le marché avec ses PDP et Data General comme Télémécanique offrent des machines très compétitives (calculateurs Télémécanique T1600 et T2000). S'ajoute en 1972 le mini-ordinateur Mitra-15 de la CII. La firme EMD pût décider que le *Strada* ne s'imposerait pas facilement sur ce marché très concurrentiel, et qu'elle avait rempli son contrat en consacrant l'argent de la DGRST à développer un prototype.

Lorsque la construction d'un calculateur à l'usage des médecins et des biologistes fut envisagé au sein de la commission « Traitement de l'information » de l'action concertée GBM, des neurophysiologistes furent consultés. Non seulement leur avis importait dans ce projet commun, mais leurs collègues biologistes et médecins reconnaissaient leur compétence, acquise bien avant l'action GBM. Ils jouaient en quelque sorte le rôle d'experts-conseils.

Cependant ce projet de construction de calculateur n'apparaît pas comme une volonté d'innover sur le plan technique, mais plutôt de fournir un « LINC français » aux médecins et biologistes pour endiguer, en réponse à une demande croissante, « la colonisation rapide des laboratoires et hôpitaux français par la technologie étrangère, qu'il s'agisse de software ou de hardware »<sup>183</sup>. Hasardons une comparaison entre ce projet *Strada* de la fin des années soixante et le premier micro-ordinateur du monde, le Micral N, qui a

---

<sup>182</sup> Cette considération rejoint le témoignage de la plupart des neurophysiologistes interviewés pour expliquer la méfiance de leurs collègues ou la leur (pour ceux qui n'ont pas à l'époque ressenti le besoin d'utiliser l'ordinateur) pour une technologie qu'ils ne connaissent pas encore par les voies classiques de l'information scientifique (colloques, publications...) et qui n'a pas encore fait ses preuves. L'importance des normes des revues scientifiques dans l'élaboration des critères de scientificité d'une discipline évoluant au rythme des innovations techniques et des découvertes ne semble pas négligeable. Il serait intéressant d'effectuer un suivi dans le temps des critères d'une revue de référence en repérant les commentaires validant ou sanctionnant les propositions de publications de travaux utilisant les calculateurs.

<sup>183</sup> Document 572.GB/R.III, 1970, pour la commission des Sciences de la vie du VI plan : *projet de rapport sur le génie, biomédical, à l'attention du groupe sectoriel n°3*, par François Grémy ? [Arch.Nat.19810244 (art 184 à 186)].

vu le jour en réponse à une demande de l'INRA en 1973<sup>184</sup>. Le Micral serait-il alors, avec le LINC, la seconde contribution majeure des biologistes à l'informatique et qui, cette fois, serait française ?

### *Des facteurs limitants*

L'ordinateur Strada est donc un échec, alors qu'il répond à une demande professionnelle, qu'il bénéficie du soutien financier et politique de la DGRST et qu'il est développé par une grande société d'électronique qui a une certaine expérience dans les petits systèmes embarqués. Il témoigne en fait d'une méconnaissance de l'industrie électronique, de ses mécanismes et aussi de ses contraintes, par le milieu biomédical, y compris par les plus fervents partisans de l'informatique : méconnaissance du temps de développement, du poids de la concurrence, etc. Cette méconnaissance nous donne la mesure de la distance entre ces deux milieux. Distance d'autant plus forte que la majorité du milieu biomédical semble très peu réceptive aux nouvelles technologies et à toute idée de collaboration avec l'industrie, comme nous l'avons mentionné précédemment<sup>185</sup>. Cette réticence apparaît forte et durable, bien qu'elle soit progressivement surmontée : elle reste un sujet de plainte récurrente dans les rapports de la DGRST, jusque dans l'un des plus récents que nous ayons consultés<sup>186</sup>, datant de 1980 ! Cette difficile communication entre industriels et médecins ou biologistes peut expliquer en partie l'impression de la faiblesse des investissements effectués par l'industrie française de l'instrumentation scientifique dans le marché du biomédical, constatée par les acteurs du GBM.

Cette situation est d'autant plus pesante que la politique gouvernementale d'achat préférentiel souligne l'absence - ou l'inadaptation - d'instruments compétitifs. C'est le cas par exemple pour les ordinateurs dans le souvenir des neurophysiologistes, où le Plan Calcul se confond avec l'un de ses aspects qui ne lui est pourtant pas exclusif : l'« acheter français ». En effet, dès les années soixante, les neurophysiologistes, bien que leur demande soit encore relativement faible, se sont heurtés à l'incitation, voire à la quasi-obligation d'acheter des calculateurs français, lorsqu'ils souhaitaient pouvoir choisir selon leurs besoins spécifiques. Les constructeurs français offrent en effet quelques petits ordinateurs comme le CAB500 de la SEA, le PB250 de la SETI ou encore le 10.010 de la CII. Mais ils ne semblent pas convenir aux biologistes.

---

<sup>184</sup> Le Micral N fut développé par François Gernelle de la société R2E à la demande d'un laboratoire de l'INRA. Ce dernier souhaitait un système de mesure et de calcul d'évapotranspiration des sols mais ne pouvait pas s'acheter un PDP-8 ! [Présentations de François Gernelle au 2ème Colloque de l'Histoire de l'Informatique, CNAM, 24 avril 1990 et au 5ème, Toulouse, 29 avril 1999. Disponibles sur le site de l'AHTI : [http://www.ahti.fr/Micral\\_n.htm](http://www.ahti.fr/Micral_n.htm) ].

<sup>185</sup> Voir p.70. pour le développement sur la notion de « retard ».

<sup>186</sup> DGRST, *le progrès scientifique*, N°206-207, 1980 « absence de relations réelles, coopératives et contractuelles entre les industries et les milieux de recherche ou d'utilisation » (p.93).

Ainsi lorsque le jeune médecin et neurophysiologiste Paul Gogan, qui revint en 1965 de son séjour au MIT, où il fut envoyé par son directeur Pierre Buser...

« ... pour s'informer des nouvelles technologies en informatique [...], il [Gogan] conseille d'acheter le système américain avec son système d'exploitation et ses logiciels fonctionnels. Mais le projet échoue car la Compagnie des Compteurs et Thomson doivent mettre sur le marché des ordinateurs français. C'est le moment où le Plan Calcul français est lancé par le Général De Gaulle pour assurer l'indépendance du pays en matière de gros ordinateurs. Dans ce domaine comme dans d'autres champs de recherche, je pense que nous n'avons pas su prendre le tournant de la révolution scientifique qui intervient en Amérique dans les années cinquante et qui fonde la neurobiologie moderne. »<sup>187</sup>.

Certains neurophysiologistes en sont réduits à des manœuvres de contournements fastidieuses, parfois comiques, où intervient le jeu des relations personnelles et des influences. C'est ainsi que le médecin neurophysiologiste André Hugelin, élève de Paul Dell, pour obtenir son PDP à la fin des années soixante s'adresse directement à la direction du CNRS via l'administrateur du département des programmes et moyens, Geneviève Niéva, avec qui il entretenait de bonnes relations<sup>188</sup>. Pour son prochain PDP, il n'hésitera pas non plus, suite à un arrangement avec DEC-France, à effectuer une demande de budget pour un PDP en... pièces détachées ! Probablement pour passer une commande de « circuits électroniques » sans écrire le mot *ordinateur*...

Au tournant des années soixante-dix, le problème s'accroît avec la montée de la demande des biologistes et la commercialisation de mini-ordinateurs français. D'autant plus que la préférence pour les PDP demeure :

« Pour notre premier achat [en 1970], il n'y avait que DEC qui fabriquait des mini-ordinateurs. Il faut voir que DEC est devenu le second fabricant mondial d'ordinateurs après IBM ! Avec les grosses machines de Bull ou de la CII, il fallait avoir du personnel et du matos, des perforateurs de cartes, etc. Elles ne s'utilisaient pas comme les nôtres ! Quand j'ai voulu renouveler mon parc d'ordinateurs [en 1973], je suis allé voir la CII. J'avais toute une série de questions techniques. Chez DEC, les gars qui étaient en face de moi répondaient à toutes mes questions. Une compétence incroyable ! J'allais à la CII, il me regardait avec des yeux « comme ça », ils n'y connaissaient absolument rien ! A mon avis si cette boîte a coulé, c'est parce que l'on rentrait par piston ! Il y avait beaucoup de M. « de » quelque chose. Je n'ai rien contre les nobles, quand il y en a un ou deux, c'est bon, mais plus, vous vous demandez si vous n'êtes pas à Versailles ! En plus, leurs logiciels étaient d'une simplicité rudimentaire... On reculait de dix ans en arrière [<sup>189</sup>] ! Quand j'ai demandé un devis, j'ai sauté au plafond ! Quand ils ont vu ma réaction, ils m'ont demandé « quel est votre budget ? », je leur ai donné le budget d'un PDP-8 et ils m'ont répondu « Vous rigolez ! Que voulez-vous avoir avec ça ? » J'ai répondu : un PDP-8 ou un PDP-11 ! ».<sup>190</sup>

---

<sup>187</sup> Témoignage de Suzanne Tyč-Dumont. Son collègue Paul Gogan, avec qui elle a travaillé tout au long de sa carrière, fréquentait alors assidûment son laboratoire dirigé par Paul Dell (Debru et al., 2008 ; chap. *L'hôpital Henri-Rousselle et son laboratoire de neurophysiologie : années 1950-1969* ; Suzanne Tyč-Dumont ; p.57-66).

<sup>188</sup> Entretien avec André Hugelin du 11 novembre 2009.

<sup>189</sup> Il s'agit sans doute d'un CII 10.010. La CII commercialise en 1972 le Mitra 15, considéré par les informaticiens comme un bon petit ordinateur proposant l'un des *soft\** les plus développés au monde pour l'époque (\*software ou logiciels).

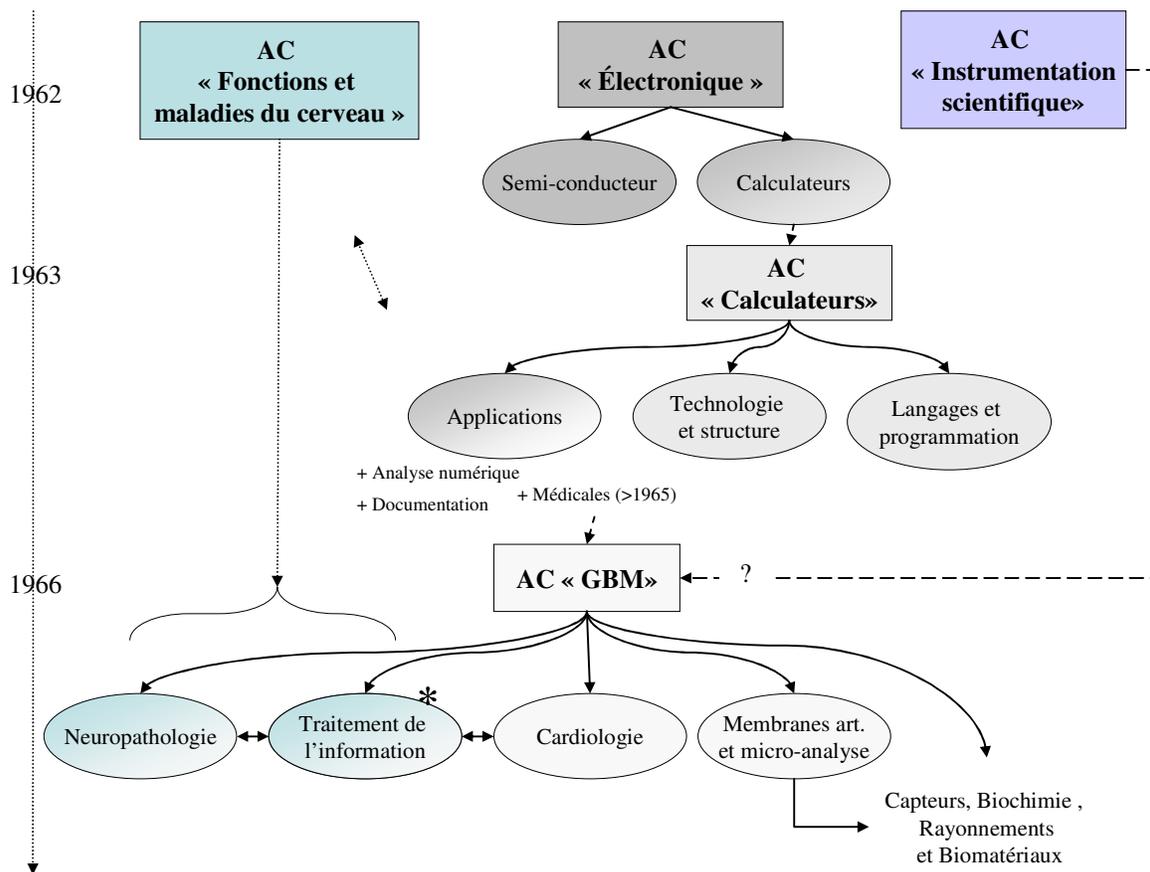
<sup>190</sup> Entretien avec Jacques Pernier du 26 mai 2010.

Pour les neurophysiologistes, les constructeurs d'ordinateurs français tardent à rivaliser avec leurs homologues américains, en particulier la firme DEC: « prix trop élevé pour des performances moindres, ordinateurs mal adaptés – besoin d'un traitement des données en temps réel... ». Un décalage de cinq à six ans apparaît entre les constructeurs français et américains - délai suffisant pour fidéliser un chercheur ou un laboratoire à un constructeur ! Cette fidélisation est d'autant plus forte que les ordinateurs sont différents et utilisent leurs propres langages (qu'il faudrait apprendre, puis dans lequel il faudrait traduire tous les programmes réalisés sur une la précédente machine...). La fidélisation à un constructeur est renforcée par la constitution de réseaux d'utilisateurs nationaux et internationaux, soit au sein de la communauté de chercheurs (c'est l'exemple du GAIN créé par Antoine Rémond ou encore des laboratoires gravitant autour du centre de calcul de François Grémy, soit via les clubs d'utilisateurs (ainsi François Vibert chez André Hugelin se rendait fréquemment aux réunions des utilisateurs des ordinateurs DEC : le Decus-France). L'on souhaite avoir le même ordinateur que les rares collègues compétents, pour pouvoir échanger des programmes et faciliter la résolution de problèmes. C'est d'ailleurs une de ces formes discrètes mais importantes que prend l'influence américaine. Mais avec la progressive standardisation des architectures, la différence se mesure à la qualité des logiciels accompagnant l'ordinateur et à celle du service technique que peuvent offrir les constructeurs, entrant ainsi dans une nouvelle logique de développement.

Le cas particulier de l'informatique rejoint le problème plus vaste des relations entre l'industrie de l'instrumentation scientifique et le secteur biomédical. En effet, au cœur du programme GBM se situe la collaboration des laboratoires avec l'industrie française. De plus, lorsqu'en 1974 le Bureau des équipements est créé à l'Inserm, dans le cadre du transfert du GBM à cet organisme, il affiche « une préférence systématique [...] donnée au matériel français »<sup>191</sup> tout en ayant conscience de l'insuffisance de ce matériel ! C'est un dilemme classique dans ce domaine : pour être indépendant, un pays doit produire certains matériels d'intérêt « stratégique », y compris pour la recherche scientifique ; mais pour être compétitive, ce qui est une condition de l'indépendance, la recherche doit utiliser du matériel de pointe, acheté aux Etats-Unis puis également au Japon. Seuls les plus puristes des mathématiciens ont résolu ce problème... en n'utilisant pas de matériels !

---

<sup>191</sup> Inserm RA 1974 p.8.



**Figure 12 : Filiation des actions concertées soutenant l’informatique biomédicale dans les années soixante**

Lancées au début des années soixante, les deux actions concertées « Calculateurs » et « Fonctions et maladies du cerveau » donnent les moyens techniques à des recherches tendant vers l’intégratif et fortement dirigées vers les applications médicales. Elles préparent ainsi le terrain à une politique de recherche axée sur le développement de l’informatique dans le secteur biomédical, qui se matérialise en 1966 par l’action concertée « Génie Biologique et Médical ». Les thématiques de l’action concertée GBM se multiplieront et élargiront davantage sa diffusion dans le domaine médical. L’action concertée « Instruments de mesure », lancée en 1962, pourrait être également une parente, mais l’exploration systématique des contrats de cette action n’a pas encore été réalisée.

Sous l’influence de la DGRST, les sciences du cerveau se développent avec une orientation médicale, qui encourage une approche plus intégrée exigeant des développements méthodologiques et instrumentaux, gourmandes en calcul. Certains de ses spécialistes dotés de bonnes connaissances électrotechniques collaborent rapidement avec des ingénieurs du secteur privé au développement de leur propre ordinateur, témoignant d’une ouverture au monde industriel, plus précoce que dans d’autres branches des sciences de la vie. Néanmoins, pour la plupart des utilisateurs, les ordinateurs sont importés des Etats-Unis, participant ainsi au flux de transferts technologiques et conceptuels de la recherche américaine vers la recherche française. Initiant des rencontres entre ingénieurs et

neurophysiologistes, instaurant l'habitude du calcul dans le laboratoire, ces machines préparèrent le terrain à l'introduction future des ordinateurs. En effet, pour ces spécialistes, la solution aux problèmes d'enregistrement des données, de corrélation de multiples signaux, de visualisation, d'analyse en temps réel ou encore de modélisation, prend progressivement la forme d'un mini-ordinateur.

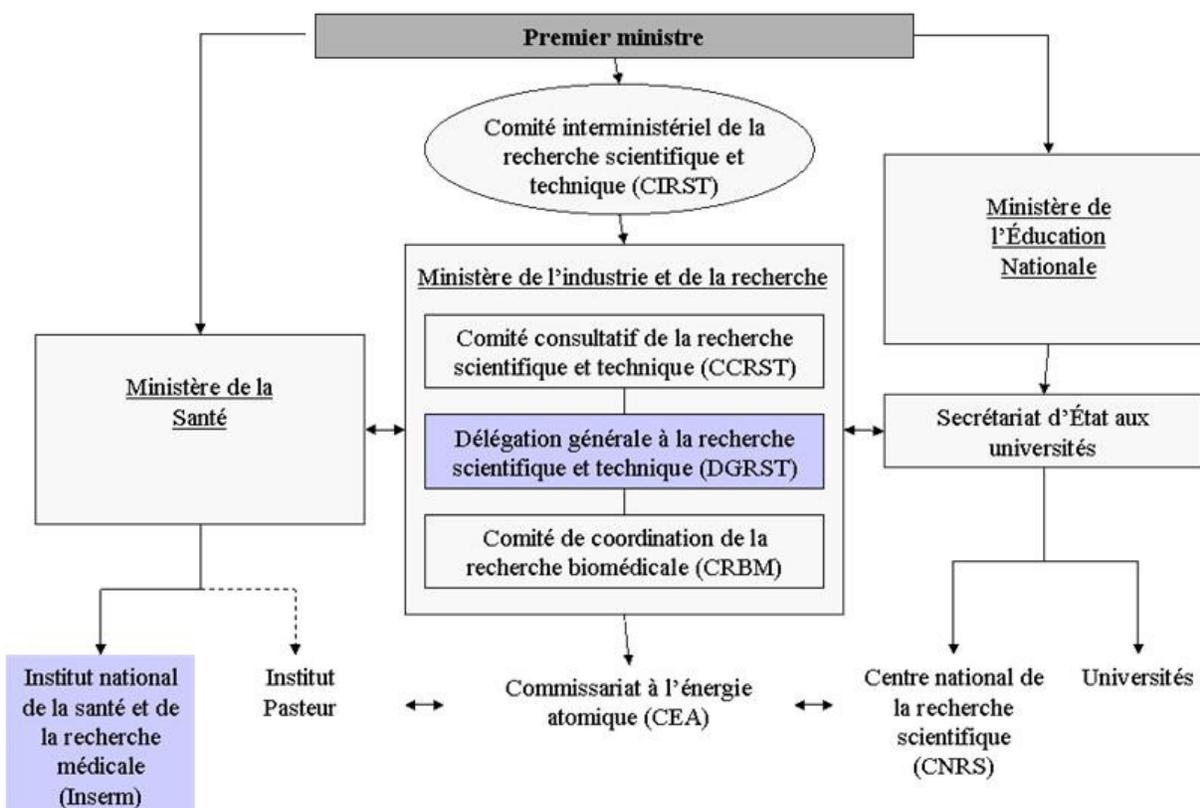
Investissant les instances où se fabriquent les politiques de recherche, y jouant le rôle à la fois de conseillers techniques et de pilotes de programmes d'action, ces spécialistes promeuvent non seulement leur propre informatisation mais aussi, par là même, celle de l'ensemble du secteur biomédical.

Ainsi l'informatisation du secteur biomédical semble contingente à plusieurs processus interagissant :

- La constitution de zones privilégiées au sein du secteur biomédical, irriguées par des programmes de recherche quantitative et travaillées par le modèle américain, où s'effectuent de précoces contacts avec le milieu industriel ;
- La mise en œuvre d'une politique nationale encourageant la technicisation de la recherche biomédicale ;
- Le progrès de l'électronique et l'évolution de l'industrie informatique qui, déjà en position fragile face à la concurrence américaine, donne la priorité aux marchés militaires ou de gestion, plutôt qu'au petit marché biomédical français.

L'exemple de l'échec du « LINC français » offre un aperçu des facteurs qui limitent l'essor du Génie biologique et médical. La conjonction de la politique nationale d'achat préférentiel (« Plan Calcul ») et des faiblesses de l'industrie française des ordinateurs et de l'instrumentation scientifique, dues en partie aux problèmes de communication avec le milieu biomédical, qu'essaye de surmonter l'action concertée GBM, freine non seulement l'informatisation de la recherche biomédicale, mais plus généralement sa technicisation.

\*\*\*



**Figure 13 : La recherche biomédicale en France : structures de coordination en 1974**

Cet organigramme offre un instantané des structures de coordinations de la recherche biomédicale en France pour 1974. Mais ces rattachements changèrent souvent au gré des remaniements ministériels. L'expression recherche « biomédicale » n'est couramment utilisée à l'Inserm qu'à partir des années soixante-dix. Au niveau administratif, elle apparaît lors d'un changement du statut de l'Inserm en 1974 (décret 74-390 du 9 mai 1974).

### 3. LA REPONSE DE L'INSERM (A PARTIR DE 1973)<sup>192</sup>

En 1964, l'Institut national d'hygiène (INH) fut transformé en Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm ; décret 64-627). Sous la tutelle du ministère de la Santé publique et de la population, cet organisme a comme missions l'expertise en matière de santé publique et le développement de la recherche médicale en coordination avec la DGRST<sup>193</sup>.

<sup>192</sup> Je recommande le très riche site <http://infodoc.Inserm.fr/histoire> et remercie Suzy Mouchet, Jean-François Picard et leurs collaborateurs d'avoir organisé et rendu publics nombres d'interviews, de biographies, d'articles, de notes de procès-verbaux des commissions scientifiques, les listes des directeurs et des laboratoires, des informations relative au budget, etc. Notamment Hélène Chambefort, travaillant au service des archives DISC-Inserm, pour ses notes d'archives.

<sup>193</sup> PV du conseil scientifique de l'Inserm du 19 décembre 1964 [notes de H. Chambefort, Arch.Inserm 9440/art1-8].

Au milieu des années soixante, les prérogatives du comité de l'action concertée « Fonctions et maladies du cerveau » de la DGRST sont ainsi transférées à la commission scientifique spécialisée de l'Inserm « Neurologie, neurophysiologie, psychologie et psychiatrie »<sup>194</sup>. Cette commission réunit pour la première fois les spécialistes des sciences du cerveau, tandis qu'au CNRS, ils sont encore dispersés entre plusieurs sections scientifiques<sup>195</sup>. Elle est alors chargée de gérer les services communs – d'où son soutien au centre de calcul de François Grémy au début des années soixante-dix – et d'orienter les recherches dans les directions qui avaient été définies par le comité de cette action concertée<sup>196</sup>. Elle y ajoute également le thème du métabolisme cérébral. Ainsi, la DGRST lance des actions établissant des champs scientifiques nouveaux puis les transfère à un organisme de recherche qui gère des laboratoires.

En est-il de même pour l'action concertée « Génie biologique et médical », lorsqu'en 1973 est lancée l'action thématique sur programme (ATP) « Informatique et Génie biologique et médical » à l'Inserm ? L'Inserm n'avait pas pu être le lieu du lancement du GBM dans les années soixante. D'après le second président du comité GBM à la DGRST, Daniel Laurent, l'Inserm en pleine construction souffrait alors d'un manque de crédits et de l'insuffisance de chercheurs à « polarité technologique »<sup>197</sup>. Mais plusieurs années plus tard, les fruits des efforts antérieurs de la DGRST et la mise en place récente d'une politique d'orientation de la recherche par le Gouvernement changent les perspectives :

Le V<sup>e</sup> Plan ayant préconisé d'infléchir les orientations de l'Inserm vers les retombées socio-économiques de l'innovation médicale, une politique contractuelle est mise en place, destinée à favoriser le développement de certains secteurs de la recherche ou la coopération entre différentes équipes ou organismes (CNRS, Institut Pasteur, universités, hôpitaux, etc.). »<sup>198</sup>.

C'est ainsi qu'en 1971, les Actions thématiques programmées (ATP) sont créées pour financer des programmes de recherche multidisciplinaires dans des domaines jugés prioritaires sur une période de trois ans. En ce sens, nous pouvons les voir comme un moyen de circulation de l'information scientifique. Cependant leurs appels d'offres ne concernent que la communauté scientifique publique : Inserm, CNRS, INRA, CHU, Institut Pasteur, contrairement à la DGRST qui soutient aussi la recherche et le développement dans les industries. De plus, elles ne sont pas vouées à couvrir les crédits d'équipements d'une équipe ou d'un laboratoire<sup>199</sup>.

---

<sup>194</sup> DGRST rapport 1965 AC « Fonctions et maladies du cerveau » p.414.

<sup>195</sup> Au CNRS, ce ne sera qu'en 1992 qu'apparaîtra une section fédérative : la section 29 « Fonctions mentales, neurosciences intégratives, comportements ».

<sup>196</sup> Voir §2.1.2 sur L'action concertée « Fonctions et maladies du cerveau » : vers une approche intégrée gourmande de calcul, p.61.

<sup>197</sup> Citation p.70.

<sup>198</sup> Cf. Notes de H. Chambefort [Arch.Inserm.9440-26]. La mise en place d'une politique d'orientation de la recherche est observable simultanément au CNRS.

<sup>199</sup> Inserm, 1970-1974, bilan et perspectives, p.69.

En effet, « à moyen terme, l'Inserm prenant le relais de la DGRST devrait assurer l'ensemble du pilotage des actions incitatives en matière de Génie biologique et médical »<sup>200</sup>. L'ATP « Informatique et GBM » est donc un des signes de ce transfert du GBM. Cependant, il ne sera que partiel, puisque l'action concertée GBM sera renouvelée jusqu'à la disparition de la DGRST en 1981.

Dans un premier temps, nous chercherons ce qui facilita ou prépara le transfert du GBM de la DGRST à l'Inserm, en repérant les premiers signes de l'informatisation de ce dernier.

Dans un second temps, nous explorerons la contribution des neurophysiologistes dans l'apparition d'une informatique *numéricienne* et temps réel, couplée au GBM, en analysant les contrats financés par les actions thématiques programmées de l'Inserm.

Dans un troisième et dernier temps, nous étudierons la manière dont s'organisa le GBM à l'Inserm et rechercherons ses acteurs dans les commissions scientifiques qui lui étaient dévouées. Puis nous suivrons deux d'entre eux dans un laboratoire de neurophysiologie pour interroger les conditions locales de transfert de la technologie informatique et ses conséquences sur les pratiques expérimentales.

### **3.1. Une informatique à deux têtes : statisticienne et numéricienne**

Sous le régime de Vichy, la création de l'INH fit suite à la création de l'Ordre des médecins, le gouvernement affichant ainsi sa volonté de réorganiser la recherche médicale<sup>201</sup>. L'INH était alors chargé de développer la recherche au service de la santé publique et de coordonner des enquêtes sanitaires nationales (« épidémiologie »)<sup>202</sup>. L'Etat se dota ainsi d'un outil de veille sanitaire.

En 1960, l'INH acquit un ordinateur électronique programmable de la firme française Bull : un Gamma 3. Elle le confia au laboratoire de statistiques fraîchement créé à l'Institut Gustave Roussy, dirigé par un polytechnicien venu de l'industrie : Daniel Schwartz (X1937 ; future unité Inserm 21)<sup>203</sup>. Quand en 1964 le ministre de la Santé Publique, Raymond Marcellin, nomma à la tête de l'Inserm l'épidémiologiste Eugène Aujaleu pour cinq ans, il le chargea de « transformer cet établissement, jusque là consacré surtout à l'exploitation des statistiques sanitaires, en un institut orienté vers les problèmes de recherches biologiques, cliniques et de santé publique ». Le laboratoire de statistiques fut la première unité Inserm à bénéficier d'un ordinateur, un gros Univac 1107 en 1967, géré avec l'hôpital Rousset. Au début des années soixante-dix, le service est déjà saturé par la demande des épidémiologistes, des cancérologues mais aussi des médecins (aide au diagnostic), des cardiologues (traitement du signal ECG)

---

<sup>200</sup> DGRST, P.V. du comité GBM du 8 sept 1975 [Arch. nat. 20060283/art.7].

<sup>201</sup> Ces mesures donnaient également suite à l'ouverture d'une commission au CNRS de médecine expérimentale, instituée dès la création de cet organisme en 1939.

<sup>202</sup> Par exemple : enquête sur les taux de mortalité et de morbidité en France, enquêtes sur les résultats de vaccination, statistiques de maladies (leucémie, cancer...), etc.

<sup>203</sup> Lettre du directeur général de l'Inserm, Constant Burg (1969-1979), au ministre de la Santé publique, janvier 1973 [Arch.Nat. 20060283/art.26].

et de biologistes-modélisateurs ; cependant aucune mention des neurophysiologistes ne fut trouvée<sup>204</sup>. En 1973, l'Univac est remplacé par un gros IRIS 60 de la CII<sup>205</sup>.

Depuis le milieu des années soixante, l'Inserm soutient également les premiers colloques sur le thème du traitement du signal, où l'emploi de calculateurs est discuté. Le second colloque, organisé à la faculté de médecine de Paris en décembre 1966, porte sur « le traitement en temps différé des informations électrophysiologiques ». Ce colloque rassemble essentiellement des neurophysiologistes<sup>206</sup>. En effet, y sont présentés des méthodes de traitement automatique de l'information sur des « machines informatiques digitales » appliquées à l'analyse spectrale des tracés EEG (Grémy), des exemples d'application d'analyse de fréquence et des programmes de reconnaissance de forme (par le neurophysiologiste Thieffry travaillant chez Scherrer), des méthodes d'analyses des ondes corticales électriques lors du réveil (Bertrand, Hugelin, Jutier) ou l'éveil chez le singe sous l'influence de différentes drogues, psychotropes ou anesthésiques (Naquet, Killam, Bimar, Gareyte et Jutier). De plus, Pierre Jutier y présente les moyens mis à disposition des biologistes et des médecins par leur centre de calcul (dirigé par François Grémy).

Il existait donc une forte demande de calcul dès la création de l'INH, de par sa vocation même de veille sanitaire du pays. Cependant, comme en témoigne le centre de calcul de l'Inserm et le colloque de 1966, de nouvelles demandes émergent à la fin des années soixante et dépassent les compétences des statisticiens : l'informatique n'est plus seulement celles des épidémiologistes. La modélisation et le traitement du signal en temps réel appellent d'autres outils mathématiques que fournit l'analyse *numérique*.

Ces deux courants ou aspects de l'informatique dans les sciences du vivant, la statisticienne et la numérique, convergent au service de la médecine au début des années soixante-dix, lorsque sont créés des laboratoires dont la vocation principale est l'informatique médicale : l'U.88 « Méthode informatique et statistique en médecine » de F. Grémy, ou encore l'U.115 « Applications médicales de l'informatique » dirigée par le biophysicien Jean Martin – riche de son expérience à la direction de la section « Biomathématiques, statistique et informatique médicale », fondée en 1965 à la faculté de médecine de Nancy<sup>207</sup>. Cependant, lorsque l'on regarde au niveau des laboratoires pour lesquels l'informatique est

---

<sup>204</sup> Lettre du directeur général de l'Inserm, Constant Burg (1969-1979), au ministre de la Santé publique, janvier 1973 [Arch.Nat. 20060283/art.26].

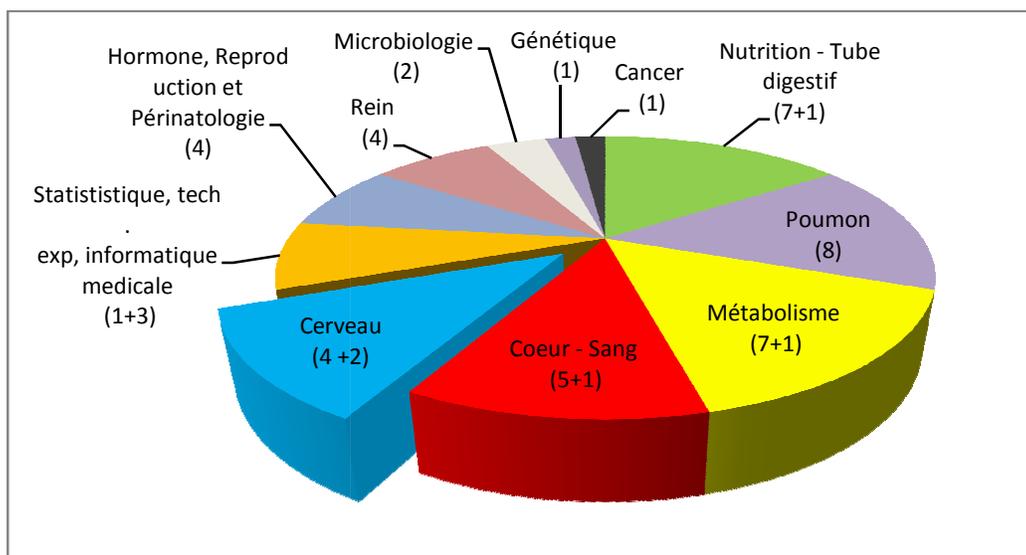
<sup>205</sup> Arch.Nat.20060283/art.26.

<sup>206</sup> Les actes de ce colloque furent publiés mais nous n'avons pas encore retrouvé de traces du premier (*Inserm*, 1967).

<sup>207</sup> C'est dans son premier laboratoire de biophysique médicale qu'il développe une modélisation mathématique appliquée à la neuro-endocrinologie qui bénéficie du soutien de l'AC « Calculateurs » (cf. p.44). Dans mon projet de recherche initial était envisagé l'étude des politiques mises en œuvre par les universités, mais ce travail était apparu irréalisable dans le temps imparti. En effet, assurant la formation des spécialistes et abritant des laboratoires, chaque université propose ses propres lignes de développement selon une relative adéquation avec le programme national. Par conséquent, un travail sur plusieurs universités aurait été nécessaire. En regard de la concentration parisienne des laboratoires de neurophysiologie, les universités de sciences Paris VI (Jussieu) et Orsay furent présélectionnées. Cette étude s'inscrivait également dans l'étude de l'importance du réseau local.

devenu un outil important, l'on constate la prédominance de l'un ou de l'autre aspect mais sans que l'un soit exclusif à l'autre.

D'où émerge cette seconde branche de l'informatique, cette informatique numéricienne-temps réel ? Le lancement de l'ATP « Informatique et génie biologique et médical » nous suggère une réponse et le contenu de la suivante, « Acquisition et traitement du signal », la précise.



**Figure 14 : Distribution par objectifs des unités Inserm ayant acquis des calculateurs entre 1966 et 1971**

(Nombre de petits calculateurs + Nombre d'ordinateurs). L'Inserm reprend et adapte le modèle de découpage de la recherche par « objectifs » proposé par le V<sup>e</sup> Plan, et non plus celui par disciplines, pour éviter « le cloisonnement et le développement d'attitudes corporatistes ». Ainsi, selon la terminologie de l'Inserm, un objectif correspond à l'ensemble des problèmes posés par un organe défini, pour lequel est réuni un ensemble de techniques et de disciplines. Cependant des « objectifs » au sens étendu sont conservés dans l'attente de leur éclatement au sein des autres objectifs comme la Pharmacologie, la Santé publique ou encore le Génie biologique et médical [Inserm 1970-1974 Bilan et perspectives]. La physiologie respiratoire, les recherches sur le métabolisme, la physiologie de la nutrition, les sciences du cerveau (\*) et la cardiologie sont les disciplines ayant le plus grand nombre de laboratoires informatisés. On compte au total 40 unités ainsi équipées pour la période 1966-1971 (A titre comparatif, l'Inserm comptera 74 unités au total en 1974), mais seulement 8 possèdent de véritables ordinateurs (2 IBM, 2 DEC, 1 Beckman, 1 Bull, 1 Intertechnique, 2 CII : moins de la moitié sont des matériels français). Les spécialistes du cerveau sont alors les mieux équipés derrière les statisticiens. Un bilan dressé en 1975 identifie 6 laboratoires pour lesquels l'informatique est « importante » U.8 (Bricau – Cardiologie), U.49 (Bourrel - Sang), U.54 (Bernier -Nutrition), U.31 (Sarles - Nutrition) et U.19 (Boissier - Neuropsychopharmacologie), U 94 (Gerin - Neurophysiologie). Et deux pour lesquels l'informatique est la « vocation principale » : l'U.88 de Grémy et l'U.115 de Martin.

(\*) Nunez, U.96, neuro-endocrinologie ; Soullairac, U.39, psychophysiologie ; Boissier, U.19, psychopharmacologie ; Gerin, U.94 , neurophysiologie.

### 3.2. Un programme d'action à la mesure des électrophysiologistes

En 1967, la perspective de développement de l'informatique médicale est débattue au conseil scientifique<sup>208</sup> de l'Inserm et aboutit à la création d'un groupe de travail autour du directeur général Eugène Aujaleu, lui-même biophysicien : Jean-Jacques Bernier (Nutrition), Daniel Schwartz (Statistique), Maurice Tubiana (Biophysique, cancérologie, que l'on retrouve au comité GBM de la DGRST), Laurent Jobert du CNRS, « etc. »<sup>209</sup>. Les possibilités d'une action commune avec le CNRS, l'INRA ou les CHU sont discutées. Il est également suggéré de « recourir à l'action concertée Génie biologique et médical de la DGRST ». Parmi les problèmes soulevés sont d'une part, le problème récurrent du manque de personnels qualifiés et d'autre part, celui de la programmation : « les programmes US étant difficiles à adapter aux besoins de la "médecine française". L'Inserm doit prendre l'initiative d'une solution à la française. ». Est-ce là, la marque d'une spécificité française ou bien les programmes délivrés par les constructeurs américains ne sont-ils tout simplement pas adaptés au travail des médecins français comme américains ?

Trois ans plus tard, la demande de création d'un comité scientifique spécialisé en « Informatique, Recherche clinique et épidémiologique... » à l'Inserm, pour coordonner les demandes d'équipements, les recherches et la gestion du personnel, est refusée par le comité scientifique qui « se déclare pour un nombre réduit de commissions », malgré l'appui du directeur général Constant Burg<sup>210</sup>.

Cependant, malgré les bonnes dispositions de la direction générale de l'Inserm et la pression des chercheurs qui commencent à se réunir et que soutient la DGRST, le couple informatique-GBM ne parvient pas encore à prendre position dans les instances où se fabrique la politique de recherche de l'Inserm, reflétant sa faible imprégnation du milieu biomédical.

Au début des années soixante-dix, la DGRST donne les moyens à la direction de l'Inserm de mettre en œuvre le programme GBM. Le physicien Pierre Aigrain, alors délégué général à la recherche scientifique et technique, informe Constant Burg : « J'ai le plaisir de vous faire savoir que je suis en mesure de mettre à votre disposition la somme de 800 000 F afin de mettre œuvre l'action thématique sur programme « Informatique et GBM » dès 1973 [ATP n°24]»<sup>211</sup>. Un comité *ad hoc* GBM est alors spécialement constitué pour préparer l'appel d'offre qui sera adressé à l'ensemble des unités Inserm ainsi

---

<sup>208</sup> « Pour mettre en œuvre sa politique scientifique, c'est à dire pour la création et l'évaluation des laboratoires, le recrutement et la gestion de carrière des chercheurs, la conjoncture scientifique, la direction de l'Inserm s'appuie sur un *Conseil scientifique* et sur treize *Commissions scientifiques spécialisées*, dont la nomenclature souligne l'importance donnée par l'organisme aux nouvelles disciplines biologiques [Arch.Inserm.9440 dans notes de H. Chambefort].

<sup>209</sup> PV du Conseil Scientifique de l'Inserm du 20 avril 1967 (Notes sur les PV du Conseil Scientifique de l'Inserm de 1964-1997 par Hélène Chambefort). La liste des membres du groupe de travail n'a malheureusement pas été indiquée dans son ensemble. Remarquons cependant la présence du médecin neurophysiologiste Paul Gerin lors de la première commission *ad hoc* de GBM.

<sup>210</sup> PV du comité scientifique de l'Inserm du 30 janvier 1970 [Notes de H. Chambefort].

<sup>211</sup> Lettre du 29 mars 1973 de M. Aigrain à M. Burg [Arch. Nat. 20060283/art.7].

qu'aux équipes extérieures<sup>212</sup>. Les 2/3 de ses membres sont des biophysiciens soit de l'Inserm, soit de l'extérieur ; les rares disciplines non techniques représentés sont la cardiologie, la physiologie respiratoire et la neurophysiologie à travers Paul Gerin.

**Figure 15 : Membres du comité ad hoc de l'ATP 24 « Informatique et GBM » de l'Inserm en 1973**

**Biophysiques et disciplines techniques à l'Inserm (2/3):**

Le président, Pr. Gaston Meyniel (Biophysique, U71, Clermont-Ferrand) ; Pr. Maurice Tubiana (Biophysique – cardiologie, U.66 , Villejuif, membre du comité GBM de la DGRST depuis 1968) ; Pr. Daniel Laurent (Chirurgie - cardiologie ; Hôp. Créteil, membre du comité GBM de la DGRST à partir de 1968 puis président en 1970) ; Pr. Paul Blanquet (biophysique - radiologie U53, Bordeaux, membre du comité GBM de la DGRST depuis 1970) ; Pierre Ducimetère (Statistiques U21, Villejuif) ; Dr Claude Gaudebout, (Chirurgie - aide au soin, U13, Paris) ; Pr. Pierre Rabischong (Biophysique, U.103 , Montpellier) ; Pr. Agr. Pierre Calle (Biophysique, CHU, Créteil).

**Sciences Physiques pour l'ingénieur hors Inserm (1/6) :**

Pr Raymond Duperdu, (SPI, Ecole sup d'électricité, Malakof) ; Roger Gariod (informatique et électronique, CEA Grenoble).

**Disciplines non GBM (1/6) :**

Dr Pierre Arnaud (Physiologie vasculaire et cardiaque, U63, Lyon) ; Pr Pierre Bechtel (Physiologie respiratoire, CHU Besançon) ; [Dr Paul Gerin](#) (U.94 "Recherches de Physiopathologie du système nerveux, Lyon).

L'analyse des 17 contrats de l'ATP « Informatique et GBM » révèle la part prépondérante des thématiques « Capteurs » (41%) et « Traitement du signal » (29%), pour lesquelles 5 contrats sont obtenus par des neurophysiologistes. Ceux-ci sont les plus représentés (29%) avec les biophysiciens et les cardiologues. La modélisation reste marginale ne concernant qu'un projet sur le métabolisme calcique<sup>213</sup>.

ATP 24 (1973-1975)	Capteur	Traitement du signal	Aide soin et Prothèses/orthèses	Modélisation	Total objectif
<b>Biophysique et radiobiologie</b>	3	0	2	0	<b>29%</b>
<b>Cerveau</b>	1	2	2	0	<b>29%</b>
<b>Cœur</b>	2	1	0	0	<b>18%</b>
<b>Poumon</b>	0	2	0	0	<b>12%</b>
<b>Tube digestif</b>	1	0	0	0	<b>6%</b>
<b>Hormone et reproduction</b>	0	0	0	1	<b>6%</b>
<b>Total application</b>	<b>41%</b>	<b>29%</b>	<b>24%</b>	<b>6%</b>	<b>17 contrats</b>

**Figure 16 : Répartition par objectifs et par applications des programmes de recherche soutenus par l'ATP 24 « Informatique et GBM » (1973-1975).**

<sup>212</sup> Détail de la composition du comité p.104.

<sup>213</sup> « Application de la théorie des systèmes et des techniques de l'automatisme à la modélisation du métabolisme calcique chez le rat » par A.M. Staub (GR "étude des régulations hormonales du métabolisme phosphocalcique, U.113, laboratoire isotope, CHU Saint Antoine, Paris).

Lorsque l'ATP « Informatique » arrive à son terme en 1975, elle est renouvelée pour trois ans sous l'intitulé « Acquisition et traitement des données biologiques » (ATP n°40)<sup>214</sup>. Plus ciblée, cette thématique répond particulièrement aux besoins des électrophysiologistes. A travers elle, un effort particulier est fourni pour développer la technologie informatique. Si la première ATP avait pour but de « toucher le plus largement possible les milieux de recherche », l'ATP-fille est chargée d'un double but : « sensibiliser les mêmes milieux aux nouveaux moyens de traitement de l'information et à la mise au point de systèmes d'automatisme modernes en instrumentation biomédicale » Le comité GBM reçoit alors 51 projets : 40% concernent la captation et le traitement du signal et 60% le traitement seul, incluant la modélisation<sup>215</sup>. L'analyse des 17 projets retenus montre que la majorité d'entre eux émanent de neurophysiologistes, dont six pour le traitement du signal et un pour le traitement du signal avec développement de capteurs. Il n'y a plus de modélisation dans les projets retenus (Figure 17).

ATP 40 (1975-1978)	Traitement du signal	Traitement du signal + capteur	Pilotage	Total objectif
Cerveau	6	1	0	41%
Cœur	1	3	0	24%
Poumon	0	2	1	18%
Biophysique et radiobiologie	1	1	0	12%
Tube digestif	0	1	0	6%
Hormone et reproduction	0	0	0	0%
<b>Total application</b>	<b>47%</b>	<b>47%</b>	<b>6%</b>	<b>17 contrats</b>

**Figure 17 : Répartition par objectifs et par applications des programmes de recherche soutenus par l'ATP 40 « Acquisition et traitement des données biologiques » (1975-1978).**

Néanmoins, relativisons l'impact de ces deux actions. Elles ne touchent que peu de laboratoires : 17 contrats conclus pour chacune. La première distribuant 800 000 F (soit 47 000 F par contrat) et la seconde 605 000 F (soit 38 000 F par contrat). Ces actions ne permettent donc pas à elles seules d'équiper les laboratoires en ordinateurs, ni de subvenir aux frais de fonctionnement que ceux-ci occasionnent – encore moins d'engager le laboratoire dans une collaboration à long terme avec un industriel. Cependant, l'Inserm consacre 96 MF au couple GBM-informatique, soit 12,6% de son budget de fonctionnement total (763 MF)<sup>216</sup>. A titre de comparaison, 32,8% reviennent au seul objectif « Cerveau » qui est alors le plus important – peut-être pouvons-nous avancer que le GBM bénéficie de l'essor d'un de ses plus gros clients ?

<sup>214</sup> Dans la terminologie de l'Inserm, la première action thématique sur programme est dite « d'initiation », la suivante de « seconde génération ». Ainsi « Les actions thématiques de deuxième génération sont destinées à développer des secteurs qui se sont révélés particulièrement féconds au cours des actions thématiques programmées précédentes ». Inserm 1970-1974 bilan et perspectives. Les informations sur l'ATP 40 sont issues des Arch. Inserm.9442-08.

<sup>215</sup> Proportions indiquées dans le rapport sur l'ATP 40 [Arch. Inserm.9442-08].

<sup>216</sup> Inserm 1970-1974 Bilan et perspectives.

Pour ces deux ATP, dont l'ensemble des contrats est listé en annexe, les programmes de recherche dans l'objectif Cerveau employant l'outil informatique reprennent les thèmes du langage, du sommeil, du mouvement et de l'équilibre, ainsi que de la perception où le comportement est analysé en temps réel à travers ses caractéristiques biophysiques unitaires ou globales (EEG, polygraphie...). Particulièrement, la thématique du mouvement et de l'équilibre profitera non seulement des méthodes d'analyse numérique développées en mathématiques et en sciences physiques pour l'ingénieur, mais elle reprendra à celles-ci des concepts venant de l'Automatisme<sup>217</sup>. Pour l'ensemble de ces projets, ce sont typiquement des programmes de recherche issus de la rencontre de la psychologie et de la neurophysiologie. L'accès partiel à la liste des projets soumis pour la seconde ATP GBM le confirme en montrant une forte demande des neurophysiologistes pour des programmes de recherche axés sur l'audition (17 projets présentés sur 51, soit 37%). L'on constate également sans étonnement la co-évolution entre les moyens pour capter le signal et ceux pour le traiter. De plus, la majorité de ces programmes revendiquent une application clinique (aide au soin, au dépistage...). A travers les actions GBM de l'Inserm, les programmes de recherche recourant à l'informatique dans les années soixante dix mettent donc en œuvre, là encore, des recherches intégrées et quantitatives, avec un fort aspect médical.

Signalons que les spécialistes du système nerveux et du comportement bénéficient également de leurs propres ATP, qui sont autant de sources de financement pour leurs programmes de recherche intégrant les ordinateurs. Ainsi, des thématiques développées dans le cadre du GBM se retrouvent dans deux ATP propres :

- L'ATP 21 lancée en 1975 : « Relations entre paramètres physiques du stimulus (acoustique ou électrique) et activités nerveuses - Acquisition et traitement des données biologiques ». Nous retrouvons l'un des thèmes des spécialistes de la physiologie sensorielle qui répondirent en même temps massivement à la deuxième action GBM.
- L'ATP 97 lancée en 1978 : « Evaluation quantitative en pathologie mentale (aspects psychométrique, pharmacologique, épidémiologique, biochimique et technologique) ».

Remarquons finalement, que, parmi les contractants, l'on retrouve des ingénieurs – physiciens, soit de laboratoires d'électronique ou d'automatique (cf. A. Frueling, D. Blanc...), soit de laboratoires de l'Inserm (cf. F. Perronet et J. Pernier chez le neurophysiologiste P. Gerin, R. P. Perronneau de centre de recherche en chirurgie à l'hôpital Broussais de Paris, J.M. Aran du laboratoire d'audiologie expérimentale de Bordeaux...<sup>218</sup>).

---

<sup>217</sup> Debru et al., 2008, chap. "Les relations entre Psychologie et Neurosciences cognitives" par Alain Berthoz ; p.123-128.

<sup>218</sup> Indications du neurophysiologiste et ingénieur Jacques Pernier.

### 3.3. Un passeur technologique : l'ingénieur

« Sans nul doute, la caractéristique de cette action concertée [GBM], l'interdisciplinarité, a apporté en termes de politique scientifique un élément profondément original, fondamentalement lié à la nature même de l'ingénierie biomédicale. Si l'on peut tenter un jugement de valeur, distinct d'un bilan proprement analytique, c'est certainement, son aspect de dialogue indispensable entre diverses disciplines recouvrant des domaines de compétences s'ignorant trop souvent, qui représente le bénéfice le plus favorable de l'initiative de la DGRST dans ce domaine complexe. »

Témoignage de Daniel Laurent, président du comité de l'action concertée Génie biologique et médical de 1970 à 1976 (Chatriot & Duclert, 2006)

Dans un premier temps nous identifierons les acteurs du GBM à l'Inserm et les lignes directrices de leur action, puis nous chercherons à cerner les blocages auxquels ils se heurtèrent.

Dans un second temps, nous suivrons l'activité de deux d'entre eux, un médecin et un ingénieur, dans leur laboratoire de neurophysiologie où nous interrogerons les conditions et les conséquences du transfert de la technologie informatique.

#### ***3.3.1. L'essor du génie biologique et médical à l'Inserm : la résistible technisation de la recherche biomédicale***

Les chercheurs réunis sous l'étiquette *GBM* apparaissent comme de véritables missionnaires, mais ce n'est pas tant une nouvelle discipline qu'ils cherchent à imposer dans le milieu académique qu'une autre façon de faire la recherche. En effet, venant de disciplines ou de champ disciplinaires relativement bien établis, leur demande, et leurs actions conséquemment, s'inscrivent dans un vaste programme de renouvellement ou de *modernisation* de la recherche et de ses structures. Ainsi, les ATP qu'ils lancent et dirigent ne sont qu'un aspect de leur programme. Nous commencerons donc par décrire ce programme en caractérisant ses acteurs. Puis nous identifierons les barrières auxquels ils se heurtent dans leur volonté d'expansion.

##### *Un programme...*

Tout au long des années soixante-dix et même au-delà, les partisans du GBM tentent d'implanter celui-ci dans la recherche biomédicale, à travers les structures qui lui sont vouées, en particulier à l'Inserm. Le CNRS abrite également des recherches biomédicales regroupées dans la section « Pathologie expérimentale » créée dès 1939. Il gère également des laboratoires de biologie à vocation technique en association avec l'Inserm, comme l'équipe de recherche associée Paris « Instrumentation et dynamique cardiovasculaire » de Pierre Peronneau à l'Hôpital Broussais. De plus, des chercheurs ou personnels techniques CNRS sont détachés dans des centres GBM dépendant de l'Inserm.

Cependant, le GBM ne semble pas y trouver un cadre favorable :

« Le CNRS et les Universités présentent un potentiel considérable, toutefois cette tendance est mal exploitée en l'absence de structures spécifiques GBM et tout particulièrement au CNRS où la structure par grandes Directions Scientifiques laissent peu de places aux domaines nouveaux qui cherchent une identité »<sup>219</sup>

Le GBM ou l'approche qu'il désigne sera aussi appelée *innovation technologique, ingénierie biomédicale, technologie biomédicale* ou encore *bio-ingénierie* ...<sup>220</sup>?

Après une première tentative infructueuse à la fin des années soixante, les partisans du GBM obtiennent gain de cause : ils seront représentés par une commission en 1974, probablement dû au succès de la première ATP « Informatique et GBM » qui a permis de mobiliser davantage de chercheurs : la C.s.s.3 « Biochimie générale, biophysique générale et radiobiologie, pharmacologie générale, génie biologique et médical, toxicologie générale ». De fait, la nouvelle commission, dont le dénominateur commun est la recherche méthodologique, semble déterminée par l'organisation du comité *ad hoc* de l'ATP : le président Gaston Meyniel maintient sa fonction et l'on retrouve des biophysiciens (Maurice Tubiana qui depuis 1968 est également membre du comité GBM de la DGRST) et des chercheurs de disciplines à vocation non technique mais intéressé par le GBM. Deux neurophysiologistes sont présents : François Couraud et Henri Pachebo. Paul Gerin qui participait au comité *ad hoc* l'année précédente est alors membre de la commission de neurophysiologie (C.s.s.6)<sup>221</sup>.

---

<sup>219</sup> DGRST, *Le Progrès scientifique*, 1978, n°197, p.92 (AC GBM). Un premier travail sur les rapports d'activité des années soixante-dix du CNRS, suggère effectivement une difficile et tardive reconnaissance du GBM dans cet organisme, suite à la création du secteur « Sciences physique pour l'Ingénieur » qui inclut également l'informatique [CNRS RA 1975 ; CNRS RA 1978]. De plus, il ne semble pas y avoir eu de véritable programme d'informatisation des sciences de la vie comme à l'Inserm. En regard de ces hypothèses, la mise en place tardive du cadre interdisciplinaire qu'est le GBM aurait retardé le lancement de l'informatique biomédicale. L'exemple du CNRS permettrait ainsi d'effectuer un travail de fond sur les facteurs limitant la technicisation des sciences du vivant.

<sup>220</sup> A titre indicatif, nous avons repéré ces termes pour la première fois dans les archives consultées respectivement en 1963 pour un projet d'un institut de *Génie médical* [CNRS RC 1963-1964 p.231] ; en 1970, *technologie biomédicale* se retrouve attaché à une proposition de diplôme destiné aux IUT et écoles supérieurs d'ingénieurs dans un rapport de l'AC GBM [Arch.Nat.19810244] ainsi qu'en 1991 dans la commission scientifique spécialisée (C.s.s.9) ; en 1995, *innovation technologique* apparaît dans l'intitulé de plusieurs commissions de l'Inserm, puis il y est remplacé en 1999 par le terme *ingénierie biomédicale*, où il se retrouve auprès de la *bio-informatique* (C.s.s.1) ; il met alors l'accent sur l'industrie biomédicale.

<sup>221</sup> C.s.s.6 (1974-1979) : Système musculaire squelettique, système nerveux central et organes des sens : physiologie, physiopathologie, pharmacologie, toxicologie, environnement, chirurgie, épidémiologie, psychiatrie.

### **Figure 18 : Membres de la commission scientifique spécialisée Inserm « GBM » de 1974 à 1979**

#### **Biophysiciens et spécialistes du GBM (10 personnes : 40%)**

Le Président Gaston Meyniel (Biophysique, Endocrinologie et Métabolisme), le Vice-Président : Manuel Worcel (Cardiologie vasculaire), [François Couraud](#) (Physiopathologie des maladies du système nerveux central), Pierre Douzou (Biophysique, Biochimie), Claude Fourcade\* (Biophysique, ingénieur), Kia Ki Han (Biophysique), Jean-Marc Lhoste (Biophysique IRM, Biochimie), Pierre Peronneau\* (Biophysique, Cardiologie – méthode des Ultrasons), Maurice Tubiana (Biophysique, Cardiologie), Pierre Demerseman (Biophysique).

#### **Biochimistes et pharmacologistes (15 personnes : 60%)**

Gilles Auzou (Biochimie), Joseph Bieth (Enzymologie), Roland Bourrillon (Biochimie, Nutrition), Paul Caubere (Enzymologie), Yves Cohen (Pharmacologie), Marianne Grunberg Manago (Biochimie), Pierre Louisot (Biochimie), [Henri Pacheco](#) (Biochimie, Neurophysiologie). Probablement en biochimie ou pharmacologie : Jacqueline Font, Jean Godin, Yves Najean, Guy Ourisson, Jean Philippot, Jean Didier Rain, Alain Vanhove.

Cependant, les spécialistes du GBM doivent composer avec des biochimistes et pharmacologistes plus nombreux (60%) avec lesquels ils partagent la commission<sup>222</sup>.

« Le GBM était brimé à l’Inserm... [Pour la plupart des chercheurs] c’était à l’industrie de le faire, pas à l’Inserm !... C’est-à-dire que Burg était un biophysicien [Directeur général de l’Inserm de 1969 à 1979], il n’était pas contre. Mais le problème, c’était qu’il y avait très peu de GBM à l’Inserm, l’on ne pouvait pas créer une commission pour trois pelés et un tondu ! On s’est donc retrouvé avec les biochimistes. [...] C’étaient eux qui faisaient la loi, ils étaient bien plus nombreux que les biophysiciens, et ça se ressentait, les recrutements, les promotions... [...] Mais grâce à François Grémy, la situation s’est arrangée [président de commission en 1982]. Conscient de ce problème, il avait instauré une règle interne à la commission pour qu’il y ait une répartition des postes par disciplines. Ça c’est bien passé.»<sup>223</sup>

Un arrangement qui ne semble donc pas leur convenir, mais qui reflète la faible représentation des chercheurs à orientation technique. Néanmoins, un tel partage a priori paraît être le seul moyen, pour une minorité, de recevoir des moyens plus ou moins proportionnels à sa représentation ; autrement, soit elle est en conflit permanent, soit elle n’obtient rien... De fait, lorsqu’en 1973 apparaît la catégorie *GBM* dans les statistiques de l’Inserm, seulement 22 chercheurs, techniciens et ingénieurs y sont recensés sur les 2 387 chercheurs et ITA de l’Inserm (soit moins de 1% !). Ils sont alors différenciés des 48 chercheurs et ITA pour l’Informatique (moins de 2%). A titre de comparaison, le seul objectif « biologie des réseaux neuronaux » comptabilise 181 personnes soit 7% de l’effectif total<sup>224</sup>. Que le GBM ait pu être représenté dans une commission avec un si faible nombre de spécialistes dénote une volonté forte de la part de la direction de le faire émerger.

<sup>222</sup> Les spécialistes du GBM n’auront une commission à part entière qu’en 1987 : la Ccs 9 (1987-1990) « Interface physique-biologie, technologies médicales et chirurgicales : imagerie, informatique, génie biologique et médical » que présidera Pierre Peronneau.

<sup>223</sup> Entretien avec le neurophysiologiste Jacques Pernier du 26 mai 2010.

<sup>224</sup> Inserm RA 1973.

Remarquons que l'informatique est aussi représentée dans une autre commission où elle est regroupée avec les statisticiens<sup>225</sup>. Mais, parmi les objectifs de l'Inserm pour le VI<sup>e</sup> Plan, GBM et Informatique sont réunis, tandis qu'il n'y a pas d'objectif « Statistiques »<sup>226</sup>. Le double aspect de l'informatique dans la recherche biomédicale, signalé précédemment, se perpétue donc, mais l'approche numérique et temps réel a nettement pris le pas sur l'approche statisticienne<sup>227</sup>. Cependant, si le GBM apparaît comme un objectif à part entière, c'est qu'il n'est pas encore éclaté entre divers objectifs définis autour de l'exploration d'un organe. En effet ce n'est qu'à la fin des années soixante-dix, probablement fort de ses effectifs plus nombreux, que le GBM est réparti à travers la quasi-totalité des commissions – sauf en biologie cellulaire et cancérologie, en immunologie et en génétique. Ce qui témoigne d'une stratégie d'essaimage que nous avons déjà repérée à la DGRST. Cette stratégie bénéficie du changement de structure de l'Inserm effectué au début des années soixante-dix en faveur d'une structuration par objets de recherche (objectifs). Tandis que la recherche biologique au CNRS reste cloisonnée en disciplines, rendant donc difficile l'essor du GBM ou de nouveaux champs interdisciplinaires comme les neurosciences.

Les ATP et les premières prises de position au sein des instances directives de l'Inserm s'inscrivent dans un véritable programme d'actions. En effet, avec la le soutien du directeur général de l'Inserm et de la DGRST, un ensemble de mesures sont ainsi prises dans les premières années du programme GBM pour insérer l'ingénierie dans la recherche biomédicale, y injecter la technologie informatique et l'ouvrir à l'industrie<sup>228</sup> :

- En 1972, est créé le service d'étude de l'équipement scientifique pour identifier les besoins en équipement de l'ensemble de la communauté médicale, les rationaliser et « organiser les contrats avec l'industrie ».
- En 1973, est lancée l'ATP « Informatique et GBM », puis en 1975 les ATP « Acquisition et traitement du signal » et « Validité des méthodes de diagnostic et de traitement utilisant des rayonnements non-ionisants [...] »<sup>229</sup>. Comme nous l'avons vu précédemment, la stratégie adoptée est l'éclatement du GBM entre les différents *objectifs* de l'Inserm, pour pouvoir

---

<sup>225</sup> Css.8 de 1974-1979 « Santé publique, environnement, écologie, écologie parasitaire, biomathématiques, biostatistiques et épidémiologie générale, informatique » sous la présidence du statisticien Philippe Lazar (qui deviendra directeur de l'Inserm dans la décennie suivante), secondé par François Grémy.

<sup>226</sup> Inserm 1970-1974 Bilan et perspective.

<sup>227</sup> L'informatique statisticienne et l'informatique numérique (Cf. §3.1 p. 98). GBM et informatique ne seront réunies qu'en 1987 dans la Css.9 (1987-1990) « Interface physique-biologie, technologies médicales et chirurgicales : imagerie, informatique, génie biologique et médical » présidé par l'ingénieur Pierre Peronneau, lorsqu'une commission sera enfin entièrement attribuée au GBM.

<sup>228</sup> Inserm 1970-1974 Bilan et perspectives p.90-92 avec recoupement d'archives.

<sup>229</sup> En 1975, il y a également une ATP ayant été lancée sous l'objectif « Poumon » qui indique comme second objectif « GBM » (l'ATP 55) cependant aucune ATP en GBM n'est officiellement partagé avec l'objectif « Cerveau ».

toucher progressivement les diverses branches de la communauté biomédicale en prenant en compte leurs besoins spécifiques.

- A partir de 1974, le GBM est introduit dans les commissions permettant le recrutement des spécialistes et de tenir compte des spécificités de leurs recherches lors des évaluations<sup>230</sup>.
- A partir de 1974 également, sont ouverts des ateliers ou des centres technologiques nationaux et régionaux. Les centres régionaux sont des «ateliers de mécanique et d'électronique capables de réaliser certains appareillages demandés par les laboratoires de l'Inserm de la région, en particulier ceux qui sont installés dans les hôpitaux. Quatre ateliers furent créés en 1974 respectivement à Lyon, à Nancy et à Paris» tandis que les ateliers à vocation nationale ont pour but de «réaliser des prototypes plus sophistiqués avec mission de développer une coopération avec les IUT.» (un à Lille en 1974, deux en projet à Lyon). C'est ainsi que le neurophysiologiste-ingénieur Jacques Pernier crée le Centre d'électronique et de mini-informatique (CEMI) à Lyon en 1974.
- Le système d'évaluation des chercheurs est progressivement adapté; une première étape concerne la valorisation des brevets : un brevet devient l'équivalent d'une publication.
- A l'issue du VI<sup>e</sup> Plan se dessine une volonté de créer des structures administratives de coopération avec l'industrie. Conformément à une politique générale qui se traduit aussi au CNRS par la création du Sciences physiques pour l'ingénieur et des clubs du Comité des relations Industrielles, puis d'une direction de la valorisation.

Ainsi l'essor du GBM dans la recherche biomédicale nous apparaît non comme la conquête d'une discipline en coopération-compétition avec d'autres, essayant de se tailler une place dans le découpage académique du savoir, mais comme l'affirmation d'une vision particulière de la recherche au sein des disciplines existantes. Cette vision, comme nous l'avons vu, est portée par des biophysiciens, par des ingénieurs et par des médecins ou des biologistes, convaincus de l'intérêt d'intégrer les nouvelles technologies comme l'informatique pour renouveler leur approche et explorer des voies nouvelles.

---

<sup>230</sup> Il serait intéressant de consulter les PV des commissions scientifiques et de la direction de l'Inserm pour repérer dans ces Css les proportions de chercheurs à orientation GBM qui furent nommés. Ainsi, nous pourrions mieux évaluer cette volonté politique en contre pied d'un milieu réticent au GBM.

... avec des limites

Cependant la tâche leur paraît ardue :

« Il faut se rendre compte qu'il s'agit d'une tâche autrement plus difficile que le développement de la périnatalogie et de l'immunologie. En tout état de cause, il serait souhaitable que la DGRST n'interrompe pas trop brutalement son effort, ou, si elle l'envisage, procède à un transfert de crédits sur le budget de l'Inserm. »<sup>231</sup>

De fait, l'action concertée GBM est renouvelée jusqu'à la suppression de la DGRST en 1981. Les actions concertées ayant été définies comme des actions temporaires, la prolongation de l'action concertée GBM sur au moins trois Plans gouvernementaux successifs pour le soutenir, suggère une difficile imprégnation du secteur biomédical par le GBM<sup>232</sup>. Ses partisans à l'Inserm soulignent deux problèmes principaux :

1. La difficile collaboration entre les chercheurs et les industriels qui n'incitent pas les seconds à investir<sup>233</sup>. Selon les acteurs, elle repose sur une mauvaise compréhension des contraintes propres à chaque groupe, qui est aussi due à une « réserve générale du chercheur à l'égard de l'industrie »<sup>234</sup>. De notre point de vue, cette réserve repose également sur des limites structurelles. En effet, l'Inserm ne dispose pas encore de structures de collaboration avec l'industrie<sup>235</sup> – ce qui recoupe le problème de l'évaluation de telles recherches, discuté plus bas.
2. La difficile collaboration entre les chercheurs et les ingénieurs du laboratoire, « totalement ignorants des besoins réels de la médecine, par absence de structure de dialogue »<sup>236</sup>. S'ajoute probablement le problème de leur faible effectif. De notre point de vue, là encore, et comme il est suggéré, cette difficile intégration de l'ingénieur dans la recherche biomédicale s'explique par l'inadaptation des structures de recherche, ce qui nous permet d'éclairer deux problèmes surtout si l'ingénieur devient chargé de recherche (cf., Jacques Pernier) :
  - a. Un problème d'évaluation. Pratiquant une recherche qui contient une part de développement technique et méthodologique (d'autant plus importante si elle aboutit à un produit commercialisé), le chercheur n'a pas le même rythme d'évolution, ni les mêmes objets d'évaluation : le brevet plutôt que l'article, difficilement pris en compte par

---

<sup>231</sup> Inserm 1970-1974 Bilan et Perspectives p.92.

<sup>232</sup> Parmi les premières actions concertées lancées au début des années soixante, l'action concertée Biologie moléculaire fut également l'une des rares à être renouvelées, ainsi que l'action concertée Calculateur.

<sup>233</sup> Ces réticences suffisamment dépassées, grâce à l'effort de la DGRST notamment, révèlent l'existence d'un marché du biomédical fertile qui explose au milieu des années soixante-dix, dont l'informatique médicale n'est qu'un élément. Et en retour justifie de tels efforts. Ainsi en 1976, ce marché est estimé à environ 3 000 MF avec un taux de croissance envisagé de 18% par an. L'instrumentation biomédicale (électrique, électronique et informatique – hors produits chimiques) représentant à elle seule 2 240 MF (DGRST, *Le Progrès scientifique*, 1978 N°197 p.87-88).

<sup>234</sup> Inserm 1970-1974 Bilan et perspective p.90.

<sup>235</sup> « L'Inserm, d'après sa structure juridique, n'est pas en mesure de passer des contrats avec des industriels », Daniel Laurent [DGRST PV du comité GBM novembre 1972 ; Arch.Nat.19810244/art.228].

<sup>236</sup> Inserm 1970-1974 Bilan et perspective p.90. Cette dernière citation va à l'encontre de ce que j'ai pu constater lorsque j'ai interviewé des ingénieurs-chercheurs bien intégrés dans leur laboratoire de neurophysiologie. Est-ce un cas spécifique aux cliniciens ?

ses collègues médecins ou biologistes. Ceux-ci ne sont pas compétents dans ce domaine particulier.

- b. Un problème de considération. Une attitude caractéristique du milieu biomédical consiste à considérer l'ingénieur et le technicien comme de simples servants des instruments, réduits à la spécialisation pour laquelle ils furent recrutés. Cette attitude repose également sur des raisons juridiques et administratives : tandis qu'un chercheur « possède son poste », celui de l'ingénieur de recherche « appartient au laboratoire ». Elle est souvent corollaire d'un sentiment de supériorité de la part du médecin vis-à-vis de l'homme de la technique. La reconnaissance de l'ingénieur comme chercheur et comme pair ne va donc pas de soi. Ainsi, elle fut l'objet de discussions vives dans des commissions.

« Le recrutement par les organismes officiels de recherches, en particulier l'Inserm, parmi ses chercheurs de statut, de bio-ingénieurs antérieurement contractuels a pu se faire dans quelques cas particuliers : certaines commissions de l'Inserm semblent défavorables à cette insertion de bio-ingénieurs dans les cadres de recherche, au même titre et avec les mêmes possibilités que les biologistes ou les médecins. »<sup>237</sup>

A travers les barrières ainsi dressées, pour lesquelles il nous est difficile de différencier les facteurs limitants structureaux des facteurs limitants d'ordre psychologique ou culturel, se dessine le rôle crucial de l'interface recherche-industrie et de l'ingénieur dans la technisation de la recherche biomédicale.

### ***3.3.2. Du laboratoire de neurophysiologie au centre d'informatique***

L'étude de la mise en place du GBM à l'Inserm confirme que ce programme est l'œuvre des ingénieurs, des biophysiciens, des biologistes et médecins technophiles (dont certains neurophysiologistes). Au cœur du GBM, qu'il préfigure puis dont il suit les rythmes, le laboratoire de neuro-électrologie du médecin Paul Gerin offre un cas d'étude d'une zone privilégiée de contact où s'effectuent des transferts entre la communauté des médecins-biologistes et celle des ingénieurs-physiciens. Ainsi de ce laboratoire naîtra en 1974 l'un des premiers centres technologiques de l'Inserm : le Centre d'électronique et de mini-informatique (CEMI), que dirigera un élève de Gerin, l'ingénieur Jacques Pernier. A partir de l'itinéraire de cet ingénieur électronicien mué en neurophysiologiste nous chercherons à généraliser en nous fondant sur d'autres cas similaires (indiqués en notes de bas de page), puis à identifier des processus de changement.<sup>238</sup>

---

<sup>237</sup> DGRST Rapport ACGBM 1970 p.32.

<sup>238</sup> Les sources utilisées pour ce point biographique sont principalement les entretiens des 4 mars, 25 et 26 mai 2010 avec Jacques Pernier, l'historique de l'Unité 280 & 821 qu'il a rédigé et les rapports d'activité des laboratoires de Paul Gerin et Jacques Pernier [Arch.Inserm.9203-169 et Arch.Inserm.9203-328] que complète l'analyse de leurs publications. D'autres entretiens ont permis d'apporter des précisions ainsi qu'un autre éclairage : avec Paul Gerin, le 5 octobre 2010, avec Danielle et Roger Arnal, le 8 juin 2010, (Danielle Arnal, ingénieur INSA, avait travaillé chez Paul Gerin de 1966 à 1971) et Marc Jeannerod, le 22 octobre 2009 (médecin ayant débuté chez Paul Gerin puis qui lui a succédé à la tête de l'U94 en 1974).

Figure 19 : Jacques Pernier et Paul Gerin



*\* L'intégration de l'ingénieur : Jacques Pernier chez Paul Gerin*

En 1965, fraîchement diplômé de l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Lyon, où Robert Arnal le dote d'un solide bagage en mathématiques appliquées et l'initie au hardware<sup>239</sup>, Jacques Pernier s'essaye quelques mois à l'industrie, qui lui paraît intellectuellement stérilisante. Découvrant une annonce pour un poste de stagiaire de recherche à l'Inserm à l'hôpital Neurologique de Lyon, déposée par le médecin Paul Gerin à l'Association des anciens élèves de l'INSA, il se laisse alors séduire par la neurophysiologie<sup>240</sup> : il rejoint en 1967 le laboratoire de neuro-électrologie, qui a besoin de ses compétences en électronique et en traitement du signal<sup>241</sup>. Bien que son directeur soit chargé de recherche à l'Inserm, son laboratoire ne deviendra une unité Inserm, l'U.94, que deux ans plus tard.

« Robert Arnal voulait m'envoyer travailler à la Thomson, une grande entreprise qui travaillait dans l'électronique et les semi-conducteurs [maison mère d'Alstom]. Elle fabriquait des radars surtout pour l'armée, et comme j'étais passionné par le traitement du signal, j'y suis allé... mais ils voulaient que je remplace un ingénieur s'occupant de la signalisation du métro à Paris... les automatismes ne m'intéressent pas vraiment et puis, je craignais la routine [...]. Quand il a su que je rentrais à l'Inserm, il s'est fâché car pour lui c'était déshonorant. Il estimait qu'un ingénieur devait gagner un salaire décent ! [...] Il n'avait pas tort et puis le niveau scientifique ne volait pas haut. On publiait tous dans des revues françaises...oui, c'était très franco- français... »

Mais son directeur, Paul Gerin, déjà familier de l'INSA, est un original. A l'issue d'un séjour effectué aux Etats-Unis en 1958 grâce à une bourse américaine Fulbright, au National Institute of Health, « la Mecque des recherches en médecine », il revint métamorphosé, convaincu que la recherche biomédicale

---

<sup>239</sup> Pour un ingénieur électronicien des années soixante, il s'agit par le biais de travaux pratiques et de cours théoriques d'acquiescer les bases « sur le fonctionnement et les réglages d'une mémoire à tores de ferrite, sur les circuits additionneurs en binaire... Les cours théoriques étaient inspirés de ceux du MIT aux USA, où Robert Arnal se rendait de temps ». Ce n'est que l'année suivante que l'INSA, créé en 1957 sur le campus de la Doua près de la faculté des Sciences, se dote d'un ordinateur – un PDP-8S– grâce à un de ses professeurs d'électronique Robert Arnal, qui y créa un enseignement d'informatique (cf. note 245p.90). Au début des années soixante dix, ce dernier se spécialise dans la gestion.

<sup>240</sup> Comme pour Jacques Pernier, l'on retrouve chez les témoins à l'origine de leur réorientation en neurophysiologique, cette fascination pour le cerveau éveillée par un parent médecin, alliée à l'attrait pour l'univers stimulant d'une recherche en plein essor dont la presse commence à parler.

<sup>241</sup> Le traitement du signal se base sur la « La théorie de l'information [...] qui] permet de quantifier des quantités d'informations que l'on peut véhiculer par un canal (une ligne téléphonique par exemple). Nous avons des enseignements orientés vers la résolution de problèmes pratiques, comme par exemple, comment traiter le signal reçu par un Radar pour détecter un avion. ».

devait prendre une nouvelle dimension<sup>242</sup> : ce psychiatre passionné d'électronique, au point d'écrire un guide d'électronique à l'usage des médecins et des biologistes<sup>243</sup>, rapporta de coûteuses machines électroniques, inconnues en France jusque-là, telle le moyennneur analogique Enhancetron de Nuclear Data Corporation utilisé au service de programmes de recherche d'EEG quantitative<sup>244</sup>. Pour exploiter au mieux ces machines, il s'entoure rapidement d'ingénieurs, encore rares dans le milieu biomédical. Allant ainsi à l'encontre des préjugés des deux milieux professionnels, il noue des liens étroits avec l'INSA<sup>245</sup>. Alliance nécessaire pour ce chercheur dont la stratégie scientifique exige la multiplication des approches – donc des techniques – de l'enregistrement unitaire à l'EEG pour progresser sur le terrain encore incertain des recherches intégratives<sup>246</sup>.

Cependant Jacques Pernier, jeune ingénieur formé pour l'industrie, a tout à apprendre du nouveau domaine qu'il rejoint. Son apprentissage se fera au contact de ses collègues neurologues et neurophysiologistes, ainsi que par les livres et en suivant des cours à la faculté des sciences voisine.

---

<sup>242</sup> C'est dans les mêmes termes que Suzanne Tyč-Dumont parlera de son premier directeur de laboratoire Paul Dell au parcours semblable (Debru et al., 2008, p.57-66). Il en va de même pour Antoine Rémond (biographie p.41) et d'autres neurophysiologistes influents des années cinquante. Rejoignant la conclusion de J.G. Barbara, j'observe que le séjour aux États-Unis, en début de carrière du biologiste ou du médecin, est une étape décisive et participe au renouvellement de la neurophysiologie française (Barbara, 2008).

<sup>243</sup> Gerin, 1966.

<sup>244</sup> Cf. §2.1.2, p.61.

<sup>245</sup> Robert Arnal a choisi d'acquérir un PDP-8-S plutôt qu'un petit ordinateur plus répandu à l'époque dans les laboratoires, l'IBM1130 : « Pour faire du temps réel ! IBM ne savait pas faire des machines temps réel. C'est ce qui a permis de se lancer dans les applications aux recherches neurologiques, de définir 7 ou 8 sujets de thèse dans ce domaine. » (cf. R. Arnal). Selon Jacques Pernier, Arnal l'aurait même acheté sous les conseils de Paul Gerin « qui avait découvert cette machine sur une pub de la revue *Scientific American* ». De fait, plusieurs thèses seront soutenues par les assistants de l'INSA en collaboration avec Paul Gerin : Alain Dussauchoy (1969) *Contribution à l'étude des propriétés statistiques du rythme alpha* ; Michel Schneider (1970) *Modèles et méthodes de détermination des sources dipolaires en électroencéphalographie* (« Eh oui ! Déjà à cette époque ») ; André Laviron (1971) *Interprétation automatique en ligne de l'électroencéphalogramme* ; Bernard Dubuisson (1971) *Méthodes de détection du potentiel évoqué auditif chez l'homme*. Danielle Arnal, l'épouse de Robert Arnal (1971) *Contribution à l'étude des potentiels évoqués moyens visuels et à leur application en ophtalmologie...*

<sup>246</sup> Le laboratoire se consacre principalement à l'étude de l'épilepsie. Mais médecin avant tout, à la curiosité universelle, Paul Gerin encourage d'autres thématiques de recherche comme l'étude des lésions de la barrière hémato-encéphalique, les effets de la pénicilline sur cette dernière, etc. (RA 1969). Jacques Pernier se consacre à la caractérisation de l'activité unitaire corticale en lien avec différents événements (épileptogénèse, veille/sommeil, hypoxie, potentiels évoqués auditifs et visuels...).

Cependant une première divergence se dessine avec son directeur, révélant les limites, du moins les freins à son active intégration :

« Gerin voyait d'un mauvais œil le fait que j'apprenne l'anatomie du cerveau, car il estimait que je devais seulement me perfectionner en traitement du signal, et que je devais laisser la neurophysiologie aux médecins. Je pense qu'il n'avait pas compris que pour collaborer avec les physiologistes, j'avais besoin de comprendre leurs questions et devais parler le même langage. Mon attitude, en tant que directeur d'Unité, fut complètement différente. J'ai poussé les chercheurs ingénieurs de mon labo à apprendre la Physiologie et je leur reproche même de ne pas étendre leur savoir dans d'autres disciplines, comme la biochimie »

L'on retrouve quelques traces chez Paul Gerin d'une attitude caractéristique du milieu biomédical, consistant à considérer l'ingénieur et le technicien comme de simples servants des instruments, réduits à la spécialisation pour laquelle ils furent recrutés, comme nous l'avons décrite précédemment<sup>247</sup>. Néanmoins, dans son projet de transformation de son laboratoire en unité Inserm, Paul Gerin a besoin de collaborateurs : Jacques Pernier sera chercheur. Et, l'incitant à renforcer ses compétences, Pernier commence par passer un DEA en électronique puis par préparer un doctorat dont il définit le sujet avec Paul Gerin mais qui est dirigée par un professeur de physique à la faculté des sciences<sup>248</sup>. De fait, sa thèse à fort caractère méthodologique, présentée en 1972, lui vaut le titre de docteur en physique<sup>249</sup>. Devenu chargé de recherche, il se plie aux critères d'évaluation des commissions qui ne le distinguent pas du médecin ou du biologiste. Ce sera d'ailleurs une pierre d'achoppement pour les chercheurs à orientation technique : Pernier se souvient de la difficulté à faire comprendre à ses collègues du temps que prend une recherche qui inclut une mise au point technique innovante avant de produire des résultats théoriques, qui ne s'évalue pas tant à l'article mais au brevet.

### \*\* *Le passeur technologique*

A la fin des années soixante, il conçoit une machine électronique analogique : un « discriminateur de potentiels d'action » qui rend possible une nouvelle voie de recherche au sein du laboratoire : l'exploration des réseaux neuronaux grâce à l'enregistrement multi-unitaire (Pernier, 1971)<sup>250</sup>.

---

<sup>247</sup> Cf. p.88.

<sup>248</sup> C'est ainsi que le neurophysiologiste Alfred Fessard impose au jeune polytechnicien Jean-François Dormont de suivre le DEA de neurophysiologie à Orsay.

<sup>249</sup> J. Pernier (1973) *Organisation temporelle de l'activité neuronale spontanée du cortex cérébral. Approche statistique sur petit ordinateur. Essai d'interprétation*. Cette thèse est l'une des premières en France où apparaît la méthodologie numérique au service des neurosciences. Citons également celles d'autres chercheurs-ingénieurs au parcours semblable : l'ingénieur Jean-François Dormont cité précédemment (1973) *Etude des modalités de décharges des cellules du noyau ventro-latéral du Thalamus : caractéristiques individuelles et homogénéité nucléaire* ; le physicien et ingénieur chimiste Pierre Etevenon chez Boissier à l'hôpital psychiatrique Sainte Anne qui présentera sa thèse d'état après douze années de recherche (1977) *Etude méthodologique de l'électro-encéphalographie quantitative. Applications à quelques exemples*.

<sup>250</sup> Dès qu'il disposera d'un ordinateur en propre, il développera des programmes pour séparer ou discriminer les potentiels d'action, ce que, concomitamment, André Hugelin fera directement pour l'exploration des centres respiratoires. Nous avons également vu en première partie plusieurs cas d'utilisation de machines analogiques préfigurant les ordinateurs.

En 1970, l'installation de l'unité 94 dans ses nouveaux locaux (Jacques Pernier participe à la réalisation des plans) lui permet de bénéficier d'un crédit exceptionnel d'équipement<sup>251</sup>. Jacques Pernier en profite pour inciter son directeur à se doter d'un mini-ordinateur pour lequel il se voit chargé de rédiger la demande de crédit auprès de l'Inserm et de la Commission Informatique.

« Pour acheter un ordinateur, on passait par l'Inserm. Il fallait préparer un gros dossier, passer par une commission nationale en informatique pour avoir l'autorisation. Et si c'était du matériel américain, il fallait vraiment avoir un dossier en béton ! La France voulait défendre son industrie informatique, la CII, et donc il fallait acheter français. [...] Il fallait argumenter, expliquer dans le détail ! Nous, nous y arrivions car nous connaissions parfaitement la machine et en plus on connaissait les défauts des autres ».

Riche de sa formation d'ingénieur industriel, il est l'un des rares chercheurs à comprendre le vocabulaire technique des constructeurs ainsi qu'à pouvoir établir le cahier des charges exigé pour l'attribution d'un crédit aussi important<sup>252</sup>. En effet, cet exercice impose aux chercheurs de présenter un programme de recherche ; c'est-à-dire de présenter synthétiquement leur objectif de recherche, de faire valoir toute sa pertinence en regard de l'appel d'offre auquel ils répondent quitte à ajuster leurs propres recherches, de préciser un calendrier de recherches, de détailler leurs besoins et d'en estimer le coût. Il en va de même lorsque le directeur, devant pourvoir aux besoins sans cesse croissants de son laboratoire, commence à surveiller les appels d'offres de la DGRST ou de l'Inserm et n'hésite plus à collaborer avec l'industrie<sup>253</sup>.

« La notion de contrat en ce qu'il comporte d'obligations de la part des bénéficiaires, est très certainement devenue, à partir de cette action concertée [GBM], une bonne habitude dans notre pays et en particulier pour le milieu médical, y compris en matière de recherche clinique »<sup>254</sup>

Certains chercheurs nouent même des liens étroits avec les constructeurs d'ordinateurs, les premiers aidant les seconds à concevoir des systèmes informatiques en spécifiant leurs besoins ou en offrant des programmes que le constructeur pourra intégrer comme « package » à sa prochaine machine ; ou encore, en devenant les « prescripteurs » de la marque auprès de leurs collègues. En échange le fabricant offre son assistance, livre des machines à prix réduit ou parfois gratuitement, forme le chercheur à leur utilisation.

---

<sup>251</sup> C'est dans une telle circonstance que le polytechnicien Jean-François Dormont dote d'un PDP-8 le laboratoire de neurophysiologiste Benoit à Orsay, qu'il a rejoint après avoir quitté celui d'Alfred Fessard.

<sup>252</sup> Le second PDP-8 de l'unité 94 acquis en 1973 fut payé 275 000 F (Inserm, Rapport Moschetto, 1972) à l'aide d'un contrat avec la DGRST (c.73.7.1695, AC GBM; 120'000FR). Dans les années soixante et soixante-dix, au-delà de 200 000 F, un instrument apparaissait dans les lignes budgétaires de la DGRST pour les sciences de la vie comme un « gros équipement », qu'il s'agit d'un ordinateur ou d'un microscope électronique.

<sup>253</sup> Voir la liste des contrats de ces laboratoires en annexe. En particulier, mentionnons en 1973, la collaboration de l'U94 Paul Gerin avec la firme d'instrumentation médicale ECEM dans le cadre de l'action concertée GBM de la DGRST (*Système modulaire de recueil et prétraitement en ligne de signaux électrophysiologiques, neurophysiologie en particulier, et contrôle d'expérience, éventuellement sur mini-ordinateur*).

<sup>254</sup> Témoignage du successeur du neurophysiologiste Alfred Fessard à la présidence de l'action concertée GBM de la DGRST : Daniel Laurent que rejoindra quelques années plus tard Jacques Pernier (Chatriot & Duclert, 2006, p. 309).

Avec l'informaticien Jean-François Echallier recruté l'année de l'acquisition de l'ordinateur, Jacques Pernier assure ensuite la maintenance de l'ordinateur et l'adapte aux besoins des neurophysiologistes en le complétant par des périphériques de son cru, informatisant progressivement le poste d'électrophysiologie<sup>255</sup>.

Il apprend à programmer « sur le tas ». En cela il est représentatif de la plupart des ingénieurs intégrés au cours des années soixante dans les laboratoires de neurophysiologie, qui n'apprennent pas l'informatique au cours de leurs études<sup>256</sup>. Il conçoit des programmes pour traiter automatiquement divers signaux biologiques, en puisant dans ses connaissances en analyse numérique et en statistiques, apportant de nouvelles méthodes à ses collègues neurophysiologistes dont la formation était pauvre en mathématiques. L'ordinateur est ainsi intégré, lui aussi, dans le laboratoire et y devient un instrument (presque) comme les autres.

---

<sup>255</sup> Voir Figure 8 p43.

<sup>256</sup> Pour exemple : Jean-François Dormont fut envoyé en 1967 par François Grémy, probablement sur le crédit d'un contrat GBM de la DGRST, chez Walter A. Rosenblith au MIT pour se former à l'informatique, presque absente de l'école Polytechnique jusqu'en 1968. Quant à l'ingénieur chimiste Pierre Etevenon, il a découvert en 1965 l'électro-encéphalographie et les ordinateurs à l'occasion d'un séjour chez Léonid Goldstein aux Etats-Unis.

**Pierre-Hippolyte Benoit** - Electronique (« un peu vieillot, mais réelle compétence appuyée sur des appareils anciens, où l'on voyait les électrons ») – P.H. Benoit est remplacé l'année suivante par ingénieur Jean Cheval

- Théorie du câble, potentiels de repos et d'action.\* (« PH Benoit connaissait très bien la théorie du câble, y compris mathématiquement. Mais elle ne s'applique qu'aux potentiels non propagés et n'a pas de contenu informatif »)

- Synapse nerf-muscle (libération quantique)

**Edouard Coraboeuf:** - Théorie d'Hodgkin-Huxley \* (model de circulation d'ions de part et d'autre de la membrane du neurone. « Au plan du modèle, nous n'entrons pas dans ses arcanes mathématiques [...] Au plan biologique, je le trouvais très fermé. [...] Au plan de l'animation intellectuelle, je trouvais que c'était un désastre car elle orientait les manips vers des préparations très réduites qui étaient des curiosités biophysiques qui dépassaient nos outils expérimentaux et intellectuels. La physiologie qui est intégration des différentes échelles y perdait beaucoup. Mais, au fond HH, nous permettait de bonnes discussions. Mais la déférence m'ennuie. Que ce soit Benoit, Coraboeuf ou Asher, la déférence envers les grands frères anglais étaient très fortes, peut-être même essentielle. Tout cela allait, intellectuellement, vers un réductionnisme physique qui ne laissait pas assez de place, à mon goût, aux aspects biologiques : relations noyau- cytoplasme- membrane; synthèse, mise en place, interactions entre protéines et interactions protéines-lipides membranaires.»)

- Potentiel d'action cardiaque

**Philippe Asher:** - Synapses. Critères de la libération d'un neuromédiateur. Diversité des neuromédiateurs et leurs récepteurs. (« Nous n'avions pas de cours de statistiques proprement dit, mais on en faisait pas mal à propos de la libération synaptique quantique »)

**Madame Albe-Fessard:** - Somesthésie

**Pierre Buser:** - Audition – Vision

**David Bowsher:** - Neuro-anatomie du système nerveux central

**Jean Massion:** - TP + Motricité (surtout cervelet)

**Figure 20 : Programme du DEA de neurophysiologie d'Orsay lors de sa création en 1963**

D'après le souvenir du neurophysiologiste Henri Condé, collègue et ami de Jean-François Dormont (entretien du 2 juillet 2010). Tous deux ne se souviennent pas d'y avoir suivi des cours de mathématiques, cependant, les futurs neurophysiologistes étaient formés à l'électronique et étaient éveillés à des modèles mathématiques (\*) Cependant chaque faculté proposant ses propres programmes, nous ne pouvons pas généraliser celui du DEA Orsay.

Pernier participe aux orientations de recherche du laboratoire<sup>257</sup>, diffusant ainsi une façon différente d'aborder l'expérience et de penser son objet. Un exemple représentatif est donné par l'analyse du tracé d'un potentiel d'action. Tandis que la plupart des neurophysiologistes cherchent à décrire un phénomène en identifiant des caractéristiques simples, visuelles, telle la fréquence, pour décrire l'activité électrique d'un neurone de telle sorte qu'il puisse distinguer sa réponse à deux stimulations différentes, Jacques Pernier essaye de la modéliser, en cherchant quelle loi mathématique régit le comportement du neurone<sup>258</sup>. Différence dans la manière même d'expliquer un phénomène, donc de le comprendre.

<sup>257</sup> Le rapport d'activité de 1971 indique dans la rubrique « direction scientifique » : « la critique des programmes de recherche est effectuée au sein de l'unité par l'ensemble des chercheurs, et plus particulièrement par M. Jeannerod, J. Pernier et moi-même [P. Gerin] » (p.10).

<sup>258</sup> Pernier, 1972. C'est une démarche semblable qui distingue électro-encéphalographiste Pierre Etevenon des patriciens hospitaliers ayant recours à l'EEG. En effet, il développe non seulement des méthodes d'analyses quantitatives de l'EEG

« Scherrer me reprochait toujours de me lancer dans des activités sans but clinique immédiat. Je suis physicien et je m'intéresse au signal biologique pour lui-même. A chaque fois qu'il me voyait, il me disait mais « Pernier, à quoi ça sert ? » ! [...] En tout cas, quand on n'a pas de formation en mathématiques, on n'a pas le goût ou les capacités pour des recherches comme j'ai pu en mener. [...] L'avantage lorsque l'on a une formation d'informatique, on accepte des concepts en physiologie beaucoup plus facilement même s'ils sortent des schémas classiques. [...] Du coup, nous avons une ouverture terrible. C'est pour cela que je suis en ce moment des cours de physique théorique. Elle m'aide à comprendre ce qu'est la conscience ! Il y a d'autres exemples. Prenez la notion de propriétés émergentes des réseaux de neurones. Je les comprends très bien. Un physiologiste n'arrive pas à comprendre que l'intelligence d'un réseau de neurones est infiniment supérieur à la somme de l'intelligence de tous les neurones. Pour moi c'est évident, pas pour eux ! »

Et c'est justement cette ouverture féconde que peuvent apporter les concepts mathématiques et ceux des sciences de l'ingénieur (automatisme, etc.) que de rares neurophysiologistes avaient déjà vue dans l'effervescence cybernéticienne :

« Ce sont des modèles mathématiques et physiques représentés dans la cybernétique qui peuvent être envisagés pour comprendre l'engendrement de ces propriétés nouvelles intégratives ».<sup>259</sup>

Son directeur et lui-même s'investissent beaucoup dans le pilotage et l'évaluation du programme GBM de l'Inserm<sup>260</sup>. Lorsque Paul Gerin part en retraite, les deux hommes continuent à travailler ensemble. Jacques Pernier crée alors son propre laboratoire, à Lyon en 1974, à la demande de la direction de l'Inserm : le Centre d'électronique et de mini-informatique (CEMI). Il y met sa triple compétences de neurophysiologiste, d'ingénieur et d'informaticien au service de la recherche biomédicale : conseil et expertise, réalisation de systèmes informatisés à la demande des chercheurs, en associant parfois des industriels, etc. suivant de près les progrès de l'informatique. Ainsi, au milieu des années soixante-dix, il opère le tournant de la micro-informatique en construisant au CEMI, le micro-ordinateur « Micromegas »<sup>261</sup>. Créé comme « atelier régional », le CEMI exerce une influence forte à Lyon et parmi les neurophysiologistes, mais qui se fait sentir au-delà de ces cercles<sup>262</sup>.

---

(Il importe la transformée de Hilbert : Etévenon & Giannella, 1980; Etevenon, Giannella, & Abamou, 1980; Clochon, Fontbonne, Lebrun, & Etévenon, 1996) mais également des modèles d'EEG et des modèles en psycho-pathologie et états de vigilance, proposant des simulations informatiques dès le début des années soixante-dix (Etevenon & Lévy, 1972). Il en était de même pour l'équipe de Jean Scherrer mais, ne bénéficiant pas encore d'ordinateur, le modèle d'EEG qu'elle proposait était électronique (Fourment, Jami, Calvet, & Scherrer, 1965).

<sup>259</sup> Citation d'Alfred Fessard (Debru et al., 2008, chap. "Les relations entre Psychologie et Neurosciences cognitives" par Alain Berthoz ; p. 123-128).

<sup>260</sup> Paul Gerin est membre du comité ad hoc de l'ATP 24 « Informatique et GBM » à l'Inserm et de la C.Ss.6 « neuro » de 1974 à 1979. Jacques Pernier rejoindra le comité de l'action concertée GBM de la DGRST dans les années soixante-dix et sera membre de la C.Ss.3 « GBM, biochimie, biophysique... » de 1979 à 1982, vice-président de la C.Ss.9 « Biophysique, technologies biomédicales et chirurgicales » de 1991 à 1994 puis membre de la C.Ss.7 « Sciences des techniques appliquées à la médecine qui regroupe l'ingénierie médicale et l'informatique » de 2003 à 2006.

<sup>261</sup> Le Micromegas est construit à base du microprocesseur 8080 (INTEL), avec la collaboration de Paul Rubel, un assistant à l'INSA. le CEMI abandonnera sa fabrication pour les autres laboratoires lors de la commercialisation des PC d'I.B.M. [1977 dossier technique déposés par l'Anvar pour le micro-ordinateur Micromegas, réalisé par MH Giard, P Gerin, J Pernier, G Bailly (dossier Anvar n°16 374)].

<sup>262</sup> De 1974 à 1978, 67 appareils électroniques de divers types furent commandés par des services hospitaliers, des chercheurs ainsi que par l'IUT et l'école d'ingénieur (INSA) de Lyon. Presque la moitié de ces appareils furent réalisés

« J'ai pris la direction d'un centre technique à la demande du directeur général, M. Constant Burg, passionné par tout ce qui était physique médicale, avec lequel je m'entendais extrêmement bien, très accessible. C'est lui qui a remonté le niveau de l'Inserm ! [...] Il revenait d'un voyage en Grande-Bretagne où il avait visité des laboratoires de GBM. Au Canada c'était pareil [...]. Mais j'ai refusé pendant un an. Créer un centre technique était mal vu ! En fait il y avait deux discours : celui de la direction et celui des directeurs de labos CNRS et Inserm qui se moquent bien de la collaboration avec l'industrie »

Cette réticence à collaborer avec l'industrie, qui entrave l'essor du GBM, est un objet de plainte récurrente dans les rapports GBM, qu'ils émanent de l'Inserm ou de la DGRST.

Au long de sa carrière, Jacques Pernier entrouvre à ses collègues, présents ou futurs, une fenêtre sur une autre façon de faire de la recherche. Il contribue à former une nouvelle génération de chercheurs pour laquelle l'informatique est une technologie évidente et nécessaire. Ainsi aux thèses qu'il encadre<sup>263</sup>, s'ajoutent de nombreuses conférences et séminaires. Dans les années quatre-vingt dix, il se consacrera davantage à l'enseignement : à l'Université scientifique de Lyon 1, il sera en charge du certificat de Physiologie Neurosensorielle, puis interviendra dans le DEA de GBM Rhône-Alpes ; enfin il sera responsable du module Instrumentation en Electro- et Magneto-encéphalographie du Master "Ingénierie pour la Santé". Il sera également membre du conseil pédagogique du Master "Images et Systèmes" à l'INSA de Lyon : l'ingénieur, qui n'a jamais cessé de l'être, revient dans son école enseigner la discipline qui l'en a distingué ! Sa contribution aux sciences et aux techniques sera reconnue par une médaille d'argent décernée par le Jury du 6<sup>e</sup> salon international des inventions et des techniques nouvelles à Genève en 1977 et par sa nomination au grade de Chevalier dans l'Ordre du Mérite par le ministre de la Santé, le 17 décembre 1978.

Avec la fermeture des centres technologiques de l'Inserm sous la direction de Philippe Lazar (1982-1996), Pernier recentrera progressivement ses recherches sur le traitement du signal au service des neurosciences<sup>264</sup> dans l'esprit de celui qui l'introduisit dans ce champ de recherche. Leurs parcours respectifs un moment partagé nous enseigne que la recherche en grande dimension, qui avait ébloui Paul

---

pour des laboratoires de neurophysiologistes ou de service EEG d'hôpitaux, pour l'acquisition (12) ou le traitement du signal (4) ou pour les deux (6), ainsi que pour le pilotage automatique d'expériences (3). Une part importante revient à la cardiologie, reflet au niveau d'un laboratoire des proportions constatées au niveau de du programme national GBM ! Les neurophysiologistes ayant sollicité le CEMI sont Michel Imbert (Collège de France), Alain Berthoz (CNAM Paris), Jacques Melher (Maison des sciences de l'homme, Paris), Marc Jeannerod (son ancienne unité : U.91, Inserm, Lyon) et Michel Jouvét (U.52, Inserm, Lyon).

<sup>263</sup> Nombreux des jeunes chercheurs qu'ils forment viennent de l'INSA mais aussi de l'Ecole centrale de Lyon, Pour le titre de docteur-ingénieur : Jean Marie Pinon (1980), CEMI et INSA de Lyon, *Reconnaissance de formes dans l'électroencéphalogramme., Application à la détection automatique des bouffées de pointes-ondes diffuses.*; Pour le titre de « docteur en GBM » (signe manifeste de l'installation de cette nouvelle communauté au sein de la recherche biomédicale !) : Olivier Bertrand (1985) *Système informatisé d'enregistrement séquentiel de potentiels évoqués auditifs précoces adapté à la surveillance des malades comateux.* ; Jorge Bohorquez (1991) *Monitoring cérébral à l'aide des potentiels évoqués auditifs en neurochirurgie* ; Sorlié Cécile (1992) *Recalage d'atlas bidimensionnel sur des images cérébrales* ; Marc Thévenet (1992) *Modélisation de l'activité électrique cérébrale par la méthode des éléments finis.* Yvert Blaise (1996) *Modélisation réaliste de l'activité électrique cérébrale.*

<sup>264</sup> 1984 : création de l'Unité 280 : "Applications Biomédicales de l'Informatique et du traitement du signal " puis en 1988 : " Signaux et Processus cérébraux " et enfin de 1998 à 2006 : "Processus Cérébraux et Activation Cérébrale" (Olivier Bertrand lui succède en 2006 et crée l'Unité 821 : " Dynamique cérébrale et Cognition ").

Gerin lors de son séjour aux Etats-Unis, n'est pas qu'une question de grosses machines et de bonnes équipes techniques qui gravitent autour d'elle, mais de toute une structure encadrant la recherche, englobant l'industrie et les pouvoirs publics, et avec laquelle il faut composer.



**Figure 21 : Inauguration du bâtiment Inserm de Lyon, cours Albert Thomas, le 8 mars 1987**

De gauche à droite : Philippe Lazar, directeur de l'Inserm, Jacques Valade, ministre de la Recherche, René Mornex, Jacques Pernier, Jean-Louis Touraine, Président du Conseil Scientifique Consultatif Régional Inserm [Photographie donnée par Jacques Pernier, ainsi que les photographies-portraits de Paul Gerin et de lui-même]. Cette cérémonie consacre le rôle de l'ingénieur informaticien dans la mutation des neurosciences.

Dans les années soixante, quelques rares ingénieurs, formés pour l'industrie, sensibilisés à ses contraintes économiques et dotés d'un solide bagage mathématique et technique, se tournent vers la biologie. Ils y pénètrent par des zones privilégiées de contact.

Dans le cas étudié, la zone de contact se dessine autour d'un chercheur en neurophysiologie, marqué par le modèle américain et dont le parcours scientifique s'inscrit dans une tradition de recherche quantitative. Ce biologiste, bien intégré dans le maillage local, économique et académique (la proximité géographique est un élément non négligeable : l'INSA est à 8 km de son laboratoire), y trouve un passeur technologique, allié nécessaire à son programme de recherche.

Se conformant aux règles de son nouveau groupe et apprenant son langage, le passeur fait sienne l'activité du laboratoire, qu'il modifie progressivement en apportant des solutions ou des perspectives en termes de calcul et de modélisation mathématique, lesquelles justifient ou nécessitent l'acquisition de calculateurs. Une fois que l'équipe dispose de ces équipements et sait les utiliser, elle n'hésite plus à s'engager sur de nouvelles voies de recherche et trouve de plus en plus de problèmes à numériser et à modéliser. Processus dialectique d'offre et de demande de calcul qui caractérise toute l'informatique à l'époque, et qui se constate pratiquement par la saturation rapide des ordinateurs, quelques mois après leur installation.

L'apparition de l'équipement lourd impose la mobilisation de ressources d'un ordre de grandeur très supérieur. Entrepreneur de science, le directeur, ou l'ingénieur selon le degré d'autonomie dont il

bénéficie, utilise les agences nationales pour soutenir et développer son programme de recherche. En retour, il participe à la définition de la politique scientifique.

Au sein de la discipline d'accueil, le passeur devient un point de ralliement, un leader, pour de jeunes chercheurs. Il noue également des relations et alliances avec des laboratoires de la discipline hôte ou à ses frontières, ainsi qu'avec des entreprises qui peuvent offrir des moyens supplémentaires.

Devenant responsable de sa propre équipe ou de son propre laboratoire, il peut jouer le rôle de « champion » ou de « pilote » des agences nationales vouées à la modernisation de la recherche.

Le réseau se densifie.

### ***3.3.3. Ouverture : un changement de génération***

Dans les années soixante-dix apparaît l'informaticien dans les laboratoires déjà équipés d'ordinateurs ou en voie de le faire : Jean François Echallier chez Paul Gerin, Michel Dufossé chez Jean Scherrer puis chez Jacques Paillard, Yves Burnod chez Scherrer ou encore Jacques Martinerie chez Antoine Rémond... autant de cas particuliers qui mériteraient tous d'être étudiés. L'intégration de l'informaticien semble bénéficier de cette même zone privilégiée par laquelle l'ingénieur pénétra, lui ayant ainsi facilité le chemin. Cependant l'informaticien, imprégné d'une culture professionnelle nouvelle, rencontre des neurosciences qui ne sont plus tout à fait celles qui accueillirent l'ingénieur dans la décennie précédente. La question de la nature, des conséquences et des limites de ce second transfert se posent à nouveau. Les propositions de réponses constituent un prolongement possible de l'étude ici présentée. Néanmoins mentionnons ici quelques pistes de travail.

Au cours des années soixante-dix, la rencontre entre l'informaticien et le neurobiologiste se situe à la convergence (d'au moins) trois phénomènes :

1. La multiplication des formations en informatique à la fin des années soixante injecte sur le marché de l'emploi de plus en plus d'ingénieurs informaticiens, dont un nombre croissant se tournant vers la recherche. Les probabilités de rencontre avec les neurobiologistes augmentent mécaniquement. Ainsi, l'Inserm commença à recruter des informaticiens en 1968<sup>265</sup>.
2. La baisse continue des prix des ordinateurs, combinée au progrès de leurs performances, contribue à répandre l'informatique dans les laboratoires. Si leur multiplication reste lente, les ordinateurs deviennent visibles dans l'horizon des neurobiologistes.
3. La maturation de la science informatique, entendons l'informatique théorique, qui, à mesure que ses spécialistes consolident ses positions institutionnelles, s'ouvre à la neurobiologie. En dépassant leur rejet antérieur pour la cybernétique qui aurait englobé sans distinction les projets de type Perceptron, en intelligence artificielle, et d'autres de modélisation de neurophysiologistes, ils réalisent qu'ils partagent des thématiques communes<sup>266</sup>.

Quelles sont les conséquences de ce nouveau transfert pour le groupe des neurobiologistes et pour le groupe des informaticiens ? Leur rencontre dans les années soixante-dix semble annoncer la *neuro-informatique* et les *neurosciences computationnelles*<sup>267</sup>. Dans les années quatre-vingt, la neuro-informatique se constitue autour de l'élaboration d'outils et de méthodes mathématiques et informatiques au service des neurosciences, en particulier pour la construction des bases de données, telle que ModelDB. Les neurosciences computationnelles se présentent aujourd'hui comme un champ de recherches interdisciplinaires ralliant biologistes, psychologues, mathématiciens, physiciens et informaticiens autour de la compréhension du fonctionnement du cerveau. Ayant un aspect plus théorique, elles privilégient la modélisation mathématique et la simulation numérique. Cependant, elles ne s'organisent que tardivement en France. Par exemple : le CNRS lance un programme interdisciplinaire lancé en 2007 « Neuro-informatique », renouvelé en 2010 « Neuro-informatique et neurosciences computationnelles », sous la responsabilité de Patrick Netter et d'Alain Berthoz.

Les neurosciences computationnelles se disent héritières de la cybernétique. En effet, leur questionnement n'est pas sans évoquer celui des cybernéticiens autour de l'analogie cerveau-calculateur électronique des années cinquante : « Comment le cerveau traite l'information ? Comme calcule-t-il ?

---

<sup>265</sup> Correspondance A. Burg au Ministre de la Santé de janvier 1973 [Arch.Nat.20060283.art26].

<sup>266</sup> Dans les années soixante, le rejet de la cybernétique semble être le trait commun des informaticiens, seuls quelques marginaux qui ne sont pas pris au sérieux se perdent dans « dans les marais du "Perceptron", de la traduction automatique et autres mirages », et tout ce qui semble sortir de la cybernétique (Mounier-Kuhn, 2010, pp. 411-412, cit. p526).

<sup>267</sup> Si elles apparaissent dès les années quatre-vingt dans le monde,

Quels enseignements les informaticiens peuvent reprendre de son fonctionnement pour améliorer nos ordinateurs ? Et réciproquement : qu'est-ce qui distingue et rapproche un cerveau d'un ordinateur ? »

En 1973, la DGRST transfère à l'Inserm son action concertée Génie biologique et médical. Le GBM devient un nouvel axe de la politique de l'institut. Si l'Inserm utilisait déjà l'informatique pour traiter des statistiques, notamment en épidémiologie, avec le GBM ce sont de nouveaux usages de l'ordinateur qui apparaissent : numérisation et traitement des données expérimentales, pilotage automatique d'instruments de laboratoire, premières tentatives d'automation numérique de prothèses. Emerge ainsi une informatique *numéricienne* et temps réel.

Ses promoteurs sont, soit des biophysiciens, soit des biologistes ou des médecins technophiles, en particulier des neurophysiologistes réunis autour de la thématique du traitement du signal. La modélisation reste marginale. Certains ont une formation d'ingénieurs. Poursuivant le programme de technicisation de la recherche biomédicale amorcé par la DGRST, ils se heurtent cependant à la fois au faible intérêt des chercheurs pour cette approche et aux difficultés des relations recherche-industrie qui caractérisent toute l'action de la DGRST depuis sa création.

Ils proposent de les surmonter par la restructuration des instances administratives et juridiques des grands organismes de recherche, en substituant aux divisions disciplinaires traditionnelles une gestion par objectifs. La pratique de la recherche « s'ingénierise » jusque dans son administration.

C'est également le cas au niveau des laboratoires. Introduit dans un laboratoire voulant développer des recherches quantitatives, l'ingénieur joue le rôle de passeur technologique, non seulement au sein du laboratoire mais dans la communauté biomédicale. Porteur de compétences à la fois mathématiques et technologiques, il apporte aux problèmes biomédicaux des solutions ou des perspectives en termes de calcul et de modélisation mathématique, qui nécessitent en retour l'acquisition de calculateurs et du savoir-faire nécessaire à leur utilisation.

-----

## CONCLUSION

Cette étude interroge les conditions et les conséquences de l'introduction des ordinateurs dans les programmes de recherche des sciences du cerveau. Elle fut guidée par les questions que pose la circulation des savoirs et des techniques scientifiques : qu'est-ce qui constitua un terrain favorable à l'introduction de l'ordinateur ? Quel fut le médiateur ? Qu'est-ce qui fut transféré avec lui et modifia ce champ de recherche ? La quête de réponses nous conduisit au cœur même de la naissance de la bio-informatique et de l'informatique médicale, où nous rencontrâmes l'ingénieur.

### DE LA PRATIQUE MINORITAIRE A LA TECHNOLOGIE DOMINANTE

En l'espace d'un demi-siècle, la recherche biomédicale s'est informatisée. L'ordinateur personnel avec lequel le chercheur pilote son expérience, analyse ses données, écrit ses articles, communique avec ses collègues, est si commun que l'on oublie qu'il fut rare : il y a quelques décennies, seuls quelques laboratoires biomédicaux, avant-garde de la nouvelle technologie, pouvaient exposer fièrement leurs encombrants calculateurs. L'informatisation de la recherche biomédicale apparaît comme un processus qui ne va pas de soi, comme en témoigne une étude menée à la fin des années soixante au sein d'une des communautés de spécialistes les plus intéressés par les calculateurs : les cliniciens et les chercheurs utilisant l'électro-encéphalographie. Celle-ci se répartit en quatre catégories<sup>268</sup> :

- La très grande majorité (94%) est constituée d'«électro-encéphalographistes praticiens hospitaliers qui emploient des moyens traditionnels et qui se contentent jusqu'à présent de réaliser des enregistrements directs à l'encre. ».
- 2% des électro-encéphalographistes enregistrent sur une bande magnétique analogique et doivent avoir recours à des centres de calcul ou des services de calcul d'autres laboratoires.
- 3% des électro-encéphalographistes peuvent également « faire certains traitements particuliers des données grâce à des appareils « spécifiques » comme des analyseurs d'amplitude : CAT ; ART1000. ».
- Et seulement 1% des électro-encéphalographistes possèdent en plus ou ont accès à un « ordinateur à programme ».

---

<sup>268</sup> Etude menée par le neurophysiologiste Antoine Rémond et présentée dans le bulletin *Trace* de son groupement pour les applications à l'informatique en neurophysiologie (GAIN) [Trace.V4.N1.01/11/1970, p.350].

Le premier groupe est constitué de médecins-cliniciens, tandis que les trois derniers groupes sont constitués par des chercheurs neurologues, neurophysiologistes ou psychophysiologistes à l'approche intégrative dont les recherches s'inscrivent dans la tradition de l'EEG quantitative. Cette dernière reste donc très minoritaire. Dix ans plus tard, à la fin des années soixante-dix, l'un des premiers ouvrages français majeurs sur l'EEG quantitative, est publié : c'est la thèse d'Etat de l'ingénieur devenu neurophysiologiste Pierre Etevenon. Celui-ci décrit l'ensemble des méthodes mathématiques développées depuis l'après-guerre dans le domaine du traitement du signal : transformée de Fourier, transformée d'Hilbert, analyses d'amplitude instantanée type Rice, analyses statistiques diverses. Il fut l'un des premiers à appliquer ces méthodes en cartographie cérébrale. Etevenon se réjouit que, dans un congrès international de biologistes et cliniciens, 20% des travaux présentés fassent appel à l'EEG quantitative !<sup>269</sup> Ce qui semble bien peu en regard des années quatre-vingt, où avec l'essor de l'imagerie médicale et la commercialisation des micro-ordinateurs allée au développement de logiciels d'analyse et de bases de données en ligne<sup>270</sup>, l'outil informatique rentre en force dans les laboratoires et services biomédicaux. Outil sans lequel il est impossible de mettre en œuvre ces techniques d'imagerie. Plus encore, le savoir-faire acquis et les méthodes développées dans des laboratoires d'EEG quantitative font de ces derniers les premiers utilisateurs des nouvelles technologies d'imagerie cérébrale au service de la recherche, notamment de la magnéto-encéphalographie.

Au cours des années quatre-vingt, l'informatique diffuse aussi plus largement dans les approches réductionnistes. Ainsi elle permet le développement de l'imagerie cellulaire, toute image étant aujourd'hui traitée numériquement. Répondant également à un besoin de synthèse, elle permet l'intégration d'un plus grand nombre de données expérimentales accumulées à mesure que s'améliorent les capteurs, dans des modèles neuronaux dont l'activité peut être simulée, offrant ainsi au chercheur la possibilité de tester des hypothèses parfois inaccessibles à l'expérimentation. Initiant ainsi un nouveau domaine de recherche que sont les neurosciences computationnelles.

---

<sup>269</sup> Le jury, présidé par le Pr D. Albe-Fessard était constitué de deux rapporteurs, les Pr. Buser et Grémy, ainsi que de chercheurs invités : Bancau, Boissier, Goldstein (Etats-Unis) et un ingénieur centralien devenu professeur de biomathématiques à la faculté de Médecine de Paris : Cherruault. La thèse de Pierre Etevenon fut publiée l'année suivante (Etevenon, 1978 : *Etude méthodologique de l'électroencéphalographie quantitative. Application à quelques exemples*).

<sup>270</sup> L'évolution des atlas du cerveau retracée par Anne Beaulieu est, à ce sujet, particulièrement éclairant (Beaulieu, 2001).

## LE MODELE AMERICAIN

Joseph A. November fournit un tableau du paysage de la recherche biomédicale américaine dans les années cinquante et soixante, où les neurophysiologistes se comptent parmi les premiers utilisateurs des ordinateurs<sup>271</sup>. Dans les récits des biologistes et des médecins français comme dans leurs rapports, la recherche américaine apparaît comme une référence. Intégrée dans un puissant complexe scientifique, militaire et industriel, elle éblouit les visiteurs européens par son dynamisme et sa richesse, par la hardiesse avec laquelle elle conquiert des voies nouvelles – nouvelles par leurs thèmes mais aussi par leurs approches.

*Quels sont les moyens de diffusion du modèle américain ?*

Depuis la fin de la seconde guerre mondiale, des jeunes chercheurs et médecins français sont envoyés aux Etats-Unis pour se former à l'utilisation des calculateurs ou d'autres instruments nouveaux, et s'initier à de nouvelles thématiques de recherche, notamment celle, dans les années quarante, du rôle de la formation réticulée dans la régulation des états de vigilance, ou une décennie plus tard la thématique de la latéralisation cérébrale.

Des chercheurs français sont également envoyés en missions par leurs pairs pour définir les lignes du développement des moyens en calcul pour leur communauté. Ils rédigent des rapports qui diffusent leurs observations et leurs recommandations, généralement favorables à l'adoption du modèle américain, en tout ou en partie.

Cet actif transfert de techniques et de concepts des Etats-Unis à la France est favorisé par la constitution d'une communauté internationale des spécialistes du cerveau organisant des colloques dès 1947 ou encore se réunissant dans des sociétés savantes qui en découlent comme *The International Brain Research Organization* fondée en 1960.

*Sur quoi s'exerce l'influence américaine ??*

L'influence américaine semble affecter la recherche biomédicale française à plusieurs niveaux :

- Au niveau de l'organisation et des moyens d'action des agences de recherche gouvernementales qui la soutiennent et l'organisent. Ainsi les actions concertées de la DGRST, directement inspirées du système de financement par contrat en œuvre aux Etats-Unis, permettent d'organiser les sciences du cerveau et de lancer le génie biologique et médical. Signalons l'adoption par l'Inserm, directement influencée par la DGRST, de ce système de gestion de la recherche par objectifs au début des années soixante-dix. La DGRST joue ici un rôle de relais d'un modèle américain vers un organisme de recherche français.

---

<sup>271</sup> Thèse soutenue en 2006, résumée p.35.

- Au niveau du choix des programmes de recherche dans ces agences, comme l'illustre le cas du génie biologique et médical inspiré du *biomedical engineering*, s'organisant aux Etats-Unis dans les années cinquante, soit une décennie plus tôt.
- Au niveau des pratiques et des approches à l'échelle du laboratoire, soutenues et encouragées par ces programmes ainsi que par « l'expérience américaine » des chercheurs rentrant de séjours aux Etats-Unis.

*Américanisation de la recherche française ou influence américaine ?<sup>272</sup>*

Sans pouvoir évaluer quantitativement le degré d'assimilation du modèle de recherche américain, signalons quelques différences au niveau des pratiques et de la structure de la recherche française qui marquent ses limites. Par exemple, le souci du *publish and perish* ne traverse que lentement l'Atlantique : dans les années cinquante et même soixante, l'on rencontre encore des chercheurs français qui ne se soucient guère de publier ou même de rédiger leur thèse, préférant ne pas sacrifier du temps de recherche à l'écriture ! Des quelques exemples que nous avons recueillis, peut-on inférer une différence entre les modes de gestion des carrières et un souci plus ou moins grand de faire carrière entre les chercheurs des deux pays à cette époque ?

Soulignons également l'importance de la différence d'échelle entre les Etats-Unis et la France de leur développement économique. En effet, tandis que la recherche biomédicale américaine suscite le développement du LINC, le programme Génie biologique et médical souffre d'un manque d'investissement de la part des constructeurs français de calculateurs, et de manière générale des fabricants d'instruments scientifiques, privilégiant des marchés déjà assurés comme les calculateurs pour la physique ou l'informatique de gestion.

Participant à la naissance de la mini-informatique « temps-réel », le LINC est un succès et contribue à la transformation des technologies de l'information. En France, une tentative similaire tarde et n'aboutit pas (le Strada), d'autres restent à usage très local (comme le micro-ordinateur « Micromegas » du CEMI) : les chercheurs parviennent seulement, et non sans peine, à obtenir des constructeurs qu'ils adaptent les logiciels et créent des « systèmes informatiques » répondant à leurs besoins. Conséquemment, l'importation et surtout l'emploi du matériel américain jugé mieux adapté et plus performant sont renforcés, notamment des mini-ordinateurs PDP\*\*\* de la firme américaine Digital Equipment Corporation. Ce qui a peut-être pu conduire à une circulation préférentielle des logiciels, sous-tendant des méthodes d'analyse des données donc des approches particulières, des Etats-Unis vers la France. Cette importation de matériels et de logiciels américains bute cependant sur la politique d'achat préférentiel national, qui conduit les laboratoires français à être techniquement distancés par les laboratoires américains sur le plan de l'équipement des calculateurs.

---

<sup>272</sup> Cette question reste largement discutée (cf. les travaux de Dominique Barjot, de John Krige ou encore de Richard F. Kuisel).

Les Etats-Unis apparaissent comme un modèle d'organisation de la recherche biomédicale et de pratiques scientifiques, comme un ouvreur de voies de recherche et comme un producteur d'instruments, permettant et encourageant la mise en œuvre d'approches quantitatives gourmandes en calcul. La construction précoce d'une communauté internationale des spécialistes du cerveau suggère que ce champ de recherche constitua par sa perméabilité l'une des portes d'entrée précoces des ordinateurs dans la recherche biomédicale française.

## **LES SCIENCES DU CERVEAU : DES ZONES PRIVILEGIEES POUR L'INTRODUCTION DES ORDINATEURS DANS LE SECTEUR BIOMEDICAL**

*Qu'est-ce qui, dans les sciences du cerveau, favorisa l'introduction précoce des calculateurs ?*

Par leur objet même, les sciences du cerveau constituent un lieu de rencontres où convergent techniques, approches et concepts. En effet, au-delà de l'organe, il y a la fascination pour la pensée, la conscience et les fonctions dites « supérieures ». Il attire ainsi à lui des spécialistes de tous horizons, qui composent et recomposent ce champ de recherche dans un mouvement incessant entre spécialisation et unification.

C'est par exemple la rencontre entre psychologues et physiologistes (psychophysiologie), neurologues et ingénieurs-physiciens (l'essor de l'EEG quantitative) ou encore neurophysiologistes et mathématiciens (neurophysiologie théorique). Plus largement encore, la cybernétique brassa idées et spécialistes. Ce qui caractérise ces rencontres est la volonté précoce d'intégrer des données nombreuses, récoltées par des capteurs de plus en plus perfectionnés, et des niveaux de description différents (activité du neurone, activité cérébrale, comportement...) en puisant des méthodes et des instruments dans différents domaines des sciences et techniques.

En particulier, des outils mathématiques sont développés dans le cadre de la théorie de l'information, initialement élaborées dans le milieu des télécommunications. Les biologistes les appliquent aussi bien à l'analyse d'un tracé électro-encéphalographique qu'à la modélisation de l'activité d'un ou plusieurs neurones. Cette dernière approche, longtemps marginale, prendra son essor dans les années quatre-vingt.

Mettant en œuvre une approche quantitative, encore très peu répandue, quelques spécialistes du cerveau et du comportement se dotent de machines à calculer, analogiques puis digitales au rythme des progrès techniques. Ces machines permettent d'une part à ces spécialistes de faire face à la masse et à la complexité croissantes des données à traiter, d'autre part elles renforcent et élargissent leurs possibilités d'analyse mathématique, éveillant ainsi de nouvelles questions ou renouvelant d'anciennes. C'est par exemple, le codage de l'information sensorielle en corrélant l'activité unitaire, multi-unitaire ou globale à la réponse comportementale, la localisation des fonctions cognitives ou encore la genèse des rythmes cérébraux.

### *Comment les spécialistes du cerveau contribuèrent-ils à l'informatisation de la biologie et de la médecine ?*

La première institution qui réponde aux besoins de calcul, donc de calculateurs, des spécialistes du cerveau est la DGRST. Créée au début de la V<sup>e</sup> République pour moderniser la recherche française, la DGRST fournit à ces spécialistes comme à l'ensemble des chercheurs du secteur biomédical qui veulent « techniciser » et notamment informatiser leurs disciplines, l'instrument d'une politique scientifique et d'une promotion de pratiques nouvelles, ainsi qu'un cadre pour se réunir en un véritable comité d'action disposant de moyens financiers. C'est ainsi que l'action concertée Génie biologique et médical est lancée en 1966.

Au début des années soixante-dix, le programme Génie biologique et médical est partiellement transféré de la DGRST à l'Inserm. Participant au pilotage de ce programme dans ces deux institutions et jouant le rôle d'experts-conseils, en même temps qu'ils mènent directement les recherches, les spécialistes du cerveau continuent à soutenir le développement de *l'informatique biomédicale* (celle-ci ne se scindera que plus tard en bio-informatique et informatique médicale).

Dans leur domaine, ces spécialistes deviennent les *adaptateurs* de cette nouvelle technologie, favorisant un renouvellement des approches. S'ils n'ont pas nécessairement les compétences pour la mettre en œuvre par eux-mêmes, ils ont un programme de recherche qui les justifie et les conduit à intégrer des personnes formées à l'ingénierie dans leur laboratoire et plus largement dans leur domaine.

### **L'INGENIEUR : UN PASSEUR TECHNOLOGIQUE**

Les modalités de transfert des calculateurs, avec les concepts et méthodes qui s'y attachent, des milieux des mathématiques appliquées, de l'ingénierie ou de la physique vers la recherche biomédicale, par ces zones privilégiées de contact, établis autour des *adaptateurs*, sont multiples. Trois d'entre elles sont observées dans notre étude :

- La « commande », mettant en jeu une interaction faible de nature commerciale. Des centres de calculs, des laboratoires d'électronique publics ou des constructeurs de l'industrie développent des instruments à finalité biomédicale à la demande des chercheurs. L'introduction de ces instruments peut conduire à la formation spécifique de chercheurs, voire au recrutement de techniciens ou d'ingénieurs pour leur utilisation.
- La « collaboration » mettant en jeu une interaction forte entre des chercheurs du secteur biomédical avec des collègues physiciens ou des ingénieurs de l'industrie. Elle consiste à mettre en commun des compétences et des techniques autour de la conception d'instruments spécifiques.

- « L'intégration » consistant à recruter un ingénieur au sein du laboratoire biomédical où il adapte la nouvelle technologie aux besoins spécifiques de la recherche. En devenant lui-même biologiste pour comprendre en profondeur les besoins et les problèmes des utilisateurs finaux, il apporte une culture professionnelle fondée à la fois sur le réflexe de la modélisation mathématique, sur l'emploi systématique des calculateurs, sur les procédures de gestion de la recherche-développement de l'industrie. C'est ainsi qu'il contribue à transformer les pratiques et à créer une culture hybride dans la recherche biomédicale.

Le modèle du passeur technologique est proposé comme un élément d'un processus plus vaste, la transformation de la recherche biomédicale en *Big Science*, processus par lequel s'immiscent non seulement les produits mais certaines valeurs du milieu industriel, participant ainsi à la recomposition de la connaissance scientifique.

### **PISTES DE RECHERCHE**

*Zones privilégiées de contact, adaptateur, passeur technologique...* Comme pour toute proposition de notions ou concepts pour rendre compte d'un pan complexe de réalité et le ramasser en une formule, il est nécessaire d'évaluer ses limites de validité. Tout d'abord en confrontant ces notions-outils à des modèles de circulation des techniques et des concepts nourris sur de multiples cas d'étude. Il serait ainsi intéressant de comparer ces notions, pour les étayer, aux travaux de Terry Shinn sur les différentes modalités de transferts dans les sciences et en relation avec l'industrie et l'Etat<sup>273</sup>. Ou encore au concept d'« Induction artefactuelle » proposé par Ronan Le Roux, qui désigne « la façon dont les machines deviennent des sources d'intelligibilités pour la pensée scientifique »<sup>274</sup>. Plus particulièrement la notion de *zones privilégiées de contact* semble se rapprocher du concept de *Trading zone* développé par Peter Galison<sup>275</sup>; celui-ci désigne un lieu informel d'échanges entre spécialistes de cultures professionnelles différentes, qui maintient l'unité d'un champ disciplinaire ou prépare une recomposition du paysage scientifique.

Des études complémentaires devraient permettre de tester le caractère opérationnel de ces notions et d'en préciser les définitions. A l'issue de ce travail, de nombreuses questions restent en suspens et pourraient offrir des cas d'étude. Parmi celles-ci :

- Le travail préliminaire sur les rapports d'activité du CNRS des années soixante-dix suggère que l'informatique biomédicale et plus largement le programme GBM ne semblent pas y trouver un terrain aussi réceptif qu'à l'Inserm. Comment l'interpréter : est-ce qu'une opposition interne y fait obstacle dans les commissions ou à la direction ? Ou qu'un accord entre le CNRS et l'Inserm a

---

<sup>273</sup> Shinn & Ragouet, 2005.

<sup>274</sup> Le Roux, 2010.

<sup>275</sup> Galison, 1997.

réparti les rôles ? Poursuivre cette enquête permettrait également d'effectuer un travail de fond sur les facteurs limitant la technicisation des sciences du vivant et de la médecine.

- Un besoin précoce de calcul a été repéré en psychologie, en génétique et en épidémiologie dans les années soixante. Mais leur informatisation ne relevait pas du cadre du GBM, ni même, pour celle de la génétique, des organismes de recherche étudiés, ce qui a exclu ces disciplines de la présente étude. L'identification de l'ingénieur-physicien comme passeur de la technologie informatique est-elle pertinente pour ces disciplines ? Y eut-il d'autres « passeurs technologiques » ou conceptuels, par exemple le mathématicien ou le statisticien ?

- Un dernier exemple : dans les années soixante-dix, l'informaticien, c'est-à-dire le diplômé d'une formation spécialisée en informatique, apparaît dans les laboratoires. Il pénètre par cette même zone de contact où put s'intégrer l'ingénieur, quelques années auparavant. La notion de passeur technologique peut-elle s'appliquer à l'informaticien, dans des termes similaires ou comparables, et contribuer à comprendre la naissance de la neuro-informatique et des neurosciences computationnelles ?

Dans l'histoire de l'informatisation des sciences du cerveau, nous avons repéré deux courants principaux :

- Les approches intégratives gourmandes en calcul, où se développent des méthodes mathématiques au service du traitement des données expérimentales.
- Les approches modélisatrices au niveau élémentaire, s'inscrivant dans le programme de la neurophysiologie théorique qu'avait énoncé Alfred Fessard au début des années cinquante.

Notre attention s'est portée sur le premier, étant donnée la plus grande participation de ces spécialistes au programme Génie biologique et médical. A la fin des années soixante-dix, ces approches bénéficient du progrès des techniques en imagerie cérébrale. Dans leurs prolongements s'organisent les sciences cognitives à la fin des années quatre-vingt. Parallèlement se constitue la *neuro-informatique* : des informaticiens s'emploient, en collaboration avec les biologistes, à concevoir des programmes d'analyse comme à organiser l'échange des informations via l'élaboration des bases de données numériques. Elle compose ainsi une véritable ingénierie informaticienne au service des *neurosciences*.

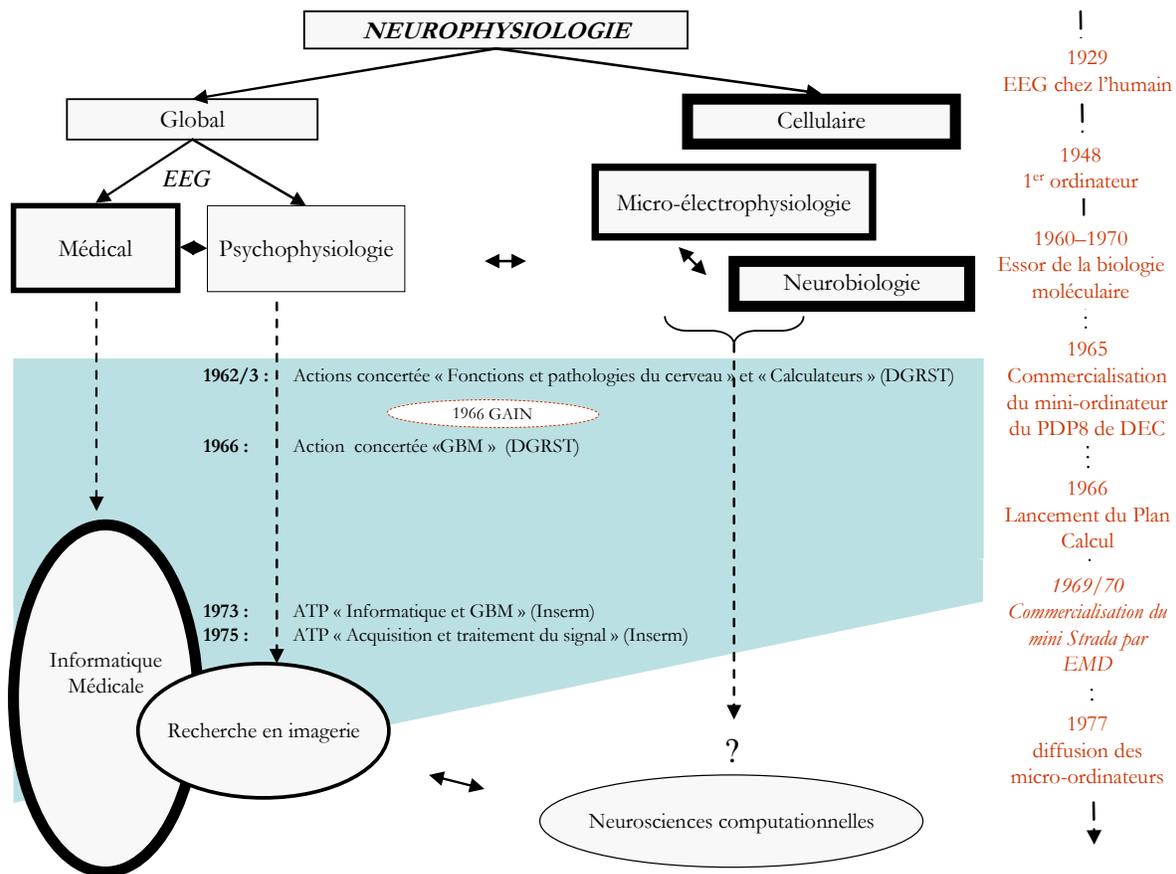
Néanmoins, si dans les années soixante et soixante-dix les approches modélisatrices nous semblaient plus discrètes (1 contrat en modélisation pour 35 autres voués au traitement du signal ou à la mise au point de prothèses-orthèses dans l'action concertée « Génie biologique et médical » de 1971 à 1975), elles bénéficient d'un intérêt croissant de neurobiologistes, peut-être revenus de l'engouement biomoléculaire. Elles se déploient véritablement à la fin des années quatre-vingt pour constituer une

discipline à part entière : la *neurobiologie numérique* ou les *neurosciences computationnelles*<sup>276</sup>. D'une approche initialement très réductionniste, ces spécialistes rentrent dans l'orbite des sciences cognitives et s'ouvrent aux approches intégratives. En France, le Ministère de la Recherche lance en 1999 l'action concertée incitative (ACI) « Cognition » encourageant la collaboration entre spécialistes recourant « à l'expérimentation, à la modélisation et à l'usage de techniques de pointe (comme l'imagerie cérébrale) ». Puis en 2001, l'ACI « Neurosciences intégratives et computationnelles », que prolongent au CNRS les programmes interdisciplinaires « Neuro-informatique » en 2006 et « Neuro-informatique et neurosciences computationnelles » en 2010.

Au confluent des deux courants de l'informatisation des sciences du cerveau, que nous avons repérés à l'aube de la bio-informatique, les neurosciences computationnelles rallient biologistes, psychologues, mathématiciens, physiciens, ingénieurs et informaticiens autour de la compréhension du fonctionnement du cerveau et se situent ainsi à l'avant-garde des nouvelles technologies appliquées à la recherche biologique et médicale.

---

<sup>276</sup> A la fin des années 1980, de nombreux centres de neurosciences computationnelles se sont créés dans le monde tels les centres Bernstein en Allemagne, Gatsby au Royaume-Uni, le Brain and Mind Institute et l'Institute for Neuroinformatics en Suisse, le RIKEN Institute au Japon, et les nombreux centres aux Etats-Unis comme Keck, Sloan, Swartz centers, etc. Des journaux furent créés comme *Computational Neuroscience* en 1994. Des ouvrages scientifiques sont parus : *Computational Neuroscience* (Schwartz, 1990); *Neuroscience and Connectionist Theory* (Gluck & Rumelhart, 1990); *Learning and Computational Neuroscience : Foundations of Adaptive Networks* (Michael et Moore, 1990), etc. Des projets internationaux, y compris européens, ont été lancés, tels FACETS, DAISY et SECO au sein d'un plus vaste programme : *Future and Emerging Technologies*, qui rappelle l'ambition du GBM pour les années soixante... Enfin, en 2004, l'Organisation (internationale) de coopération et de développement économiques et de l'industrie (OCDE) a créé un Centre de coordination internationale en neuro-informatique basé à l'Institut Karolinska de Stockholm.



**Figure 22 : Vue synthétique de l'informatisation des neurosciences françaises au XX<sup>e</sup> siècle**

L'informatisation de la neurophysiologie peut se résumer en trois grandes étapes :

1. Les balbutiements : des « machines câblées » aux ordinateurs (années 1950). Les calculateurs analogiques ou digitaux (non ordinateurs) favorisent principalement des approches intégratives où prédomine l'aspect médical.
2. La convergence de deux phénomènes au milieu des années soixante qui donne une impulsion décisive à l'informatisation des sciences du cerveau :
  - La commercialisation des mini-ordinateurs temps réel répondant à la demande spécifique des laboratoires.
  - Le lancement d'un programme national de technicisation des sciences de la vie et de la médecine que ses spécialistes contribuent à piloter : Le Génie Biologie et Médical.
3. La neurobiologie numérique ou les neurosciences computationnelles à la fin des années quatre-vingt, qui se construisent à partir des compétences acquises au cours de l'étape précédente, diffusées par l'enseignement, rendues convaincantes par leurs résultats et plus faciles à mettre en œuvre grâce à la diffusion massive des moyens informatiques.

Légende : l'épaisseur des bordures est proportionnelle à l'importance de chaque discipline.

# SOURCES ET BIBLIOGRAPHIE

## A. SOURCES

### A.1. Archives publiques

Notation : Archives. Organisme de dépôt. n°de versement/n°de l'article (contenu)

Exemple : Arch.Nat.19771535/Art.97 (Action Concertée « Calculateur », 1971)

#### Archives des Armées

Il serait intéressant de compléter la documentation avec les archives de la DRME (notamment : Arch.5528/DRET/SDR/G9 ou encore : Arch.04030/DRET/SDR/G 9.4), mais ces documents restent confidentiels et soumis à dérogation (Centre des archives de l'Armement et du Personnel civil de Châtelleraut).

#### Archives de l'Education Nationale

Documents consultés au centre des archives nationales contemporaines de Fontainebleau

Arch.Nat.19771326 (Education Nationale ; Services directement rattachés au Ministre de l'Education ; Mission Informatique, années 1960 et début 1970)

F17bis14254/art.2 (Equipement informatique CNRS services généraux)

F17bis14256/art.4 (Equipement informatique de la faculté de médecine de Paris)

F17bis14256/art.5, 8 (Equipement informatique à Orsay)

F17bis14257/art. 6 (Equipement ENS St Cloud, ENS Jeunes filles, Circé à Orsay)

F17bis14258/art.7 (Equipement informatique à Grenoble et à Clermont)

F17bis14258/art.8 (Equipement informatique Bordeaux)

F17bis14261/art.11-12 (Equipement informatique à Marseille)

F17bis14260/art.13 (Equipement informatique à Lyon).

F17bis14264 (Equipement à Toulouse)

#### Cité des Sciences et de l'Industrie (Parc de la Villette, Paris, collections muséologiques)

Enregistrement audio de l'entretien avec de M. Furet chez Antoine Rémond par Alain Roux (date NR).  
Arch.695 : Ordinateur Gamma M40 du GR9, photographies et correspondances.

#### CNRS

Documents consultés au service des archives du CNRS à Gif-sur-Yvette

Arch.CNRS.850001/Art.6 (Rapports d'activité et procès-verbaux du comité de direction de l'Institut de Neurophysiologie et de Psychophysiologie)

Arch.CNRS.850101

Art.5 (Listes des Laboratoires propres)

Art.8 (CNRS-DGRST)

Art.9 (Rapport d'activité du centre de physiologie nerveuse de. Fessard, 1968 ; Rapports d'activité du laboratoire de physiologie du travail de Scherrer, 1967-1968 )

Art.10 (RA de l'institut de neurophysiologie et de psychophysiologie à Marseille)

Art.11 (Recherches coopératives sur programme, 1962-1964)

Rapports nationaux de conjoncture scientifique

1960-1963

1963-64 : Tome II : Chimie, sciences biologiques

1969 : Biologie cellulaire et Chimie biologie

Rapports d'activité du CNRS de 1957 à 1982

Rapport du Comité National de 1983

Schéma prospectif de 1985  
Schéma stratégique de 1990 à 1992

## **DGRST**

### Documents consultés au centre des archives nationales contemporaines de Fontainebleau

Arch.Nat.19760215

Art.58-60 (Action concertée « Fonctions et pathologies du cerveau » 1966-1968)

Arch.Nat. 19771535

Art.97 (Action Concertée « Calculateur », 1971)

Art. 116 (Action concertée « Calculateur », 1966 )

Arch.Nat.19810244

Art.34 (Action concertée « Membranes biologiques », 1975-1977)

Art. 68-83 (Action concertée « Mécanismes de reconnaissance à l'échelle moléculaire, 1973-1975)

Art.184-241 (Action concertée « Génie biologique et médical » : comites, actions concertées, décisions d'aide, 1967-1979)

Arch.Nat.20060283/Art.7, 26-27 (PV des réunions du comité GBM de la DGRST, 1973-1975)

Arch.Nat.P01343 (Numéro spécial sur l'AC GBM en 1970 du *Progrès Scientifique*, mars 1972, édité par la DGRST)

Arch.Nat.P0201 (Rapport des actions concertées, 1966-1968)

### Documents consultés à la bibliothèque universitaire des Sciences de l'Université Claude Bernard de Lyon

Ensemble des numéros bimensuels du *Progrès Scientifique* de 1966 à 1981 publiés par la DGRST (ed.

Documentation Française) [malheureusement peu de bibliothèques disposent des numéros antérieurs de 1961 à 1965]

Rapport pour le 5<sup>o</sup> Plan (1966-1970), Commissariat général du plan d'équipement et de la production et DGRST tome 2<sup>e</sup>, 1966.

## **Inserm**

### Documents consultés au centre des archives nationales contemporaines de Fontainebleau

Arch.Nat.20060283 (Inserm, informatique, GBM)

Art.7 (Action thématique programmée « GBM et informatique » 1973, Action concertée « GBM » 1974-1975, fiches synthèses 1980)

Art.10

Art 26 (Informatique : IRIA 1975 ; Inserm – IRIS 1971, 1973, 1976 ; AP-HP informatique, 1972 – 1975)

Art 27 (Informatique médicale : Comité consultatif en informatique médicale)

### Documents consultés au service des archives de l'Inserm à Auteuil (Paris)

Rapports d'activité 1963-1969 (monographie)

Rapport annuel au parlement :

Bilan et Perspective 1970-1974

D'activité 1971-1970

Arch.Inserm.9203

Art.5 (Rapports d'activité de l'U.3 de Scherrer, neurophysiologie, Paris, 1960-1984)

Art.160 (Rapports d'activité de l'U.88 de Grémy, Paris, 1968-1978)

Art.166 (Rapports d'activité de l'U.92 de Fernet « Groupe de recherche en informatique biomédicale », 1966–1972)

Art. 169 (Rapports d'activité de l'U.94 de Gerin, Lyon, 1969–1971)

Art. 193 (Rapports d'activité de l'U.115 de Martin « Section d'informatique médicale », Nancy, 1976-1986)

Art.328 (Rapports d'activité du CEMI et de l'U.280 de Pernier, Lyon, 1974 – 1977; 1978-1985)

Arch.Inserm.9230/art.1-3 (Actions thématiques programmées : n°1-51)

Arch.Inserm.9442/art.01-09 (Actions thématiques programmées : n°1-84)

## A.2. Archives privées<sup>277</sup>

### Documents communiqués par Danielle ARNAL

Arnal, D. (1971). *Contribution à l'étude des potentiels évoqués moyens visuels et à leur application en ophtalmologie* (Thèse 3<sup>e</sup> cycle ès sciences naturelles). Faculté des sciences, Université de Lyon.

### Documents communiqués par Jean-Gaël BARBARA

Actes du colloque sur « *Les Machines à calculer et la pensée humaine* » à Paris les 8-13 janvier 1951. (1953).

Paris: CNRS

Actes du colloque sur « *L'essor des neurosciences en France, 1945-1975* » à Paris les 21-23 septembre 2006.

Debru, C., Barbara, J.G., & Cherici, C. (2008). Paris: Hermann éd.

Archives d'Antoine Rémond : articles et rapport d'activité du LENA (1966-1969)

Articles de Paul Dell

Livre : Barbara, J.G. (2010b). *Le paradigme neuronal*. Paris: Hermann.

### Documents communiqués par Jean-Claude BOURZEIX

Rapports d'activité du LENA (1975-1976 ; 1976-1978 ; 1980-1982)

### Documents communiqués par François CLARAC

Forum espace (janvier 1971)

Journées thématiques « locomotion » (novembre 1985)

Photographie (colloque de Moscou en 1958)

Procès Verbaux du comité directeur de l'INP (1963, 1976)

Rapports d'activité de l'INP (1963, 1966, 1970, 1979-1981, 1984)

Réunions du club locomotion (octobre 1996)

### Documents communiqués par Pierre CAZARD

Rapports d'activité personnelle

### Documents communiqués par Henri CONDE

Thèse : Dormont, J. (1970). *Etude des modalités de décharge des cellules du noyau ventro-latéral du thalamus du chat : caractéristiques individuelles et homogénéité nucléaire* (Thèse 3<sup>e</sup> cycle ès sciences naturelles). Faculté des sciences d'Orsay, Université de Paris.

### Documents communiqués par Pierre ETEVENON

Articles princeps de Goldstein et Drohocki, et autres articles

Livres :

Burns, B. D. (1968). *The uncertain nervous system*. London: Arnold.

Maurer, K., & Dierks, T. (1991). *Atlas of Brain-Mapping: Topographic Mapping of EEG and Evoked Potentials*. Chicago: B. H. Efrim Books.

Photographies

Rapports d'activité personnelle 1991-1998 (Inserm)

Thèse : Etevenon, P. (1977). *Etude méthodologique de l'électroencéphalographie quantitative application à quelques exemples* (thèse de doctorat d'état ès Sciences Naturelles). Paris: Université Pierre et Marie Curie Paris VI.

Thèses encadrées : Patrice Clochon (1995), Nathalie Lebrun (1997)

### Documents communiqués par Jacques MARTINERIE

Rapports d'activité du LENA (1982-1985 ; 1986-1989 ; 1989-1993)

Bulletins Trace publié par le GAIN (V4 N°11 novembre 1970 ; V5 N°4 avril 1971 ; V5 N°10 décembre 1971 ; V7 N°5 mai 1976)

Bulletins de l'Association française d'informatique médicale (Numéro de janvier 1974)

---

<sup>277</sup> Je prie d'excuser toute personne constatant l'oubli d'un document qu'elle m'aurait confié ou donné, ou pire l'absence de son nom et je l'invite à me le signaler pour correction.

### Documents communiqués par Jacques PERNIER

Guide d'utilisateur du PDP-8 de 1966

Historique de l'U.94 et l'U.280

Liste des thèses du CEMI et de l'U.280

Photographies du laboratoire de Paul Gerin et du CEMI (dont personnel et équipements)

### Documents communiqués par Suzanne TYČ-DUMONT

Actes du symposium "Brain mechanisms and consciousness" de 1955

Articles d'Alfred Fessard dont Fessard, A. (1952). *Projet portant sur la création d'un institut international du cerveau*. No. Unesco/NS/BE/3-WS/062.90. Paris.

Correspondance

Livres :

Horcholle-Bossavit, G., & Tyč-Dumont, S. (2005). *Le neurone computationnel : histoire d'un siècle de recherches*. Paris: CNRS éditions.

Série de « The Neurosciences: a study Program » (1966 – 1979)

Série de "Boston Studies in the philosophy of science" (1966-1968)

### Documents communiqués par François VIBERT

Dossier des publications au laboratoire d'André Hugelin puis de son laboratoire.

Film 16mm sur la création du modèle en 3D des neurones « respiratoires », versions anglaise et française (Années 1970, production CNRS) <sup>278</sup>

### **A.3. Entretiens et correspondance**

Danielle et Roger ARNAL (Neurophysiologiste, Inserm ; directeur du département informatique à l'INSA, Lyon), 8 juin 2010

Philippe ASCHER (Neurobiologiste, CNRS, Paris), février 2010

Jean-Claude BOURZEIX (Technicien-informaticien, CNRS, Paris), 14 janvier 2010

Pierre BUSER (Neurophysiologiste, Académie des Sciences - CNRS, Paris), 12 novembre 2009

Pierre CAZARD (Neurophysiologiste, CNRS, Paris), 2 juillet 2010

François CLARAC (Neurophysiologiste, CNRS, Marseille), 13 novembre 2009, 3, 23 et 25 février 2010

Henri CONDE et Jean-François DORMONT (Neurophysiologistes CNRS, Orsay), 2 juillet 2010

Jean-Marie COQUERY (Psychophysiologiste, CNRS, Lille), 25 février 2010

Gabriel DEBILLY (Neurophysiologiste-ingénieur, Inserm, Lyon), mai et juin 2010

Michel DUFOSSÉ (Neurophysiologiste-informaticien, CNRS, Marseille), 17 juin 2010

Pierre ETEVENON (Neuropsychologiste-ingénieur, Inserm, Paris), 3 et 24 février 2010

Yves GALIFRET (Neurophysiologiste, CNRS, Paris), 4 février 2010

Paul GERIN (Neurophysiologiste, Inserm, Lyon), le 5 octobre 2010

François GREMY (Neurophysiologiste, informatique médicale, Inserm, Paris), 16 avril 2010

André HUGELIN (Neurophysiologiste, CNRS, Paris), 11 novembre 2009

Marc JEANNEROD (Neurophysiologiste, Académie des Sciences - Inserm, Lyon), 22 octobre 2009

Jean-Paul JOSEPH (Neurophysiologiste, CNRS, Paris), 2010

Jacques MARTINERIE (Neurophysiologiste-informaticien, CNRS, Paris), 16 novembre et 21 décembre 2009

Jean MASSION (Neurophysiologiste, CNRS, Paris), 15 juin 2010

Jacques PERNIER (Neurophysiologiste-ingénieur, Inserm, Lyon), les 4 mars, 25 et 26 mai 2010

Alain SEBILLE (Neurophysiologiste, Inserm, Paris), 2 février 2010

Jacques STINNAKRE (Neurophysiologiste, CNRS, Paris), avril 2010

Jacques TAXI (Neurophysiologie, CNRS, Paris)

Suzanne TYČ-DUMONT (Neurophysiologiste, CNRS-Inserm, Marseille), 5 Octobre 2009 et 14-15 Mars 2010

---

<sup>278</sup> Je remercie Catherine Demeure et les membres du club photo de la faculté de médecine Rockefeller de Lyon pour m'avoir permis de transférer les films sur des DVD.

## B. SOURCES IMPRIMEES

- Actes du colloque sur « *Les Machines à calculer et la pensée humaine* » à Paris les 8-13 janvier 1951 .Pascal, (1953). Paris: CNRS
- Actes du 2<sup>e</sup> colloque sur « *Le traitement en temps différé des informations électrophysiologiques* » - à la Faculté de Médecine de Paris, le 14 décembre 1966. (1967). Paris. Inserm
- Brini, J., Kamarinos, G. & Viktorovitch, P. (1974). Simulation de la cinétique des transitions électroniques entre les niveaux énergétiques d'un semi-conducteur doté d'impuretés," *Revue de Physique Appliquée*. 9 : 2, pp.451-454.
- Cazard, P. (1963). Techniques, méthodes et perspective de la neurophysiologie actuelle. *Constellation médecine*, (31), pp.28-45.
- Clochon, P., Fontbonne, J., Lebrun, N., & Etévenon, P. (1996). A new method for quantifying EEG event-related desynchronization: amplitude envelope analysis. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 98(2), pp.126-129.
- Cornil L., & Gastaut H. (1945). Analyse des amplitudes et des fréquences en EEGraphie. *Presse Médicale*, (49), p.665.
- Dell, P. (1963). *Reticular Homeostasis and Critical Reactivity*. Elsevier.
- Dormont, J. (1970). *Etude des modalités de décharge des cellules du noyau ventro-latéral du thalamus du chat : caractéristiques individuelles et homogénéité nucléaire* (Thèse 3<sup>o</sup> cycle en sciences naturelles). Faculté des sciences d'Orsay, Université de Paris.
- Drohocki, Z. (1946). II. Revue critique des essais d'électroencéphalographie quantitative. *L'année psychologique*, 47(1), pp.230-243.
- Drohocki Z, L'intégrateur de l'électroproduction cérébrale pour l'électro-encéphalographie quantitative. *Rev. Neural.*, Paris, 1948, 80, pp.617-619
- Durup, G., & Fessard, A. (1935) I. L'électroencéphalogramme de l'homme. Observations psychophysiologiques relatives à l'action des stimuli visuels et auditifs. *L'année psychologique*, 36(36), pp.1-32.
- Etevenon, P., & Lévy, J. (1972). Un modèle d'électroencéphalogramme artificiel comparé aux tracés veille-sommeil du rat (communication au symposium "Vigilance, sommeil et rêve"). *Psychologie médicale*, 4, pp.695-701.
- Etevenon, P. (1977). *Etude méthodologique de l'électroencéphalographie quantitative : application a quelques exemples* (thèse de doctorat d'état en Sciences Naturelles). Paris: Université Pierre et Marie Curie Paris VI.
- Etevenon, P., L'œuvre du Professeur Léonide Goldstein. *Neurophysiol. clin.* 18, 555-557, 1988.
- Faugeras, O., Frégnac, Y., & Samuelides, M. (2007). A future for systems and computational neuroscience in France ? *Journal of Physiology-Paris*, 101(1-3), pp.1-8.
- Fourment, A., Jami, L., Calvet, J., & Scherrer, J. (1965). Comparison of the EEG recorded from the scalp with the essential activity of radial cortical dipoles. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 19(3), pp.217-229.
- Gerin, P. (1966). *Notions d'électronique appliquée à la biologie*. Paris: Masson.
- Goldberg, M., & Grémy, F. (1973). *Informatique médicale*. Paris: Editions médicales et universitaires.
- Neumann, J. V. (1993). First Draft of a Report on the EDVAC. *IEEE Ann. Hist. Comput.*, 15(4), pp.27-75.
- Pernier, J. (1971). Réalisation d'un discriminateur de potentiels d'action. *Med. Biol. Eng.*, 9.
- Pernier, J. (1972). *Organisation temporelle de l'activité neuronale spontanée du cortex cérébral. Approche statistique sur petit ordinateur. Essai d'interprétation* (Thèse de 3<sup>e</sup> cycle en Physique). Faculté des Sciences de Lyon.
- Rémond, A., & Rémond, A. (1994). *Biofeedback : principes et applications*. Collection Médecine et psychothérapie, 1994. Paris: Masson.

## C. BIBLIOGRAPHIE

- Actes du colloque "Le transfert de concepts et de pratiques dans les sciences aux 19<sup>e</sup> et 20<sup>e</sup> siècles" à Oxford, le 23 mai 1996. (1997) *Lettre de la Maison Française d'Oxford*, n°7 et 9.
- Actes du 6<sup>e</sup> Colloque sur « l'Histoire de l'Informatique et des Réseaux » à Grenoble les 25-27 novembre 2002. Pouzin, L., & Mounier-Kuhn, P. (2002). INRIA.
- Actes du colloque sur « L'essor des neurosciences en France, 1945-1975 » à Paris les 21-23 septembre 2006. Debru, C., Barbara, J.G., & Cherici, C. (2008). Paris: Hermann éd.
- Barbara, J.G. (2005). Les heures sombres de la neurophysiologie à Paris (1909-1939). *la Lettre des Neurosciences.*, (29).
- Barbara, J.G. (2007). La neurophysiologie à la française ». *La revue pour l'histoire du CNRS*.
- Barbara, J.G. (2010a). *La naissance du neurone : la constitution d'un objet scientifique au XX<sup>e</sup> siècle*. Paris: J. Vrin.
- Barbara, J.G. (2010b). *Le paradigme neuronal*. Paris: Hermann.
- Barbara, J.G. La neurophysiologie et la neurohistologie du neurone en France (1955-1975) dans le contexte international. *Sous presse*.
- Barjot D. (2002). *Catching up with America. Productivity missions and the diffusion of American Economic and Technological Influence after the Second World War*. Presses de l'Université de Paris-Sorbonne.
- Beaulieu, A. (2001). Voxels in the Brain: Neuroscience, Informatics and Changing Notions of Objectivity. *Social Studies of Science*, 31(5), pp.635-680.
- Beltran, A., & Griset, P. *Histoire d'un pionnier de l'informatique : 40 ans de recherche à l'Inria*. Les Ulis: EDP sciences, 2007.
- Breton, P. (1987). *Une histoire de l'informatique*. Paris: La Découverte.
- Bloor, D. (1976). *Knowledge and social imagery*. London: Routledge & K. Paul.
- Braunstein, J., Zielinska, A., & Guillin, V. (2008). *L'histoire des sciences : méthodes, styles et controverses* (Textes clés.). Vrin.
- Bouchard, J. (2008). *Comment le retard vient aux Français : analyse d'un discours sur la recherche, l'innovation et la compétitivité, 1940-1970*. Villeneuve d'Ascq, Presses universitaires du Septentrion,
- Buser, P., & Eccles, J. C. (1977). Paul Dell (1915–1976). *Experimental Brain Research*, 27, 233-235.
- Chamak, B. (1997). *Etude de la construction d'un nouveau domaine : les sciences cognitives, le cas français* (Thèse de Doctorat). Paris 7.
- Chatriot, A., & Duclert, V. (2006). *Le Gouvernement de la recherche : histoire d'un engagement politique, de Pierre Mendès France au Général de Gaulle, 1953-1969*. Paris: La Découverte.
- Chazal, G. (2000). *Les réseaux du sens : de l'informatique aux neurosciences*. Champ vallon.
- Cherici, C., & Barbara, J.G.. (2007). EEG trois lettres pour percer les mystères du cerveau. *La Revue pour l'histoire du CNRS*, (19).
- Claras, F., & Ternaux, J. (2008). *Encyclopédie historique des neurosciences : du neurone à l'émergence de la pensée*. Bruxelles: De Boeck.
- Collen, M. (1986). Origins of medical informatics. *Medical informatics*, 145, pp.778-785.
- Collura, T. (1993). History and Evolution of Electroencephalographic Instruments and Techniques. *Journal of Clinical Neurophysiology October 1993*, 10(4), pp.476-504.
- Collura, T. (1995). History and Evolution of Computerized Electroencephalography. *Journal of Clinical Neurophysiology May 1995*, 12(3), pp.214-229.
- Galison, P. L. (1997). *Image and logic : a material culture of microphysics*. Chicago: the University of Chicago press.
- Gardner, H. (1985). *The mind's new science : a history of the cognitive revolution*. New York: Basic Books.
- Gaudillière, J. (2002). *Inventer la biomédecine, La France, l'Amérique et la production des savoirs du vivant (1945-1965)* (La Découverte.). Paris.
- Horcholle-Bossavit, G., & Tyč-Dumont, S. (2005). *Le neurone computationnel : histoire d'un siècle de recherches*. Paris: CNRS éditions.
- Jacq, F. (2005). Aux sources de la politique de la science : mythe ou réalités ? (1945-1970). *La revue pour l'histoire du CNRS*.
- Krige J. (2006). *American Hegemony and the Postwar Reconstruction of Science in Europe*. MIT Press.
- Kuisel R.F. (1993). *Seducing the French: The Dilemma of Americanization*. Berkeley and Los Angeles, CA:

University of California Press.

- Jeannerod, M. (2002). Les neurosciences à l'orée du XXI<sup>e</sup> siècle. *SER-SA Études*, 395, pp.469-481.
- Lakatos, I. (1980). *The methodology of scientific research programmes*. Cambridge University Press.
- Le Roux, R. (2010). *La cybernétique en France (1948-1970). Contribution à l'étude de la circulation interdisciplinaire des modèles et des instruments conceptuels et cognitifs* (Thèse 3<sup>e</sup> cycle).
- Ligonnière, R. (1987). *Préhistoire et histoire des ordinateurs : des origines du calcul aux premiers calculateurs électroniques*. Paris: R. Laffont.
- Lytton, W. W. (2002). *From computer to brain : foundations of computational neuroscience*. New York: Springer.
- Squire L.R. *The History of Neuroscience in Autobiography*. 6 volumes publiés entre 1996 et 2008.
- Mols, S. (2006). *Error-mindedness and the computerisation of crystallography, 1912-1955* (PhD. in philosophy). University of Manchester.
- Moreau, R. (1981). *Ainsi naquit l'informatique : les hommes, les matériels à l'origine des concepts de l'informatique d'aujourd'hui*. Paris: Dunod.
- Mounier-Kuhn, P. (2010). *L'informatique en France : de la seconde guerre mondiale au plan calcul : l'émergence d'une science*. Paris: Presses de l'Université Paris-Sorbonne.
- November, J. A. (2006). *Digitizing life: the introduction of computers to biology and medicine* (PhD. in philosophy). Princeton University.
- Pestre, D. (1989). Quelques commentaires sur les témoignages oraux. *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 2.
- Pestre, D. (2006). *Introduction aux Science Studies*. Editions La Découverte.
- Ramunni, G. (1989). *La physique du calcul : histoire de l'ordinateur*. Paris: Hachette.
- Ramunni, G. (2002). Introduction au dossier : les années 60, l'Espace, l'Océan, la Parole. *La revue pour l'histoire du CNRS*, (6).

## INDEX DES NOMS PROPRES

### A

Adey .....	40
Adrian .....	35
Aigrain .....	79
Aiken .....	39
Alajouanin .....	34, 62
Alpern .....	48
Anokhin .....	20
Aran .....	82
Arnal	
Danielle .....	89, 91
Robert .....	90, 91
Arnaud .....	80
Ashby .....	26
Astrakyan .....	20
Aujaleu .....	76, 79

### B

Bailly .....	96
Baldock .....	36
Bancau .....	103
Baruk .....	48
Baudouin .....	34
Bechtel .....	80
Beck .....	35
Ben-Ari .....	63
Benoit .....	93
Benzécri .....	47
Berger .....	34, 35
Beritashvili .....	20
Bernier .....	78, 79
Berthoz .....	82, 96, 97, 100
Bertrand .....	77, 97
Bimar .....	77
Binet .....	57
Bisconte .....	58, 59
Blaise .....	50, 97
Blanc .....	82
Blanquet .....	80
Bohorquez .....	97
Boissier .....	36, 48, 63, 78, 92, 103
Boucher .....	57
Bourrel .....	78
Bouvrain .....	57, 66
Boyer .....	63
Brazier .....	20, 40, 41
Bremer .....	20
Bricau .....	78
Brini .....	66
Bronk .....	34
Brouet .....	34

Bugnard .....	25, 62
Burg .....	76, 77, 79, 85, 97, 100
Burnod .....	99
Buser .....	56, 70, 103

### C

Calle .....	80
Callourd .....	63
Caspi .....	63
Castaigne .....	34, 62
Caton .....	35
Cazard .....	63
Cécie .....	97
Chang .....	20
Charcot .....	34, 62
Chauchard .....	26
Cherruault .....	103
Chevrie .....	63
Clarac .....	20, 24, 30, 52
Clark .....	38, 41
Clynes .....	36, 49
Coirault .....	48
Condé .....	44, 50, 95
Coquery .....	21, 51, 67
Couffignal .....	26
Couraud .....	84, 85
Couteaux .....	48

### D

Delasnerie .....	63
Delay .....	48
Dell .....	20, 24, 25, 49, 70, 91
Delmas-Marsalet .....	48
Delpech .....	24, 26
Demerseman .....	85
Deniker .....	36, 48, 63
Dondey .....	59
Dordain .....	63
Dormont .....	44, 50, 92, 93, 94, 95
Douzou .....	85
Drohocki .....	35, 36
Dubuisson .....	91
Ducimètre .....	80
Dufossé .....	99
Duperdu .....	80
Duroux .....	68
Dussauchoy .....	91

### E

Eccles .....	47
Echallier .....	45, 94, 99
Erlanger .....	34

Etevenon .....	31, 35, 36, 92, 94, 95, 103
F	
Fernet .....	63
Fessard .....	19, 20, 24, 26, 31, 32, 35, 36, 48, 50, 56, 57, 60-63, 66, 67, 92, 93, 96, 103, 109
Fischgold .....	34
Fourcade .....	85
Fourquet .....	47
Frueling .....	82
Funck-Brentano .....	57
G	
Gareyte .....	77
Gariod .....	80
Gasser .....	34
Gastaut .....	20, 24, 26, 34, 36, 48, 50, 51, 56
Gastinel .....	47
Gaudebout .....	80
Gerin .....	45, 49, 63, 78-99, 131
Gernelle .....	69
Giard .....	63, 96
Gogan .....	70
Goldberg .....	61, 63, 64
Goldstein .....	35, 36, 94, 103
Grémy .....	51-86, 94, 103
Guillaume .....	63
H	
Hamburger .....	34
Han .....	85
Hanen .....	63
Hérault .....	66
Hodgkin .....	47
Hovelacque .....	34
Hugelin .....	24, 25, 31, 52, 57, 60-63, 70, 71, 77, 92
Huxley .....	47
I	
Imbert .....	57, 97
J	
Jasper .....	20
Jeannerod .....	19, 30, 89, 95, 97
Jobert .....	79
Jouvet .....	97
Jutier .....	51, 53, 61, 67, 77
K	
Kendrew .....	39, 42
Killam .....	77
Konorski .....	20
L	
Lacey .....	67

Lapicque .....	19, 26
Laporte .....	62
Laurent .....	55, 57, 75, 79, 80, 83, 88, 93
Laviron .....	91
Lazar .....	86, 97, 98
Lecerf .....	57
Ledley .....	39
Lee .....	38, 39
Legras .....	47
Lehmann .....	57
Lévy .....	63
Lhermitte .....	62, 63
Lhoste .....	85
Lilly .....	34, 50
Lissak .....	20
M	
Mackenzie .....	21
Magoun .....	20, 24, 40
Malavard .....	50
Marcellin .....	76
Martin .....	47, 77, 78
Martinerie .....	99
Marty .....	59
McCulloch .....	23, 24, 26, 34, 41, 47, 50
Melher .....	97
Meyniel .....	80, 84, 85
Montrouge .....	63
Morel .....	57
Moruzzi .....	20, 24
N	
Naquet .....	31, 51, 62, 63, 77
Nedey .....	47
Neminsky .....	35
Netter .....	100
Neumann .....	27
Nó (de) .....	23
Nunez .....	78
O	
Offner .....	34, 50
P	
Pachebo .....	84
Pacheco .....	85
Paillard .....	30, 31, 67, 99
Pernier .....	44, 45, 70, 82-98
Peronneau .....	83, 85, 86
Perronet .....	82
Perronneau .....	82
Pichot .....	63
Piéron .....	18
Pinon .....	97
Pitts .....	41, 47

Poly.....	29
Puech .....	34

Worcel.....	85
-------------	----

## R

Rabischong .....	80
Rall .....	47
Régis .....	51
Rémond ...23, 24, 33-36, 45, 48, 50, 52, 62, 71, 91, 99, 102	
Revol .....	48
Ripoche.....	50
Rosenblatt .....	61, 62
Rosenblith.....	38, 41, 94
Rougeul-Buser .....	56
Rubel .....	96
Rusinov.....	20

## S

Salmon.....	63
Samsom-Dolfus .....	63
Sarles .....	78
Scherrer..... 24, 30, 31, 48, 62, 63, 66, 77, 96, 99	
Schmitt.....	18, 41
Schneider .....	91
Schützenberger .....	50
Schwartz Daniel.....	76, 79
Sébille .....	24, 44
Shannon .....	26
Signoret .....	63
Soula .....	30
Soulairac .....	78
Soulayrol.....	63
Staub .....	80
Stinnakre.....	21, 22, 52
Szabo .....	63

## T

Talairach .....	34
Tauc .....	22
Thévenet .....	97
Thieffry.....	77
Torres-Quevedo .....	23
Touraine.....	98
Tubiana .....	57, 79, 80, 84, 85
Tyč-Dumont .....	20, 24, 25, 31, 63, 70, 91

## V

Vadot .....	57
Valade.....	98
Vibert.....	25, 71
Vidal .....	63

## W

Walter W.G.....	20, 23, 25, 26, 34, 50, 94
Wiener .....	23, 25, 26, 32, 36, 38, 41

## ANNEXES

INVENTAIRE PRELIMINAIRE DE L'EQUIPEMENT EN ORDINATEURS DES  
LABORATOIRES DE « NEUROSCIENCES » (1960–1980) 120

LISTE DES CONTRATS DE RECHERCHE EN « NEUROSCIENCES » DANS LE  
CADRE DE L'ACTION CONCERTÉE « GBM » DE LA DGRST (1966-1975). 122

INVENTAIRE DE L'ÉQUIPEMENT INFORMATIQUE DES UNITÉS INSERM (1966-  
1971) 126

LES PROGRAMMES DE RECHERCHES SOUTENUS PAR LES ATP  
« INFORMATIQUE ET GBM » ET « ACQUISITION ET TRAITEMENT DU SIGNAL »  
DE INSERM (1973-1978) 127

CONTRATS DE L'UNITÉ INSERM 94 ET SON UNITÉ FILLE : LE CEMI (1966-1980)

130

## ANNEXE 1:

### INVENTAIRE PRELIMINAIRE DE L'EQUIPEMENT EN ORDINATEURS DES LABORATOIRES DE « NEUROSCIENCES » (1960–1980)

Les informations proviennent des archives institutionnelles et des témoignages. Le tableau-dessous est une première ébauche d'un inventaire de l'équipement informatique des laboratoires français de neurosciences. Les calculateurs électroniques qui ne sont pas des ordinateurs ne sont pas indiqués. Sur fond grisé, les ordinateurs ou systèmes informatiques réalisés par les laboratoires eux-mêmes.

Date utilisation	Ordinateurs	Firme	Laboratoire	Programme de recherche	Source de Financement
1966-1983	Gamma M40	Bull	Rémond, GR9/Lena, CNRS, Paris (Hop.Pitié-Salpêtrière)	Etude des rythmes moyens de l'EEG (rythme alpha) ; localisation des foyers épileptiques Etude des PE par stimuli sensoriels Aide au diagnostic : application à l'épilepsie (analyse de source) Aide à la gestion des laboratoires	Location jusqu'en 1972, puis acheté par CNRS ; AC GBM 73.7.1849 et 73.7.185, 74.7.9288
1966 (Location 8 mois)	Gamma M40	Bull	Scherrer, Neurophysiologie appliquée (U3), Inserm, Paris (Hop.Pitié-Salpêtrière)	Etude des rapports entre les données des enregistrements électrophysiologiques et les phénomènes qui sont à leur origine (EEG, EcoG, unitaire)	RCP CNRS ; DGRST AC cr. 66.026 ac « Cerveau », prolongé : 38 000fr ; INSERM
1967	LINC8	DEC	Scherrer, (U3)	Cf. 1966	Cf. 1966
1967	PDP10/24	DEC	Grémy, Centre de biomathématique du CHU de la Salpêtrière, Paris	Méthodes statistiques et d'analyse numériques pour traiter les signaux électrographiques (1970s, Lab Scherrer relié au PDP10)	DGRST, CNRS
1968	PDP8	DEC	Hugelin, Lab. Exploration Fonctionnelle Respiratoire (LA204 CNRS?), Paris (Hop. Saint Antoine)	Reconstruction spatiale et fonctionnelle des neurones respiratoires	
1970	PDP12	DEC	Paillard, INP (> 1971 : centre de calcul), CNRS, Marseille	1971 : service commun « calcul » resp. M. Sarrasi : INP1 (Neurophysiologie végétative, dir. Dussardier) > INP3 (Neurophysiologie appliquée, dir. Naquet) > INP4 (Psychophysiologie générale, dir. Paillard) > INP 10 (Secrétariat) > INP7I (Radio-éléments) > Software > INP 7 (Psychologie comparée, dir. Le Masne) > INP 5 (Neurophysiologie générale, dir. Massion) : statistiques (Gola, Lab de biophysique : modélisation Hodgkin-Huxley par Ingénieur Hélène Chaneux)  1973 : INP3 (44%) : sommeil chez le primate et le chat (EEG, pharma), épilepsie chez le babouin (EEG) > INP9 (24,5 % ; Psychologie animale, dir. Deleurance, utilisateurs : H et M Durup, Dessautel) : discrimination des formes, orientation et apprentissage spatial, organisation séquentielle du comportement = modélisation mathématique de la stratégie comportementale (cf. Le « labyrinthe de Durup » > (moins de 10%) INP 7I ; INP 7 ; INP1 : motricité et sensibilité viscérales ; INP4 : fonction anticipatrices du système nerveux ; programmation motrice chez le crustacé, organisation de l'espace sensorimoteur > (moins de 5%) INP2 (Neurophysiologie cellulaire, dir. Arvanitaki) ; INP5 ; Secrétariat.	CNRS ?
1970	PDP8L	DEC	Benoit, Lab. de physiologie, (LA 89), CNRS/Univ, Orsay	(Dormont et Condé) Traitement des spikes en temps réel sur animal en mouvement	200MF ; « acheté sur un crédit "plan" (création laboratoire)
1970	Lab8	DEC	Gerin, Lab de physiopathologie du système nerveux (U94), Inserm, Lyon (Hopital Neurologique)	1969-1974 1. Analyse de séquences de potentiels d'action (Pernier) 2. Analyse spectrale automatique en temps réel de signaux E.E.G. pour localisation foyer épileptique (Laviron) 3. Etude stratigraphique de l'électrogenèse du cortex humain (Sindou) ; 1975 : "système de recueil et de traitement de potentiels évoqués moyens" (POTEV) par le CEMI, 1976 "système d'étude des relations entre phénomènes lents et activité unitaire" (SERPLU), 1977 : "système de stimulation et de recueil de réponses" (STIRRE)	Crédit installation
1971	PDP12	DEC	Fernet, GR en informatique biomédicale (U92), Inserm	(1966-1970) JP Blanquet « Première expérience sur l'EEG des états de méditations »	

1973	Mitra	CII	Fernet, GR en informatique biomédicale (U92)	Dossiers médicaux, aide au diagnostic (dont neurologie et neurochirurgie), traitement questionnaire, génétique des populations	
1973	PDP8	DEC	Gerin, Lab de physiopathologie du système nerveux (U94)	Cf. 1970	DGRST (AC GBM 73.7.1695 ; 120000fr)
1973	PDP11-23	DEC	Rémond, LENA/GR9	Cf. 1966	
1973	PDP10	DEC	Scherrer , (U3 )	Cf. 1966	
1974	Lab11/40	DEC	Paillard, INP	INP3 > INP5 > INP7 > INP4 (contrat DGRST : « Pilotage du système asservissement hydraulique et recueil de signaux ») > INP1 > INP9	DGRST (AC GBM 73.7.1842 ; 1683 980fr)
1974	Labo16	SEMS	Jeannerod, (U94),	1974 - 1975 : Le CEMI conçoit un système d'acquisition et de traitement de l'activité neuronale unitaire spontanée (STAS) puis un système d'acquisition en temps réel de champs récepteur de neurones visuels (CROL)	
1976	Multi 8	Intertech nique	Jouvet, Lab. d'oniologie moléculaire » (U52), Inserm, Lyon	Mesure en continu des phénomènes de transports actifs au niveau des membranes biologiques (relié au compteur chromatogramme Packard)	DGRST (AC « Membrane biologique »)
1977	Micromegas	CEMI, Insa et CEM	Pernier, CEMI, Inserm, Lyon; Rubel, INSA, Lyon	Conception d'un Micro-Ordinateur à base du microprocesseur 8080 (INTEL), Commercialisé par le CEM	
1970 s	PDP8	DEC	Requin, INP	Pilotage automatique expérience comportement, analyse statistique	
1970s	PDP11	DEC	Pernier, CEMI		
1970s	PDP8	DEC	Berthoz, Lab. de Physiologie neurosensorielle, CNRS, Paris	(Ascher, 1976) Analyse bruit des courants induits par l'acétylcholine.	
fin 1970s	Labo16	SEMS	??, lab. d'EEG, Lyon (Hôp. Neurologique)	1978-1979 : Le CEMI conçoit un système d'acquisition des potentiels évoqués moyens (EVOQ) et des programmes de statistiques	
fin 1970s	Solar	Télémecc anique (puis SEMS)	Pernier, CEMI		
fin 1970s	Minc11		Rispal-Padel, INP	Travaux chez le singe	
fin 1970s	Analyseur basé sur Solar	CEMI	Jouvet, (U52)		
fin 1970s	PDP8E	DEC	Vincent, Lab. de neurobiologie des comportements (U176), Inserm Bordeaux	Etude sécrétion neurotransmetteur	DGRST (AC biol reprod 650.142) , INSERM (ATP GBM 6.76.61 et 46.77.78 + contrat libre), CNRS (ATP neubiol)
1980	PDP8	DEC	Marty et Ascher, Lab. de physiologie cérébrale, CNRS – Univ, Paris		
1981	PDP11/60	DEC	Rémond, GR9/Lena	Le PDP1160 remplace le Bull M40 à convertisseur analogique-numérique initialement utiliser pour digitaliser et traiter les données EEG	CNRS
1980s?	Minivax, DEC		Rémond, LENA/GR9	Cartographie cérébrale (EEG, MEG ?)	?

## ANNEXE 2:

### LISTE DES CONTRATS DE RECHERCHE EN « NEUROSCIENCES » DANS LE CADRE DE L'ACTION CONCERTÉE « GBM » DE LA DGRST (1966-1975).

Liste des contrats passés dans le cadre du VI<sup>e</sup> Plan. (1966-1970) [Arch.Nat.P01343 : Progrès Scientifique, mars 1972, édité par la DGRST (Numéro spécial sur l'AC GBM en 1970)] et dans le VII<sup>e</sup> Plan (1971-1975) [Arch.Nat.19810244/Art.184-241]. Les programmes de recherche sont axés sur : l'« acquisition » (A), le « traitement du signal » (T), les « prothèses ou orthèses » (P) ou la « modélisation » (M).

N° Contrat	Nature	Discipline	Dates	Somme (F)	Bénéficiaire(s)	Programme	Equipement
66.00.190	A	Biophysique (oxygène)	1966, 15 mois	20960	Rybak (laboratoire de zoophysique, Caen)	Mesures en continu du taux d'oxygène de l'encéphale in situ chez le mammifère anesthésié et vigile	
66.00.257	T	Neurophysiologie (EEG)	1966, 32 mois	460000	Scherrer et Calvet (U3, Inserm, Paris)	Elaboration des méthodes d'exploitation EEG avec réalisation d'un appareillage simplifié permettant une telle exploration (circuit électronique logique)	
66.00.104	T	Neurophysiologie (EEG, unitaire)	1966, 27 mois	450000	Grémy (U.88, Inserm, Paris)	Analyse des structures en neurophysiologie	
66.00.405	AT	Industrie Neuropsychologie	1966, 38 mois	398240	Dondey (laboratoire de physiologie et psychologie neurochirurgicale) + Société Coderg	Etude et réalisation d'un appareillage destiné à une exploration électrophysiologique par variation thermique	
67.00.767	AT	Industrie Neurophysiologie	1967, 24 mois	55700	?? (Laboratoire d'anatomie de la faculté) et Gouaze (laboratoire de synthèse chimique de la SPCS)	Mise au point d'une méthode expérimentale et clinique d'exploration de la circulation cérébrale par le marquage du sang veineux à l'aide de nouveaux composés organiques fluorescents de synthèse	
67.00.889	T	Neurophysiologie Neurologie	1967, 30	361000	Gastaut (Neurobiologie, Inserm, Marseille)	Application des techniques de traitement de l'information par ensemble numérique à l'étude des activités évoquées sur le scalp	
67.01.066	T	Psychophysiologie	1967, 24 mois	60000	Caille (centre d'étude et de recherches du service de psychologie, Armée)	Appareil permettant l'analyse spectrale en temps réel de l'EEG	
68.01.176	AT	Industrie	mai 1968, 24 mois, + avril 1970	414000 + 200 000	Perilhou (laboratoire LEREM de Massiot-Phillips SA)	Conception appareil de tomographie ultrasonore de l'encéphale avec calculateur automatique	4 sept 1967 brevet (tumeurs et hématomes, n°1 497 496).
68.01.315	A	Neuropsychologie	nov 1968, 32 mois, + 14 mois	300000	Talairach et Bancaud (U 97, service de neurochirurgie fonctionnelle, Inserm, Paris) + Buser (Laboratoire de neurophysiologie comparée, Paris)	Exploration stéré EEG chez des patients épileptiques = analyse des événements électriques paroxystiques	Corrélateur en temps réel (publication avec Buser en 1971) pas brevet, construction confiée à la SAIP (constr. De l'ART1000) = livraison mai 1970
68.01.436	T	Neurophysiologie	août 1968 - juin 1970	21400	Grémy (U.88, Inserm, Paris)	Développement du centre de calcul et de stat PROGRAMME : « traitement information biomédicale » (EEG et PA)	
69.01.599	P	SPI	1969, 36 mois	15000	Pimow (laboratoire d'électronique appliquée aux communications sensorielles à l'EPHE, Paris)	Création d'une prothèse auditive avec adaptation physiologique et physique des composantes naturelles au reste auditif	

69.01.688	AT	Industrie	1969, 18 mois	331000	Houdart (Laboratoire de la société d'électronique appliquée-)	Mise au point d'un procédé ultrasonique de repérage des processus intracrâniens	
69.01.973	T	Neurophysiopathologie	oct1969 sep.1971 + sep 1972	200000	Grémy (U.88, Inserm, Paris) + Samson-Dollfus (laboratoire EEG, fac Rouen)	« Analyse automatique de l'EEG » appliqué à la maturation du SNC chez enfant (analyse de forme et analyse multidimensionnelle aux spectres de fréquence)	
69.01.974	T	Neurophysiologie Neurochimie	nov 1969, 18 mois	61000	Bisconte et Marty (laboratoire de neurophysiologie, faculté des sciences de Montpellier) + avec le LETI (CEA de Grenoble).	Méthodologie nouvelle pour l'analyse automatique des informations histologiques et cytologiques (automatisme, détection de la radioactivité, codage numérique, analyse graphique, positionnement, cartographie, calcul numérique). ; PROGRAMME : ontogenèse et structure du SNC des mammifères. (par Radiographie à cellulaire)	= « répéteur de position relative » pour scanning automatique (souhait : syst avec ordi moyen)
70.02.261	AT	Physiologie sensorielle	1970, 24 mois	127500	Jayle (clinique ophtalmologique, Marseille)	Contrôle de l'efficacité de l'instrumentation proposée en vue de la cartographie du champ visuel	
70.07.2348	AT	Neurobiologie	1970, 24 mois	41607	Gastaut (Inserm, Marseille)	Circulation artificielle du cerveau	
71.07.2754	AT	SPI	Juillet 1971 – décembre 1971	48000	Richalet (ingénieur ENSA et ENS aéronautique)	Télé-enregistrement automatique de signaux physiologiques (EEG)	
71.07.2760	AT	Psychophysiologie	Mai 1971 - mai 1972	230000	Alvar Electronique + Bancaud et Geier (U.97 Inserm)	Etude et réalisation d'un appareillage de télé- enregistrement de l'EEG destiné à la stéréocéphalographie (SEEG) = « télévar IC »	Télévar IC : système électronique analogique avec enregistreur sur bandes magnétique, pas brevet
71.07.2837	T	SPI Neurologie	mai 1971 ; 24 mois	200000	Houdart (dép. électronique appliquée à et Mamo (équipe recherche de neurophysiopathologie humaine) l'hôpital Lariboisière, Paris	représentation tomographique, détection du processus d'expansion physiopathologique (pointage du transducteur et traitement signal avec méthode des ultrasons, traitement informatique par amplificateur à CAG)	
71.07.3033	PO	SPI Neurologie	NR	NR	P. Jossrand (GR EBM, université de Toulouse)	Vessie neurologique	
71.07.3034	PO	SPI Neurologie	oct 1971 - juin 1974	83200	Juskiewski	Etude de la stimulation électrique de l'appareil urinaire vésico-sphinctérien	
71.07.3128	A	SPI Neurologie	NR	NR	LETI (CEA, Grenoble) et ?? (neurochirurgie fac médecine Grenoble Rougemont)	Capteur de pression intracrânienne (envoi en temps réel signal analogique)	
72.07.0125	M	SPI	nov 1971 – oct 75	160607	Alais (laboratoire mécanique physique, univ paris VI, école St Cyr)	« Développement d'une rétine photosensible électrostatique avec application à l'holographie acoustique »	Système électronique analogique (avec transducteur électrostatique) à l'aide circuit imprimé)
72.07.0074	A	Neurologie	mars 1972 - mars 1974	45000	Cohadon (laboratoire de neurochirurgie, à l'université Bordeaux 2)	Etudes cliniques d'une série de micro capteurs de pression intra crânienne	
72.07.0105	A	Neurophysiologie cellulaire	Mars 1972 - fev 1975	75000	Sachs (laboratoire d'exploration fonctionnelle chez l'enfant, hôpital Necker, Paris) + Martin	Electrode sélectives : mise au point de nouvelles électrodes : étude des phénomènes interfaciaux / membranes biologiques	
72.07.0195	A	Industrie	mars 1972 - juin 1972	268000	M Balme (Thomson Medical Telco)	Construction capteur de pression intracrânienne pour surveillance pré-opérateur chirurgicale ou diagnostique	

72.07.0249	P	Industrie	avril 1972 - juin 1974	121600	Métral	Analyse signaux myoélectrique en vue de leur utilisation pour commander une prothèse	
72.07.0740	T	Industrie Neurophysiologie	dec 1972 - nov 1974	99000	Hugelin (LA 38, Laboratoire d'Explorations Fonctionnelles en Neurophysiologie, CNRS, Paris) + Schlumberger	Reconnaissance et traitement en temps réel de signaux électrophysiologie unitaires émis séparément par plusieurs cellules nerveuses et enregistrés par un capteur unique » (Electro multi-unitaire, filtre numérique, reconnaissance de forme). PROGRAMME : électrophysiologie élémentaire	Sur PDP-8, PDP-11 (Pas de brevet)
72.07.0741				151000	Schlumberger Instrument. + Hugelin		
72.07.0251	P	Neurologie ?	avril 1972 - juin 1974	220000	Bouisset	Analyse signaux myoélectrique en vue de leur utilisation pour commander une prothèse	
72.07.0774	T	Industrie SPI	1974 ; 2 ans	147317	Paumard (labo analyse du signal= + Schlumberger Instrument	Réalisation de périphériques adaptés aux mini-ordinateurs de laboratoire et destinées à l'acquisition et au traitement en temps réel de PA cellulaires unitaires (spike) PROGRAMME : électrophysiologie élémentaire réalisation pour PDP-8E	
72.07.0797	P	Physiologie sensorielle	Oct 1972 – sep 1975	147000	Aran, Charlet de Sauvage, Cazals, et Negrevergne (laboratoire d'audiologie expérimentale, université de Bordeaux)	Développement de l'électrocochléographie et application à l'étude des prothèses auditives	Histomats (Inter technique), Ampli AT210, Analyseur 4000 type SA 44
73.07.1598)	C	Neuropsychologie	sept 1972 - fév 1975	40000	:Sachs (laboratoire d'exploration fonctionnelle chez l'enfant, hôpital Necker, Paris)	Electrode sélectives : mise au point de nouvelles électrodes : étude des phénomènes interfaciaux par membranes électives	
73.07.1693	P	Industrie Neurologie	aout 1973 - juillet 1974	210000	Poujol ( ABG SEMCA)	Analyse signaux myoélectrique en vue de leur utilisation pour commander une prothèse	
73.07.1694				78100	Hakonet		
73.07.1695	T	Industrie Neurophysiologie	Nov 1973 – oct 1975	120000	Valraud (ECEM) + Gerin (U.94 Inserm) + Lhermitte(U.84, Neuropsychologi, Inserm )	Système modulaire de recueil et prétraitement en ligne de signaux électrophysiologiques (neurophysiologie en particulier) et contrôle d'expérience, éventuellement dur mini-ordinateur	Moniteur 604 tektronix
73.07.1696			Oct 1973 – aout 1975	30000	Gérin (U.94 Inserm) + ECEM		
73.07.1842	A	SPI Psychophysiologie	Dec 1973 - nov 75	163980	Massion et Sideriades (INP, CNRS, Marseille) + Gahéry, Nieoullon, Padel ; Regis, Smith, Steinberg, Swett, Trouche	Mise au point d'un appareillage destiné à étudier chez le quadrupède des ajustements posturaux et les mouvements provoqués par divers types de stimulations naturelles	Système asservissement hydraulique relié au DEC lab 11/40
73.07.1849	T	Industrie Neurophysiologie	Nov 1973 - Oct 1975	60000	Kunetz (Compagnie Générale de Géophysique) + Angele (Sercel, filiale de CGG) + Antoine Rémond (LENA, CNRS, Paris)	Etude du comportement topographique de l'activité électrique du cerveau ou du cœur au moyen d'un système d'acquisition et de traitement des données (ou « toposcope médical »)	Gros ordi CDC 6500 de la Compagnie Générale de Géophysique, + Univac 6130 et 6135 + SN338
73.07.1850				50000	Angele (Sercel, filiale de CGG) + Kunetz (Compagnie Générale de Géophysique) + Antoine Rémond (LENA, CNRS, Paris)		
74.07.0288				40000	Antoine Rémond (LENA, CNRS, Paris) + Angele (Sercel, filiale de CGG) + Kunetz (Compagnie Générale de Géophysique)		
74.07.0013	A	Industrie Neurophysiologie	1974 ; 12 mois	23000	Tyč-Dumont (Inserm, Marseille) + Daniault	Réalisation de micro-capteurs revêtus d'un blindage métallique isolé de l'extérieur et permettant les enregistrements des activités électrophysiologiques	

74.07.0014				160000	Daniault +Tyč-Dumont (Inserm, Marseille)		
74.07.0261	A	SPI Neurologie	Juillet 1974 – 30 juin 1975 + juin 1977)	20000	Rougemont (laboratoire neurochirurgie, CHU Sablons) +LETI( CEA, Grenoble)	Amélioration du capteur de pression intracrânienne par une technologie de fabrication lui donnant des caractéristiques voisines et stables. Mise en forme de l'électronique d'interrogation en vue de son utilisation clinique aisée	1 brevet, pas ordi
74.07.0262				100000	Roger Gariod (LETI, CEA, Grenoble)		
74.07.0834	T	SPI Electrophysiologie	Juin 1974 ; 18 mois	242414	Gariod (LETI, CEA, Grenoble), MCTE (Contrat avec Gérin, Perrin, Jouvet, Besse (cardio) ; Sadoul (respiration), Arion (cardiovasculaire), Durand (pneumologie) et Grémy	Système de traitement des signaux physiologique (numérique et temps réel) = numérisation, stockage temps réel, visualisation, traitement (fourrier, densité spectrale, corrélation, convulsion, fonction de cohérence, filtrage numérique, dérivé, histogramme, réduction des données, etc.). Pour neurophysiologie, cardiologie, pneumologie, biophysique	Calculateur Multi 20 (Intertechnique) et visuel de type 4010
74.07.0835	P	Industrie Neurologie	1974 ; 24 mois	100000	Hakonet	Mise au point orthèse du membre supérieur à commande myoélectrique	
74.07.0836				70000	Metral		
74.07.0837				380000	Bouisset, Hamonet et Metral		
74.07.0838				12000	Poujol (ABG Semca)		
74.07.0839	T	SPI Physiologie sensorielle	Sept 1974 ; 18 mois	150000	Max et Gariod (LET, CEA –CEN, Grenoble) + Doche, Despringre, Gorius	Etude et réalisation d'un système de dépouillement et de traitement automatique en temps réel des signaux électro-nystagmographie	« Nystagmolab » avec sortie sur ordi non spécifié [photo] ; 0 brevet
74.07.0840	P	SPI Physiologie sensorielle	1974, 18 mois	160000	Orzag, Grillon et Cassagne	Application de la mesure des mouvements de l'œil (ondes yeux) d'un observateur dans le cas particulier des handicaps moteurs	

### ANNEXE 3

#### INVENTAIRE DE L'ÉQUIPEMENT INFORMATIQUE DES UNITÉS INSERM (1966-1971)

En 1972, le directeur du service d'étude de l'équipement scientifique, F. Moschetto, présente un rapport sur « les moyens matériels informatiques mis en œuvre dans les unités Inserm », recensant les « ordinateurs » ou gros calculateurs » (en pointillés) et les petits moyens de calcul jusqu'en 1971. Le rapport précise que « les ordinateurs Inserm ne sont pas considérés comme des moyens de « recherches en informatique » mais comme des outils de « recherche biomédicale » [Arch.Nat 20060283/art.26].

U.	Directeur	Ville	Calculateur	Mise en service	(F. époque)	Discipline (objectif)
21	Schwartz D.	Villejuif	Gamma Bull	1966	476060	Statistiques
45	Lambert	Lyon	Divisumma 24	1967	3344	Digestion (Nutrition - Tube digestif)
51	Schier	Lyon	Programma 101	1967	25520	Endocrinologie (Hormone)
24	Fauvert	Paris (h <sup>ô</sup> p. Beaujon)	Intertechnique	1967	20000	Métabolisme
27	Legrain	Paris (Suresnes)	Tranmatic ONC	1967	8175	Néphrologie (Rein)
19	Boissier	Paris (Hôp. St Anne)	Logos 2 Olivetti	1967	6821	Psychopharmacologie (Cerveau)
14	Sadoul	Nancy	Programma 101	1967	25000	Physiopathologie respiratoire (Poumon)
21	Schwartz D.	Villejuif	1107 Univac	1967	3150000	Statistiques
37	Descotes	Lyon	2 Coultronics	1968	80000	Cardiologie (Cœur)
63	Froment	Lyon	Programma 101	1968	24000	Cardiovasculaire (Cœur -Sang)
53	Blanquet	Bordeaux	RG 23 Intertechnique	1968	72000	Hématocytologie (Sang)
90	Funck Brentano	Paris ( h <sup>ô</sup> p. Necker)	Intertechnique	1968	139803	Métabolisme
32	Beaumont	Paris (Créteil)	Programma 102	1969	30454	Cardiovasculaire (Cœur-Sang)
54	Bernier	Paris (St Lazare)	1131 IBM	1969	617533	Digestion (Nutrition - Tube digestif)
49	Bourel	Rennes	Programma 101	1969	27160	Hépatologie (Nutrition - Tube digestif)
67	Zuckerkandl	Montpellier	Beckman	1969	207533	Immunologie (Micobiologie)
71	Meyniel	Clermont	cal. Elec + programma saphymo	1969	36296	Métabolisme
94	Gerin	Lyon	<b>PDP-8 L</b>	1969	274717	Neurophysiologie (Cerveau)
82	Turiaf	Paris (h <sup>ô</sup> p. Bichat)	cal. Elec + programma saphymo	1969	36298	Physiopathologie respiratoire (Poumon)
36	Housset	Fer à moull.	Sigmatron Diehl ONC	1970	13000	Biologie animale et technique expérimentale
95	Hobert	Nacy	Programma 102	1970	31053	Cancérologie (Cancer)
8	Bricaud	Bordeaux	1130 IBM	1970	176106	Cancérologie (Cancer)
28	Lagrue	Paris (h <sup>ô</sup> p. Broussais)	Programma 102	1970	30464	Cardiovasculaire (Cœur-Sang)
31	Sarles	Marseille	Programma 102	1970	30454	Digestion (Nutrition - Tube digestif)
61	Grenier	Strasbourg	A 71 IBM	1970	54735	Digestion (Nutrition - Tube digestif)
75	Cartier	Paris (h <sup>ô</sup> p. Necker)	Programma 102	1970	30465	Enzymologie (Métabolisme)
12	Frezal	Paris (Necker)	AL2000 Logabax	1970	9970	Génétique médicale
99	Berthelot	Paris (h <sup>ô</sup> p. H. Mondor)	2 Sobax 600 Mabe ; EMD type 428 Electr. Dassault	1970	6950 ; 60000	Hépatologie (Nutrition - Tube digestif)
56	Alagille	Paris (h <sup>ô</sup> p. Bicêtre)	Divisumma 24	1970	4450	Hépatologie (Nutrition - Tube digestif)
34	Bertrand	Lyon (Hôp. Debrousse)	2M920 LBS	1970	30000	Endocrinologie (Hormone)
55	Rosselin	Paris (h <sup>ô</sup> p. St Antoine)	Combit 30 302 721 ONC	1970	10614	Endocrinologie (Hormone)

92	Pernet	Toulouse	Mitra 15 CII	1970	240000	Immunologie (microbiologie)
115	Martin	Nancy	10.011 CII	1970	600000	Informatique médicale
30	Royer	Paris ( hôp. Necker)	Programma 101 ; Programma 102	1970	27800 ; 30454	Métabolisme
18	Hioco	Paris (Hôp. Lariboisier)	Programma 102; Wang 700B	1970	30464 ; 45141	Métabolisme
64	Bichet	Paris (hôpital Tenon)	Interface, Programma 102	1970	9020 ; 31055	Néphrologie (Rein)
81	Bargeton	Paris (hôpital Pitié)	Programma 102	1970	30470	Néphrologie (Rein)
96	Nunez	Paris (hôpital Bicêtre)	4 Divisumma 24 ; Lagos 27/11	1970	2710 ; 73053	Neuro-endocrinologie (Cerveau)
39	Soulairac	Paris (Hôp. St Anne)	Programma 102	1970	30454	Psychophysiologie clinique et psychobiologie (Cerveau)
14	Sadoul	Nancy	9100B Packard ; Cal. Courbes Promesur ; Frinter 9120A Packard	1970	31600 ; 22600 ; 8480	Physiopathologie respiratoire (Poumon)
68	Brille	Paris (hôpital St Antoine)	2x HP 91001 Packard ; Steem	1970	34550 ; 4480 ; 7370	Physiopathologie respiratoire (Poumon)
94	Gerin	Lyon	PDP-8 I	1971	78430	Neurophysiologie (Cerveau)

#### ANNEXE 4 :

### LES PROGRAMMES DE RECHERCHES SOUTENUS PAR LES ATP « INFORMATIQUE ET GBM » ET « ACQUISITION ET TRAITEMENT DU SIGNAL » DE INSERM (1973-1978)

Les chercheurs dont le nom apparaît sur un fond pointillé sont des ingénieurs de formation, ceux dont les noms sont surlignés sont des biophysiciens ; pour les autres, les astérisques renvoient aux laboratoires ayant des chercheurs-ingénieurs. Cependant, ces indications ne sont pas exhaustives et l'absence d'indication n'est pas informative. [Sources : Rapports d'action concertée de la DGRST].

l'ATP Inserm n° 24 «Informatique et GBM » (1973-1975)				
Participant	Laboratoire	Titre	Objectif	Application
M. Hanss	(Lab. Biophysique, UER médicale et biologique, Bobigny)	étude d'un appareil destiné à l'enregistrement automatique de la vitesse de sédimentation sur un grand nombre d'échantillons	biophysique	capteur
P. Rabischong	(U.103 "recherches de biomécanique, Inserm, Montpellier) *	les céramiques implantables	biophysique	prothèse
Delhayé	(Lab. Spectrométrie Raman, Univ. Lille)	étude de principe et réalisation des tests de faisabilité d'une microsonde optique laser adapté à l'étude de substance biologique solides ou à l'état colloïdal	biophysique = imagerie	capteur
P. Gerin	(U.94 "recherche de physiopathologie du système nerveux", Inserm, Lyon)*	réalisation d'un stimulateur visuel "physiologique"	cerveau	aide soin
D. Blanc	(Centre physique atomique, univ Narbonne)	coll. avec le lab. de Blanquet pour appliquer l'effet Cerenkov produit dans le globe oculaire lui-même de la diagnose de tumeurs oculaires au moyen de 32P. Etude des conditions physiques de l'opération	cerveau	aide soin
A. Frueling	(Lab. Électricité et automatique, univ. Nancy)	analyse et reconnaissance de la parole par ordinateur industriel. Application à l'éducation vocale des enfants sourds profonds. Extension au diagnostic médical par visualisation des caractéristiques spectrales d'enregistrements cliniques	cerveau	traitement du signal
F. Grémy	(U.88 GR de méthodologie informatique et statistique en médecine, Inserm, Paris) *	algorithme d'analyse automatique de l'EEG. Constitution d'une banque de données de tracés normaux de sujets de tous âges pour tester ces algorithmes	cerveau	traitement du signal
??	(Lab. automatique industrielle et humaine, univ. Valenciennes)	perturbations du comportement de l'homme aux stimulus sensitifs (vibrations) lors d'un travail manuel à partir d'informations visuelles : réalisation d'un dispositif de mesure permettant l'analyse de ses perturbations	cerveau	capteur
R. Koechlin	(lab. Téléinformatique en cardiologie du CMC Foch, Suresnes)	étude et réalisation d'un dispositif de mesure et de transmission des coordonnées de points saillants d'une courbe, application à la radiothérapie	cœur	capteur

P. d'Alche	(Lab. Biophysique, univ. Caen)	construction d'un système d'acquisition numérique simultanément de 64 signaux biologiques. Applications à l'ECG	cœur	capteur
P. Arnaud	(Lab. Vectocardiographie et informatique médicale, hôp. Lyon-Monchat) * [coll. Insa, 1968 : PDP-8, ami de Gerin]	développement d'une banque de données vectocardiographiques et son exploitation (traitement statistique, reconnaissance de formes)	cœur	traitement du signal
A-M Staub	(GR "étude des régulations hormonales du métabolisme phosphocalcique > U.113, lab isotope, Inserm, Paris)	application de la théorie des systèmes et des techniques de l'automatisme à la modélisation du métabolisme calcique chez le rat	hormone et reproduction	modélisation
R. Georges	(GR « infiltrations interstitielles diffuses du poumon », U.82, Inserm, Paris)	traitement en temps réel d'informations issues d'un pléthymographe ouvert ou fermé. Estimation chez l'homme du volume résiduel et des résistances des voies aériennes	poumon	traitement du signal
R. Peslin	(U.14, recherche physiopathologie respiratoire, Inserm, Vandoeuvre les Nancy)	application de la méthode et du traitement de l'information en temps réel à l'étude des propriétés mécaniques du système ventilatoire	poumon	traitement du signal
<u>R. Di Paola*</u>	(GR. Radiobiologie, U.66, Inserm Villejuif)	utilisation de l'acquisition des données d'une caméra à scintillation pour l'analyse compartimentale d'un phénomène biologique dans différentes zones d'un organe. Applications à l'étude de la fonctions des deux reins et de la partie saine et modulaire d'une thyroïde	radiobiologie	capteur
<u>P. Blanquet</u>	(U.55. rech. sur les applications médicales et biologiques des isotopes radioactifs, Inserm Bordeaux)	à propos du greffage radiochimique héparins-scideacrylique. Intérêt pour l'amélioration des matériaux de prothèse vasculaire	radiobiologie	prothèse
C. Mendel	(U.61, chirurgie expérimentale et physiopathologie digestive, Inserm, Strasbourg)	étude et réalisation d'un dispositif de mesure et d'enregistrement simultanés des mouvements des couches musculaires lisses longitudinale et circulaire et des activités électriques de l'intestin grêle	tube digestif	capteur

ATP 40 "l'acquisition et le traitement des données biologiques" (1975 - 1978)				
Participant	Laboratoire	Titre	objectif	application
<u>G. Fleury</u>	(lab. De physique, Lille) + Yves Moscetto	traitement des données de spectrométrie raman et préparation biologiques en vue de leur utilisation comme marqueurs naturels <i>in vivo</i>	biophysique	traitement du signal
J.E Perrin	(lab. Biophysique "imagerie ultrasonore médicale, traitement des signaux biomédicaux, URT Chochin-Port Royal", Paris)	Recueil par voie externe de l'activité électrique hertzienne et traitement des signaux obtenus (moyennage de transitoire-analyse spectrale corrélatif aux fins d'étude des troubles de conduction et de rythme)	biophysique	capteur + traitement
J.M Aran	(Lab. Audiologie expérimentale, Univ. Bordeaux) *	analyse PA composite du nerf auditif chez l'animal et chez l'homme en électrocochléographie	cerveau	traitement du signal
P.H. Benoit	(Laboratoire de physiologie générale, LA CNRS 89, Orsay)	analyse automatique des enregistrements polygraphiques de sommeil chez l'homme	cerveau	traitement du signal
Lairy	(Lab. Neurophysiologie clinique et de psychophysiologie expérimentale, hôp H. Rousselle, Paris)	évaluation des caractéristiques temporelles et spatiales de l'activité oculomotrice au cours du sommeil chez l'homme, relations avec les données EEG et polygraphiques en condition normale et pathologique	cerveau	traitement du signal
J. Massion	(INP, dep. Physiologie générale, CNRS, Marseille)	analyse quantitative des paramètres mécaniques électrophysiologiques impliqués dans l'étude des coordinations posturo-motrices chez le quadrupède	cerveau	traitement du signal
J. Pernier	(AEMI, Inserm, Lyon)	système d'acquisition en temps réel de gestion de PE multiparamétrés <u>sur ordinateur français</u>	cerveau	traitement du signal
Samson	(Lab. Exploration neurologique, CHR Lille)	identification et description automatiques des phases de sommeil de l'enfant de moins de 3 ans	cerveau	traitement du signal
Gargouille	(Lab. Physiologie animale et physiologie cellulaires des structures contractiles, ERA CNRS 11, Univ.. Poitier)	analyse courants transmembranaires au niveau des cellules excitables (capteurs et mises au point de programme de traitements de données)	cerveau / cœur	capteur + traitement
P. Peronneau	(Centre de rech. de chirurgie expérimentale de l'ass. C. Bernard, hôp Broussais, Paris)	approche transcutanée de la fonction myocardique par une nouvelle méthode ultrasonore doppler	cœur	traitement du signal
P. Bun	(GR en biomécanique cardio-vasculaire, ser. Physiologie et exploration fonctionnelle, CHU H. Mondor, Créteil)	système d'exploration d'échogramme ultrasonores en cardiologie synthétisation, quantification	cœur	capteur + traitement
C.C. Gaudebout	(Unité de réanimation de réanimation respiratoire, hôp. C. Bernard, Paris)	index de la fonction myocardique. Acquisition et traitement cycle par cycle des courbes de pression ventriculaire gauche à l'aide d'un ordinateur de faible puissance	cœur	capteur + traitement
M. Weis	(Lab. chirurgie exp. Paris)	recueil et analyse des signaux ECG émanant du faisceau de his. Application à l'identification topographique chez le chien et chez l'homme	cœur	capteur + traitement
D. Bargeton	(Lab. Technologie des explorations fonctionnelles respiratoires, hôp. Salpêtrière, Paris)	mise au point d'une technique d'asservissement de la composition de gaz alvéolaire en oxygène et en gaz carbonique	poumon	pilotage
D. Bargeton	(Lab. Technologie des explorations fonctionnelles respiratoires, hôp. Salpêtrière, Paris)	exploration échange gazeux respiratoire et de la mécanique ventilatoire intrathoracique	poumon	capteur + traitement
G. Cannet	(GR en biomécanique cardio-vasculaire, ser. Physiologie et exploration fonctionnelle, CHU H. Mondor, Créteil -	acquisition et traitement de données sur la fonction pulmonaire : système d'exploitation des signaux de pression oesophagienne	poumon	capteur + traitement

	chez Daniel Laurent - (U.61, recherche chirurgicales en physiopathologies digestives, Inserm, Strasbourg)	étude de la motilité intestinale : 1) acquisition des signaux électriques et mécaniques. 2) numérisation et traitement par auto et intercorrélations	tube digestif	capteur + traitement
--	--	--	---------------	-------------------------

(extraits) PROJETS de l'objectif "cerveau" ATP 40 sur le thème de l'audition, seul deux projets sur ces 19 furent retenus [ surlignés] (Total : 51 demandes - 2,04 MFR pour un budget réel de 650 000 FR! )				
Budget demandé	Participant	Laboratoire	Titre	
40000 (accordé)	Aaran	(Lab. Audiologie expérimentale, Univ. Bordeaux)	Détection et analyse des réponses évoquées des noyaux du tronc cérébrale chez l'homme et chez le singe. Relations avec les réponses du nerf auditif (électrocochléographie)	
35000 (accordé)	Benoit	(Lab. de physiologie générale, LA CNRS 89, Orsay)	Activité unitaire et rôle du corps genouillé médian dans le traitement d'un stimulus acoustique conditionnel	
45000	Bessuges	(Fontenay aux Roses)	<i>Contribution à l'étude des activités évoquées moyennées PEM ou AHR averaged evoked responses. Les activités évoquées par des stimulations acoustiques électriques et leur conditionnement chez l'homme normal en situation industrielle</i>	
30000	Calvet	(Scherrer, U.3, Inserm, Paris)	<i>Comparaison des réponses électrocorticales et comportementales à des stimulus conditionnés auditifs et électriques</i>	
10000	Chearachon	(Grenoble)	<i>étude des modifications de la réponse électro-cochléographique aux clics filtrés et non filtrés, chez le rat, au cours de destructions des cellules ciliées par ototoxiques</i>	
45000	Chevance	(Paris)	<i>Altération de la perception du signal sonore en fonction de la teneur en enzymes hydrolytiques (et anti-enzymes) dans la périlymphe au cours de l'évolution de l'ostéopongiose chez l'homme et chez l'animal</i>	
35000	Chocholle	(Paris)	<i>étude de la récupération de la fatigue auditive par la méthode des potentiels évoqués : comparaison avec les résultats de mesures psycho-acoustiques sur les mêmes sujets</i>	
40000	Decroix	(Industrie, Lille)	<i>1) Etude du microphonisme cochléaire : valeur en audiométrie vocale objective. 2) étude de la phase d'un signal acoustique en fonction des différents paramètres : localisation, fréquence et intensité, pour réception unilatérale ou bilatérale auriculaire</i>	
35000	Greiner	(Strasbourg)	<i>Electrocochléographie. Production d'un clic de 1 ms se propageant en ondes planes, mise au point de technique non chirurgicale de recueils des potentiels cochléaires ; étude de l'adaptation auditive et du recrutement auditif ; étude du déclenchement du réflexe arapédien pour des clics de haut niveau ; étude des constantes de temps de l'oreille au moyen de paires de clics</i>	
15000	Guerrier	(Créteil)	<i>Etude électrophysiologique et ultrastructurale des facteurs pouvant léser la cochlée en période pré et post-natale</i>	
30000	Lelord	(Paris)	<i>utilisation des PE auditifs comme méthode objective du dépistage des surdités au cours du premier âge et chez les enfants présentant une déficience mentale ou un autisme</i>	
40000	Leroy	(St Denis)	<i>Etude des relations entre les caractéristiques des entrées (stimulations électriques et acoustiques) et des sorties par des indices électrophysiologiques (PE somesthésiques-réflexes d'Hoffman après intégration par le sujet)</i>	
40000	Morgon	(Lyon?)	<i>Relations entre paramètres physiques du stimulus (acoustique et déotrique) et activité nerveuse</i>	
40000	Niaussat	(Jouy en Josas)	<i>Relations entre les paramètres physiques d'un signal acoustique et l'activité nerveuse de différentes cœurs auditifs de la souris, en fonction de leur maturation et des caractéristiques audiologiques de différentes lignées</i>	
45000	Peronnet	(U.96, Inserm, Grenoble)	<i>Etudes des potentiels évoqués moyens auditifs chez l'homme dans la perspective d'une audiométrie objective entièrement automatisée</i>	
45000	Seneal	(Rennes)	<i>Etude des réactions aux stimulations auditives chez l'enfant au cours de la 3<sup>e</sup> année de vie</i>	
35000	<b>Szabo</b> <b>Erreur</b> <b>! Signet non</b> <b>défini.</b>	(Fessard, CNRS Gif-sur Yvette)	<i>Etude ontogénétique et cytochimique des cellules ciliées sensorielles</i>	
40000	Trenque	(Cognin)	<i>étude de l'activité nerveuse en réponse à des stimuli acoustiques complexes périodiques, recherche des modifications des signaux de réponse dues à des phénomènes de masquage</i>	
55000	Macleod	(Fontenay aux Roses)	<i>Etude électrophysiologique des réponses unitaires de la corde du tympan aux stimuli sucrés chez le rat</i>	

## ANNEXE 5

### CONTRATS DE L'UNITE INSERM 94 ET SON UNITE FILLE : LE CEMI (1966-1980)

D'après les rapports d'activité de ces deux unités [Arch.Inserm.9203/Art. 169 : Rapports d'activité de l'U.94 Gérin, Lyon, 1969–1971, et Art.328 : Rapports d'activité du CEMI et de l'U.280, Pernier, Lyon, 1974 – 1977; 1978-1985]

Date	Organisme	Contrat	Programme de recherche	Collaboration
1966	DGRST	AC « Fonctions et pathologies du cerveau » cr. 66.020	Application des potentiels évoqués en clinique, visuels et auditifs	x
1971	Inserm	F15 750	Etude de séquences temporelles privilégiées d'activité neuronale unitaire au niveau du cortex	x
1971	Inserm	F12 750	Recherche sur certains aspects de l'organisation temporelle et spatiale de l'activité EEG spontanée et évoquée - homme normal et pathologique)	x
1973	DGRST	AC "GBM" 73.7.1695	Système modulaire de recueil et prétraitement en ligne de signaux électrophysiologiques, neurophysiologie en particulier, et contrôle d'expérience, éventuellement sur mini-ordinateur (120'000 MF)	ECEM (Etude et construction électromécaniques et médicales )
1973	Inserm	ATP.24	Réalisation d'un stimulateur visuel "physiologique".	x
1975	Inserm	ATP 17-57-40	système d'acquisition en temps réel de gestion de PE multiparamétrés sur ordinateur français	x
1975	DGRST	AC GBM 76.7.1065	Détection de la présence de potentiels évoqués élémentaires dans le signal électro-encéphalographique	LETI CENG (CEA)
1976	Inserm	Css°6 CRL 76.5.0516	Etude d'un capteur de position du globe oculaire	U.94 (Inserm)
1976	DGRST	AC GBM 76.7.1475	Dépouillement automatique de signaux physiologiques des longues durées : application à l'interprétation des tracés polygraphiques chez l'homme normal et pathologique	x
1976	IRIA	Convention de Recherche n° 75.196	Scribe : dispositif d'assistance aux grands handicapés	x
1976	Inserm	Css°4 CRL 76.5.0516	Etude au moyen de modèle mathématique de la réponse de la surrenale à l'ACHT et de la dynamique de l'ACHT circulante chez le rat	x
1977	Inserm	A.T.P. 17.75.40	Courbes isovales [...] application médecine	Société Européenne de mini-ordinateurs et systèmes (S.E.M.S. France).
1977	ANVAR	convention n°76.2338.00	Optimisation de la ventilation pulmonaire chez un sujet soumis à la ventilation assisté par voie endotrachéale	Massiot Philips centre des insuffisants respiratoires l'hôpital de la croix rousse de Lyon
1977	SEMS	convention n°204-019	(PARSE) : programme d'acquisition et de recherche des signaux électriques	x
1978	Inserm	CRL 78.5.063.5	Système visant à économiser l'oxygène chez les insuffisants respiratoires utilisant de l'oxygène à domicile	x
1979	Inserm	ATP 83.79.117.009	Système d'extraction des potentiels évoqués rapides	x
1979	Inserm	ATP 83.79.115.008	Etude des pauses respiratoires chez le nouveau né)	x
1979	Inserm	CRL 79.5.349	Etude recueil et traitement sur mini-ordinateur de données relatives à la stratégie exploratrice de l'œil	x
1979	DGRST	AC GBM 79.7.0591	Système permettant d'optimiser la ventilation sur u sujet soumis à la ventilation assistée par voie endotrachéale	x
1980	Pôle Rhône Alpes GBM	X	Réalisation d'un système micro-informatisé permettant de dépister et d'étudier les nourrissons à risque de mort subite par l'analyse d'enregistrement cardio-respiratoire de longue durée pendant le sommeil	x

