

# COMAERO

Un demi-siècle  
d'aéronautique  
en France

---

## La formation

Tome 3

La DGA et la formation par la recherche

Le dialogue Etat – Industrie



## LE COMITÉ POUR L'HISTOIRE DE L'AÉRONAUTIQUE

Au cours de la période 1945-1995, l'aéronautique française a vécu une aventure passionnante. Réduite à peu de choses au lendemain de la deuxième guerre mondiale, il lui fallait se reconstruire. C'est ce qu'elle a fait avec brio. Qu'il s'agisse des avions militaires, des avions civils, des hélicoptères, des missiles, des moteurs, des équipements, l'aéronautique française s'est retrouvée, en quelques décennies, à l'égal des meilleures. Elle est ainsi devenue capable de satisfaire, au niveau mondial, la plupart des besoins des utilisateurs civils et militaires.

Cette réussite est due à des facteurs techniques, industriels, financiers et politiques. Elle est due, notamment, à une collaboration très étroite entre les futurs utilisateurs, les services techniques officiels, les organismes de formation et de recherche, les centres d'essais et les industriels, fournisseurs et clients étant mus par un même désir de renaissance et de réussite.

C'est cette histoire que la collection d'ouvrages COMAERO veut retracer. Les rédacteurs de cette collection, membres du comité pour l'histoire de l'aéronautique (COMAERO), ont été ingénieurs d'études ou ingénieurs d'essais, puis directeurs de programme ou chefs de service, au cours de carrières particulièrement fécondes à la DGA et dans l'industrie. Au sein du comité COMAERO, ils ont effectué un travail de mémoire collectif, en faisant largement appel aux principaux acteurs des services étatiques et de l'industrie. Leur travail constitue un témoignage de l'œuvre accomplie en un demi-siècle qui a été profondément marqué par les progrès des techniques aérospatiales, intimement associés à ceux de l'électronique et de l'informatique.

Ces ouvrages COMAERO sont une invitation, pour les historiens, à se pencher sur cette remarquable renaissance de l'aéronautique dans ce pays, qui en fut le berceau au tout début du XX<sup>e</sup> siècle. La confrontation des points de vue des acteurs et des historiens peut dégager des conclusions fort utiles pour leurs successeurs du XXI<sup>e</sup> siècle.

En dix ans, le COMAERO a réuni de nombreux témoignages sur l'histoire de l'aéronautique française et son renouveau exceptionnel de 1945 à la fin du siècle dernier. Plusieurs colloques ont été organisés par le département histoire du CHEAR pour rendre compte de ces travaux et une documentation consistante a été constituée à usage des historiens.

Les ouvrages produits par le COMAERO sont présentés ci après. Ils sont aujourd'hui consultables gratuitement sur les sites :

*[www.eurosae.com](http://www.eurosae.com)*

*[www.3af.fr](http://www.3af.fr)*

*[www.academie-air-espace.com](http://www.academie-air-espace.com)*

## *Les ouvrages du COMAERO*

- Un demi-siècle d'aéronautique en France. Ouvrage introductif, coordination : IGA Emile Blanc. Paris, CHEAr/DHAr, juin 2003. ISBN 2-7170-1002-5
- L'électronique, coordination : IGA Michel Bergounioux, Paris, CHEAr/DHAr, décembre 2003. ISBN 2-7170-1003-3
- Les missiles tactiques, rédaction : ICA René Carpentier. Paris, CHEAr/DHAr, mars 2004. ISBN 2-7170-1005-X
- Les missiles balistiques, coordination : IGA Émile Arnaud et André Motet. Paris, CHEAr/DHAr, mai 2004. ISBN 2-7170-1006-8
- Les équipements aéronautiques, tome 1 et tome 2 : coordination : IGA Jean Carpentier. Paris, CHEAr/DHAr, décembre 2004. ISBN 2-7170-1007-6
- Les moteurs aéronautiques, coordination : IGA Michel Lasserre. Paris, CHEAr/DHAr, mars 2005. ISBN 2-7170-1011-4
- Les avions civils (2 tomes : I - La conduite des programmes civils, II - Les programmes Airbus), coordination : Bernard Latreille et Georges Ville. Paris, CHEAr/DHAr, août 2005, ISBN 2-7170-1013-0
- Les armements aéronautiques, (hors missiles), coordination ICA Jean Tugayé. Paris, CHEAr/DHAr, juin 2006. ISBN 2-7170 - 1012-2
- Les trains d'atterrissage et systèmes associés, coordination : Jacques Veaux, Paris, CHEAr/DHAr, août 2005, ISBN 2-7170-1016-5
- Les avions militaires, tome 1 et tome 2 : ouvrage coordonné par Jacques Bonnet, Paris, CHEAr/DHAr, décembre 2005. ISBN 2-7170-1015-7
- Etudes et recherches, tome 1 et tome 2 : ouvrage coordonné par Jean-Marc Weber, Paris, CHEAr/DHAr, décembre 2008. ISBN 978-2-7170-1019-0 et 1022-0
- AIA, Les ateliers de maintenance industrielle de l'aéronautique, ouvrage coordonné par Michel Hucher, Paris, CHEAr/DHAr, décembre 2008. ISBN 978-2-7170-1024-4
- Les centres d'essais, tome I et tome II, coordination Jean-Pierre Marec. Juin 2013 ISBN 978-2-7257-0019-9
- La formation, tome 1, juin 2013 : « Contexte général - La formation au sein des directions aéronautiques » ; tome 2, juin 2014 : « L'apport de l'industrie aérospatiale » ; tome 3 décembre 2014 : « La DGA et la formation par la recherche - Le dialogue Etat - Industrie ». Coordination Jean Pierre Tasseau et Jacques Darricau. ISBN 978-2-9544675-0-4
- Les hélicoptères (en préparation)

## *Le COMAERO et la formation*

Dans un univers aux évolutions techniques, technologiques et industrielles continues, l'apprentissage et la formation aéronautique permanente ont été des facteurs déterminant du progrès.

C'est ce champ, vaste et multiforme, qu'a choisi d'explorer le COMAERO au travers d'ouvrages sur la formation.

- Un premier tome porte sur le contexte général et le volet institutionnel de la formation.
- Ce second tome porte sur le volet industriel aux travers de l'histoire de la formation permanente dans quatre grandes sociétés du secteur aérospatial.
- Ce troisième tome est consacré à
  - La DGA et la formation par la recherche.
  - Le dialogue Etat - Industrie, illustré par le cas de la formation aux diplômés « bac+2 » à vocation aéronautique.

# Table des matières

## PREMIERE PARTIE LA DGA ET LA FORMATION PAR LA RECHERCHE - Page 7

1.	INTRODUCTION.....	11
1.1.	Objet et présentation du document.....	11
1.2.	Rappel sur l'histoire de la formation des ingénieurs en France.....	13
1.3.	Remarques préliminaires sur la recherche et l'innovation.....	15
1.3.1.	La recherche fondamentale et la découverte scientifique.....	15
1.3.2.	La recherche appliquée.....	16
1.3.3.	L'innovation.....	17
1.3.4.	Le développement exploratoire.....	19
1.3.5.	Caractéristiques de la formation par la recherche.....	19
2.	LA FORMATION PAR LA RECHERCHE AVANT LA CREATION DE LA DMA.....	20
2.1.	Les ingénieurs de l'Air.....	20
2.2.	Les ingénieurs des Poudres.....	21
2.3.	Les ingénieurs des Fabrications d'armement.....	21
2.4.	Les ingénieurs du Génie maritime.....	22
2.5.	Les ingénieurs hydrographes.....	23
2.6.	Les ingénieurs militaires et l'électronique.....	23
3.	LA FORMATION PAR LA RECHERCHE APRES LA CREATION DE LA DMA.....	24
3.1.	Un contexte mondial en pleine évolution.....	24
3.2.	Rapprocher science et défense à la DMA.....	25
3.3.	Renforcer la formation par la recherche; l'option IA Recherche.....	26
3.4.	Les Doctoriales.....	28
3.5.	Prix Jeune Chercheur de la DGA.....	30
3.6.	Forum Innovation.....	30
3.7.	Prix Science et Défense : deux exemples typiques.....	31
3.8.	Prix Ingénieur Général Chanson.....	33
3.9.	La recherche dans les écoles de la DGA.....	34
4.	EXEMPLES DE RECHERCHES ET D'INNOVATIONS EN AERONAUTIQUE.....	35
4.1.	Aérodynamique.....	35
4.2.	Energétique.....	35
4.3.	Matériaux structuraux.....	36
4.4.	Avionique.....	37
4.5.	Optronique.....	38
4.6.	Détection radar et signature électromagnétique.....	39
4.7.	L'ASMP : un exemple d'innovation.....	40
4.8.	Innovations et familles de systèmes.....	42
4.8.1.	La famille Exocet.....	42
4.8.2.	Les missiles stratégiques et les lanceurs spatiaux.....	43
4.9.	Recherche et développement dans le domaine des missiles balistiques en France.....	43
4.9.1.	La première génération de missiles stratégiques (M1) lancés de sous-marins.....	44
4.9.2.	Seconde génération de missiles stratégiques (M4) lancés de sous-marins.....	45
4.9.3.	La rentrée atmosphérique.....	45
4.10.	Semi-conducteurs et microélectronique numérique.....	46
5.	RECHERCHE ET INNOVATION.....	50
5.1.	Un processus multiforme, exemples.....	50
5.2.	Le calcul et l'expérimentation.....	54
5.3.	Biologie et Sciences humaines, les facteurs humains.....	56
6.	CONCLUSION.....	60
7.	ANNEXES.....	62
7.1.	Précurseurs et pionniers français en recherche aéronautique.....	62
7.1.1.	Un grand précurseur : Charles Renard.....	62
7.1.2.	Un grand pionnier en aérodynamique : Gustave Eiffel.....	63

7.1.3. Grands visionnaires .....	65
7.1.4. Grands scientifiques .....	70
7.1.5. Grands ingénieurs.....	78
7.1.6. Grands expérimentateurs en soufflerie .....	90
7.1.7. Grands expérimentateurs en vol .....	91
7.1.8. Grands inventeurs .....	91
7.2. Ingénieurs qui ont innové dans plusieurs domaines différents.....	92
7.3. Trois grands Poudriers scientifiques .....	96
7.4. La DRME et ses successeurs .....	101
7.4.1. La DRME.....	101
7.4.2. La DRET.....	109
7.4.3. La Mission pour la recherche et l'innovation scientifique (MRIS) .....	109
7.5. Organismes français de recherche aéronautique.....	110
7.5.1. L'ONERA.....	110
7.5.2. Recherche aéronautique et Enseignement .....	112
7.5.3. Pôles et réseaux d'Europe occidentale, de recherche, essais, formation en aéronautique .....	116
7.6. Avis et témoignages .....	117
7.6.1. IGA Alain Crémieux. Quelques idées sur la formation par la recherche .....	117
7.6.2. Témoignages d'ingénieurs formés par la recherche.....	118
7.7. La Mission Innovation participative (MIP).....	150
7.7.1. Historique .....	150
7.7.2. La MIP recueille, soutient et valorise les idées d'aujourd'hui et de demain .....	151

## DEUXIEME PARTIE LE DIALOGUE ETAT - INDUSTRIE - Page 155

1. INTRODUCTION ET CONTEXTE .....	159
1.1. L'histoire sortie des archives du GIFAS. ....	159
1.2. L'origine des écoles techniques aéronautiques.....	160
2. LA FORMATION AUX DIPLOMES « BAC+2 » A VOCATION AERONAUTIQUE, DUT VERSUS BTS: DIX ANS D'HISTOIRE (1959-1968): .....	165
2.1.Des écoles techniques aéronautiques aux lycées techniques aéronautiques : place à la formation aux BTS.....	165
2.2. Comment motiver les candidats de valeur à choisir Ville d'Avray? .....	167
2.3. Pour ses formations d'ingénieurs, l'Etat sollicite les meilleurs diplômés des Lycées aéronautiques de Ville d'Avray et de Toulouse .....	171
2.4. Les questions de fond : Qu'est ce qu'un technicien supérieur ? Ses fonctions ? Sa formation ? .....	176
2.5. Le débat sur les Instituts universitaires de technologie s'installe. Les réactions.....	187
2.6 Maintenir la spécificité aéronautique des établissements de Ville d'Avray et de Toulouse : un combat difficile. ....	198
2.6. La transformation des LTEA en départements d'IUT est engagée.....	213
2.7. IUT et LTEA ultimes négociations, place à la formation aux DUT.....	219
3. EPILOGUE .....	222
4. ANNEXES .....	224

PREMIERE PARTIE

LA DGA ET LA FORMATION PAR LA RECHERCHE

*Par l'IGA Jean Carpentier<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> L'IGA (2ème section) Jean Carpentier, est membre du COMAERO, de l'Académie de l'Air et de l'Espace, et de l'AAAF. Il fut Directeur de la DRET (1977-1984), puis Président de l'ONERA (1984-1991).



## REMERCIEMENTS

L'auteur de ce document qui traite de la Formation par la recherche remercie l'Ingénieur Général Emile Blanc, président du COMAERO et les autres membres de ce comité pour l'histoire de l'Aéronautique, pour leur participation à sa rédaction. Il tient également à remercier les ingénieurs formés par la recherche, grâce à la Délégation ministérielle pour l'Armement (DMA), qui ont apporté leurs témoignages. Pour les Ingénieurs de l'Armement qui ont choisi l'Option recherche, elle fut « une formidable opportunité » qui orienta toute leur carrière, en leur permettant d'effectuer des travaux scientifiques et techniques de grande valeur et aussi de contribuer efficacement aux orientations de la Défense, ainsi qu'à l'enseignement dans les écoles de la DMA / DGA.

Ces témoignages montrent la complémentarité de la formation par la recherche avec la formation initiale et la formation continue. Celles-ci restent indispensables, car il faut pourvoir aux exigences du fonctionnement permanent des services officiels et des industriels. Elles sont vitales pour la nation dont elles déterminent le niveau au plan mondial. Mais il faut aussi leur associer la formation par la recherche. Celle-ci, qui concerne des volontaires attirés tout particulièrement par les perspectives offertes par les progrès scientifiques et techniques, permet une fructueuse action à long terme.

Comme le rappelle Jean-Pierre Tasseau, dans sa présentation du tome 1 de l'ouvrage du COMAERO sur la formation, « La formation dans la vie professionnelle est prise dans son sens le plus large : formation initiale, formation continue, diplômante ou non diplômante, apprentissage, alternance, valorisation des acquis par expérience, formation pendant ou hors temps de travail, formation sur le tas (les études par exemple), retour d'expérience, stages d'insertion, parcours formants, cercles de qualité ou équivalents, interventions en formateurs internes ou externes, stages étudiants...En France le doctorat est le plus élevé des grades universitaires, il sanctionne une formation par la recherche, à la recherche et à l'innovation et une expérience professionnelle de recherche ».

Il faut développer les liens entre ces différents types de formation. En particulier, les chercheurs doivent participer largement à l'enseignement dans les Grandes Ecoles et à l'Université. Ils doivent être très ouverts aux besoins et aux difficultés des services officiels et des industriels. Ils doivent attirer leur attention sur les perspectives que peut ouvrir la recherche dans tous les domaines scientifiques et techniques en rapide évolution qui concernent la Défense. C'est le cas, tout particulièrement, en Aéronautique qui fait appel à un très large éventail de disciplines qui progressent grâce aux recherches et aux innovations. Le présent volume présente des exemples caractéristiques de ces progrès et souligne la contribution des ingénieurs de l'Armement formés par la recherche dans des milieux scientifiques français de renommée internationale.

La formation par la recherche est un investissement essentiel pour la Défense, ainsi que pour le potentiel scientifique, technique et industriel de l'ensemble de la Nation.



# 1. INTRODUCTION

## 1.1. *Objet et présentation du document*

L'objet de ce document est de situer la formation par la recherche par rapport aux autres formations des ingénieurs au sein de la DGA, d'en montrer ses particularités et son importance, tant pour les intéressés que pour la DGA et pour les organismes utilisateurs. Au préalable, il faut souligner que la formation d'un ingénieur, quel que soit son domaine d'activité, doit non seulement être effectuée pour préparer sa carrière, mais doit aussi intervenir à tous les niveaux de responsabilité auxquels il accède ensuite. Ceci est tout à fait impératif pour les activités dans des domaines en rapide évolution, comme ceux de la Défense et de l'Aéronautique qui concernent les Ingénieurs de l'Armement.

Au départ, la formation des ingénieurs de l'Armement s'effectue dans les écoles d'application relevant du ministère de la Défense (ENSTA et ENSAE). Cette formation initiale est suivie de la formation « sur le tas », dans les centres d'études ou d'essais de la DGA. Celle-ci est faite au quotidien, dans les postes occupés, elle est la base de l'expérience et de la compétence acquises qui résultent des efforts accomplis, avec l'analyse des succès et des échecs rencontrés. Elle forge la personnalité de futurs cadres de la DGA, ainsi que de ceux qui partent exercer leur talent dans les sociétés industrielles qui travaillent pour la Défense. Cette compétence a beaucoup d'aspects techniques, mais elle intervient également sur la capacité à conduire un projet pluridisciplinaire, en encadrant des équipes d'ingénieurs, de techniciens et d'ouvriers. La complexité des programmes d'armement s'est très accrue du fait de l'évolution rapide des technologies. C'est pourquoi il a fallu introduire une formation continue, par des stages de « recyclage », tels que ceux organisés par EUROSAR. Ces stages sont relatifs aux nouvelles technologies, mais aussi aux méthodes modernes de management des grands projets, au plan national ou en coopération internationale.

Souvent pour réussir, il faut innover, de façon à être en position de force face à la concurrence et, dans le cas des programmes d'armement, face aux matériels de l'ennemi. Ceux-ci sont en évolution constante. L'idéal, en cas de conflit, est de surprendre l'adversaire. Cela peut se faire par la mise en œuvre originale de moyens classiques, mais il est plus sûr d'exploiter des innovations. L'IGA Jacques Bongrand distingue les innovations incrémentales qui produisent des améliorations progressives et les innovations de rupture qui créent des discontinuités. Dès sa création en 1961, la DMA s'est bien armée pour prendre en compte, dans ses grands programmes, les innovations incrémentales.

Les « Etudes amont » sont orientées par la planification et la programmation des besoins militaires identifiés. Elles ont pour effet de progresser dans l'échelle des « Technology Readiness Levels », en vue d'introduire, dans les nouveaux programmes, les progrès des techniques déjà connues, avec de nouvelles performances. L'effet de surprise n'est acquis que si le gain de performances est obtenu sans contrepartie néfaste du point de vue opérationnel. La formation continue et celle acquise sur le tas facilitent le progrès par des innovations incrémentales. Par contre, les innovations de rupture sont, par nature, impossibles à prévoir ou à programmer. Elles sont le fruit d'équipes souvent pluridisciplinaires ou d'individus ayant l'esprit très ouvert aux techniques nouvelles dans des domaines parfois très différents.

A titre d'exemples, citons le laser, découvert en 1960, et qui fut pendant quelques années considéré comme un instrument de laboratoire. Pourtant le télémètre laser détrôna bientôt le télémètre optique à coïncidence et le dispositif de désignation d'objectif, ainsi que le guidage par laser s'imposèrent sur le terrain. Pour beaucoup de matériels, l'électronique et l'informatique remplacèrent la mécanique, bien que la mécanique de très haute précision soit restée indispensable. Vint ensuite la révolution numérique, qui, avec la technologie de réalisation des circuits numériques en silicium, à très haut degré d'intégration, s'imposa pour le traitement du signal, les techniques d'observation, l'imagerie infrarouge et l'autoguidage. La révolution numérique facilita la conception des systèmes et l'insertion des robots et des drones. Dans tous ces cas, nombreuses furent les innovations de rupture auxquelles prépara la formation par la recherche.

S'il est normal de souligner l'importance de la formation par la recherche pour les ingénieurs de l'Armement, il ne faudrait pas oublier que la recherche et l'innovation ne leur sont pas réservées. En particulier, les techniciens et les ouvriers très qualifiés travaillant dans les établissements de la DGA ou dans les entreprises œuvrant pour la Défense, ainsi que les militaires et les civils affectés dans les Armées peuvent être des innovateurs très féconds. Il revient à la MIP (Mission pour l'innovation participative) d'encourager chacun des personnels de la Défense à lui soumettre des idées nouvelles pour améliorer les matériels et faciliter leur emploi opérationnel.

Mieux faire connaître les modalités de toutes ces actions, qu'elles soient le fruit de recherches à très haut niveau en laboratoires, ou, plus simplement le résultat de judicieuses réflexions en atelier, tel est l'objectif de ce fascicule rédigé au sein du COMAERO (Comité pour l'histoire de l'Aéronautique). Nous verrons ainsi que la formation par la recherche permet aux talents de chercheurs et d'innovateurs de s'épanouir dans des laboratoires ou des centres d'essais, de niveau international, mais leur permet aussi de devenir ensuite des cadres dirigeants de la DGA ou de l'industrie. A cet égard, il est bon de rappeler les conclusions d'Alain Guillou, qui était alors directeur des ressources humaines à la DGA, dans un article publié dans le magazine de la CAIA de juin 2009 :

*« Comment repérer les futurs cadres de la DGA ? Il faut déceler les jeunes talents, les accompagner dans leur formation et dans leur parcours professionnel. Il faut évaluer leurs aptitudes d'innovation, de capacité de décision, de capacité de conceptualisation, de qualité d'animation et de motivation d'équipe, de capacité de négociation, de souci du client et de sens du résultat. Il convient que ces capacités soient démontrées dans les postes occupés successivement, par des performances dans les cinq grands domaines de métiers : technique, conduite de projet, management humain, stratégie / international, administration / finance. Plus large est le spectre d'expériences réussies, plus haut sera le niveau de responsabilité auquel pourra accéder le futur cadre de la DGA. Le « terrain » est une expérience clef dans une carrière. Les centres techniques de la DGA sont essentiels pour donner aux meilleurs jeunes ingénieurs l'expérience qui leur permettra ensuite d'assumer d'importantes responsabilités, en fin de carrière ».*

Pour atteindre cet objectif, la formation par la recherche est un moyen qui s'ajoute aux deux autres, la formation initiale et la formation continue. De nombreux exemples donnés ci-dessous indiqueront des carrières pleinement réussies avec des aboutissements au sein des cadres dirigeants de la DGA, mais aussi à des postes de responsabilité dans des organismes de recherche de niveau international. Cette diversité des carrières est un atout majeur pour le Corps des Ingénieurs de l'Armement, ainsi que pour la DGA elle-même.

## *1.2. Rappel sur l'histoire de la formation des ingénieurs en France*

L'origine du terme « ingénieur » et de la fonction correspondante provient du monde militaire du Moyen Age. Etaient appelés « ingénieurs » les personnes capables de construire des machines de guerre, des « engins » pour attaquer ou pour défendre les châteaux - forts et pour creuser des canaux destinés à alimenter en eau leurs douves. Ces ingénieurs étaient également capables d'assécher les marais et de construire des ouvrages d'art, des ponts et des routes, ainsi que des systèmes hydrauliques produisant de l'énergie.

La formation initiale de ces ingénieurs était réalisée dans les écoles instituées à proximité des monastères ou des cathédrales. Ces écoles donnaient à leurs élèves un bagage intellectuel leur permettant de calculer, de dessiner et de lire des ouvrages antiques en latin et parfois même en grec. Forts de cette base, les futurs ingénieurs se rendaient ensuite dans les grands chantiers où ils pouvaient observer le travail des multiples artisans qui s'y activaient. Ils s'imprégnaient ainsi des techniques variées qui étaient sans cesse perfectionnées grâce aux échanges entre tous les participants à la réalisation de grands ouvrages architecturaux. Ils acquéraient ainsi une compétence globale, à caractère transversal par rapport aux savoirs expérimentaux des artisans. Ils étaient devenus des ingénieurs - architectes capables de proposer aux princes et aux seigneurs des réalisations d'envergure

Ce fut ensuite, en France, l'époque des « Ingénieurs du Roy », illustrée par Sébastien le Prestre de Vauban, célèbre pour les fortifications qu'il édifia sur les frontières et sur les grands ports français. Vauban s'appuya sur les éléments du Corps du Génie qui s'établit définitivement dans la deuxième moitié du XVIIème siècle. Les officiers du Génie, puis ceux de l'Artillerie, devinrent des ingénieurs capables de concevoir et de faire réaliser, dans les arsenaux royaux, des matériels militaires évolués. Il est admis que la première véritable école d'ingénieurs fut celle de Prague fondée en 1707, avec des missions civiles aussi bien que des missions militaires. En France, le Corps des Ponts et Chaussées, créé en 1716, constitua, en 1744, un bureau des dessinateurs, qui se transforma bientôt en école d'ingénieurs. L'établissement français qui préfigure le mieux les écoles modernes d'ingénieurs est l'Ecole du Génie de Mézières. Créée en 1748, elle exigeait, pour y être admis, un niveau de connaissances élevé en mathématiques et en dessin. Ses professeurs étaient réputés. Parmi eux, Gaspard Monge mit au point la géométrie descriptive qui devint une des connaissances de base de l'ingénieur. Le cursus des études de cette école comprenait, à la fois des enseignements scientifiques fondamentaux et une formation à des techniques variées.

A Paris, furent fondées l'Ecole des ingénieurs constructeurs de vaisseaux en 1765 et l'Ecole des Mines en 1783. Ces écoles d'ingénieurs constituaient, avec celle des Ponts et Chaussées, un ensemble unique en Europe.

L'enseignement qu'elles dispensaient se distinguait nettement de la formation par l'apprentissage acquise, jour après jour, par les multiples mécaniciens, constructeurs de moulins à eau ou à vent, des fabricants de métiers à tisser et des créateurs des premières machines - outils. Leurs inventions étaient présentées à l'Académie des Sciences pour les faire expertiser.

Mais la Révolution française eut des conséquences dramatiques pour les écoles d'ingénieurs qui étaient privées de leurs élèves et de la plupart de leurs professeurs. Heureusement, un groupe de savants, sous la conduite de Monge qui s'inspirait de l'expérience acquise à l'Ecole de Mézières, proposa de créer une institution unique pour former des officiers et des experts techniques, en vue de revitaliser l'économie de la nation. Ainsi fut mise en place, en 1794, l'Ecole centrale des travaux publics, dans le but de se substituer aux écoles d'ingénieurs existantes, avec le recrutement

d'élèves sélectionnés dans tout le pays. Mais le programme d'enseignement était trop ambitieux et, un an après, il fut décidé de donner une formation scientifique générale aux élèves qui, ensuite, pourraient se spécialiser dans des disciplines techniques adaptées aux besoins civils ou militaires.

En 1795, l'Ecole centrale des travaux publics prit le nom d'Ecole Polytechnique où furent rassemblés les savants les plus prestigieux et les élèves les plus brillants de la nation, sélectionnés pour leur mérite. Parallèlement à la mise en place de cette formation scientifique, le Comité de Salut Public fit décider, en 1794, de créer le Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM) où furent rassemblées les innovations les plus récentes que des démonstrateurs présentaient, en fonctionnement, aux industriels, artisans et ouvriers qui pouvaient ainsi bénéficier gratuitement d'une formation par l'apprentissage. Celle-ci fut prolongée et étendue par l'ouverture, sous Napoléon 1er, de deux écoles techniques d'arts et métiers, en province. Ainsi de nombreux techniciens se formèrent « sur le tas », comme ce fut le cas en Angleterre qui fut à la pointe de la révolution industrielle du XIX<sup>ème</sup> siècle.

Le grand mouvement d'industrialisation qui concerna toute l'Europe généra un nouveau type de professionnels : les ingénieurs industriels. Ceci conduisit à créer, en 1829, l'Ecole centrale des arts et manufactures de Paris. Celle-ci avait pour mission de former des ingénieurs entièrement formés aux techniques modernes de l'industrie. A leur sortie, les diplômés de l'Ecole centrale étaient recrutés dans les grandes sociétés industrielles ou dans les compagnies d'exploitation qui naissaient alors (chemins de fer, chimie, sidérurgie, construction mécanique). Ces organismes se développaient avec les projets mis au point par leurs « bureaux d'études » où les ingénieurs de « Centrale » étaient très actifs. Au cours de la deuxième moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle, la France devint une grande puissance industrielle, dont les symboles étaient les hauts fourneaux et le marteau-pilon de la société Schneider au Creusot ou encore les ponts et la Tour du centralien Gustave Eiffel.

La deuxième révolution industrielle, qui se produisit alors avec l'utilisation du pétrole et de l'électricité et les progrès de la métallurgie et de la chimie organique, créa un fort accroissement de la demande d'ingénieurs.

De nouveaux établissements d'enseignement scientifique et technique furent fondés par des sociétés, des congrégations religieuses ou par des municipalités, telles que la ville de Paris qui créa l'Ecole de Physique et de Chimie Industrielle (EPCI) qui allait s'illustrer avec son directeur Paul Langevin et les Prix Nobel Pierre et Marie Curie, et, plus récemment Pierre-Gilles de Gennes et Georges Charpak.

En 1896, une loi créa 16 universités réparties dans toute la France. Celles-ci s'entourèrent d'instituts techniques pour former des ingénieurs et des techniciens capables de traiter les problèmes de l'industrie régionale.

Pendant la première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, l'ingénieur était surtout un homme de la production et de la maintenance. Dans les années 1960, l'ouverture des frontières et la constitution de l'Europe occidentale et la compétition mondiale donnèrent un grand essor aux activités de recherche et développement (R et D).

La R et D est devenue un des moteurs de l'entreprise dans une période où la croissance économique stagne, car les chocs pétroliers ont marqué la fin d'un essor industriel continu. Dans les bureaux d'études, les ingénieurs se retrouvent sur la ligne de front où la bataille de la concurrence fait rage. Dans cette bataille il faut disposer de nouvelles armes en créant des produits nouveaux ou en améliorant nettement les produits existants.

Au cours de la décennie des années 1970, les écoles d'ingénieurs concluent des accords avec les universités pour développer la formation doctorale. Les grandes entreprises industrielles se dotent de centres de recherche en vue de réaliser des produits innovants dans des domaines en rapide évolution, tels que l'électronique, les télécommunications ou la chimie organique.

Le CNRS étend son domaine aux « sciences de l'ingénieur » et le CEA développe un ensemble de disciplines ayant des rapports étroits avec l'énergie atomique. La décennie 1980-1990 est marquée par la généralisation de l'informatique dans les entreprises. La conception assistée par ordinateur (CAO) se prolonge jusqu'à la fabrication (CFAO). Le système CATIA de Dassault est adopté dans de nombreux secteurs de l'industrie.

Le début du XXIème siècle est caractérisé par la diffusion accélérée de l'information grâce aux progrès conjoints de la microinformatique et des techniques spatiales. La révolution numérique, généralisée par Internet et par les réseaux électroniques d'information, met en évidence les possibilités offertes par le rapprochement de disciplines très variées. Les sciences du vivant, d'une part, et celles de l'environnement, d'autre part, deviennent incontournables.

La complexité règne partout, elle oblige à se tourner vers la conception par systèmes globaux. L'approche systémique exige une étroite coopération entre des spécialistes de disciplines variées, très au fait des progrès les plus récents et des perspectives offertes par les recherches en cours. Pour opérer les synergies fructueuses et innover dans les voies toutes nouvelles qui se dégagent, la formation à la recherche et par la recherche est devenue un complément impératif aux formations plus traditionnelles.

Ainsi, au cours des âges, le métier d'ingénieur s'est développé avec des types de formation qui consistèrent d'abord par l'apprentissage sur le tas, puis par un enseignement initial en écoles et, enfin, par l'immersion dans la recherche. Il est indispensable de conserver ces trois types de formation, en les complétant par la formation continue qui a pour but de maintenir à niveau les intéressés, tout au long de leur carrière.

### *1.3. Remarques préliminaires sur la recherche et l'innovation*

#### **1.3.1. La recherche fondamentale et la découverte scientifique**

La découverte scientifique se produit lors d'un travail de recherche, le plus souvent à caractère fondamental, entrepris pour approfondir les connaissances dans un secteur très étroit d'une discipline scientifique, par un chercheur ou une équipe de chercheurs, dont la notoriété internationale dépend des résultats qu'ils annoncent dans des colloques spécialisés et qu'ils publient dans des revues de très haut niveau.

La découverte scientifique a lieu dans le cadre d'une recherche de base, ou recherche fondamentale, effectuée au sein d'organismes tels que le CNRS en France, ou dans les Universités.

Cette recherche se situe en amont du processus de progrès des connaissances humaines, entièrement hors du champ des applications. Elle ne donne pas naissance à des innovations, tout au moins dans un premier temps. De la découverte scientifique, il résulte généralement le dégagement d'un nouveau champ d'exploration, d'abord pour les chercheurs, ensuite pour les ingénieurs qui trouvent ainsi des idées neuves en vue d'applications répondant soit à des besoins existants, soit à la création de besoins nouveaux. La voie est ainsi ouverte à des innovations.

### 1.3.2. La recherche appliquée

La recherche appliquée exploite les connaissances scientifiques obtenues par la recherche fondamentale, les met à l'épreuve du calcul ou de l'expérimentation, en vue de trouver des applications pratiques. Elle est le plus souvent effectuée par des laboratoires, étatiques ou industriels, avec une finalité liée aux besoins des organismes dont ils font partie. Elle se concrétise par des brevets, suivis de publications destinées à susciter l'intérêt des industriels sans compromettre la propriété de l'organisme concerné. En général, le résultat de la recherche appliquée n'est pas immédiatement prêt à déboucher sur le marché, car il faut, au préalable, passer par le stade du développement, puis par celui de l'industrialisation. Cependant, des allers-retours entre recherche fondamentale et recherche appliquée sont très fréquents, et il en est de même entre recherche et développement.

#### *Relations entre la recherche fondamentale et la recherche appliquée*

Pierre Aigrain, dans son livre « Simples propos d'un homme de science », écrit :

*« Il est aberrant de représenter la gamme des activités de recherche sur une échelle linéaire, comme si une recherche était d'autant plus fondamentale qu'elle était moins appliquée. Il n'y a pas forcément contradiction entre ces deux types de recherche. Il peut arriver qu'une recherche immédiatement utile conduise à la découverte de lois générales. C'est pourquoi il semble préférable de représenter la recherche fondamentale et la recherche appliquée dans un diagramme à deux axes, dont l'un, vertical, est le degré de généralité et l'autre, horizontal, est celui d'utilité à court terme. Les bonnes recherches sont celles qui ont des points représentatifs loin de l'origine, alors que les mauvaises sont très près de l'origine.*

*Parfois, pour résoudre une question pratique, le scientifique est amené à explorer un domaine inexploité, les découvertes peuvent alors être immédiatement opérationnelles. Ainsi, le mathématicien Benoît Mandelbrot introduisit la notion d'objets fractals, où le nombre de dimensions de l'espace n'est pas un entier. Il conçut cette notion à partir de réflexions sur des problèmes pratiques, tels que la longueur des côtes maritimes en France. Cette longueur n'est pas définie avec précision, car elle dépend de l'échelle de détail à laquelle on descend. En étudiant les objets à deux dimensions ayant une forme très divisée, Mandelbrot s'aperçut que la règle de croissance du périmètre en fonction de la racine carrée de la surface n'était plus vraie. On peut définir la dimension de l'objet comme étant l'exposant de cette relation. Cette notion de fractales est utile dans de nombreux domaines : pour les composants semi-conducteurs, on cherche à obtenir un périmètre d'électrodes aussi élevé que possible, par rapport à la surface, on a donc intérêt à s'approcher de la forme d'un objet fractal dont la dimension est inférieure à 2 »*

En outre, la recherche fondamentale a un caractère exploratoire. Elle relève d'un processus « *bottom-up* », issu du laboratoire ou du centre de recherche. Ce processus ne peut être inscrit dans une programmation issue de la hiérarchie, tel que celui mis en œuvre par la DRME (voir Annexe 7.4). Une telle programmation convient mieux à la recherche appliquée qui naît au cours d'un processus « *top-down* ».

Mais, comme le souligne Pierre Aigrain, la part de hasard dans une découverte scientifique est souvent grande :

- *Archimède, dans sa baignoire, découvrit la poussée hydrostatique et l'appliqua à la mesure de la densité des pièces d'or, pour déceler les pièces fausses ;*
- *Galvani découvrit la pile électrique en faisant sécher des cuisses de grenouille attachées par des fils de cuivre sur un balcon en fer. Le couple fer - cuivre fut à*

*l'origine de la pile électrique de Volta et de l'étude de l'effet du courant électrique sur les contractions musculaires;*

- *Alexander Fleming découvrit la pénicilline, en remarquant, que, dans une plaque de Pétri contaminée par un champignon microscopique, le *penicillium notatum*, que les bactéries ne croissaient pas à côté du champignon.*

Une découverte fortuite peut ainsi être à l'origine d'une technologie inédite ou même d'une nouvelle branche du savoir. Cette naissance n'est pas du ressort de la programmation, elle relève davantage d'une ambiance favorable à l'innovation.

### 1.3.3. L'innovation

Dans le domaine industriel, l'innovation est l'introduction d'un produit, d'un équipement ou d'un procédé nouveau. Lancer une nouveauté permet d'échapper à la concurrence et de conquérir un monopole, au moins pendant un certain temps. Comme l'a montré Joseph Schumpeter dans son livre « Capitalisme, socialisme et démocratie », publié en 1942, les innovations apparaissent par « grappes ». Lorsqu'une innovation importante se fait jour, elle entraîne toute une série d'innovations connexes. Il en résulte une phase d'expansion qui peut se stabiliser, une fois l'innovation diffusée, ou décliner en raison de l'apparition d'autres innovations conduisant à un meilleur rapport efficacité / coût. Les innovations sont souvent des discontinuités, un peu comme les variations génétiques des êtres vivants. Les résultats acquis dans des disciplines différentes, parfois apparemment sans rapport entre elles, peuvent produire une fécondation analogue à celle qui a conduit à la mutation des espèces végétales ou animales. Les innovations majeures conduisent à des mutations importantes au plan sociétal.

#### *Les différents genres d'innovations*

On peut distinguer quatre grands genres d'innovations :

- *l'innovation technique* qui résulte, soit d'une invention, soit d'une amélioration technologique ;
- *l'innovation économique* ou innovation de marché, qui correspond à une nouvelle application d'un produit ou d'un procédé industriel ;
- *l'innovation de concept*, qui consiste en une combinaison nouvelle de produits ou de moyens existants, pour satisfaire un besoin non encore exprimé ;
- *l'innovation en organisations*. Se situant à de hauts niveaux décisionnels, elle consiste à créer des organismes nouveaux. Ce genre d'innovations est souvent très fécond, car il peut préparer l'avenir à moyen ou long terme : c'est le cas pour la formation des ingénieurs, avec l'exemple - type de la création, par le Colonel Roche, en 1909, de « l'Ecole supérieure d'aéronautique et de construction mécanique ». Innover en organisation peut aussi faciliter les synergies entre des disciplines distinctes : ceci se produit lorsqu'est créé un organisme de recherche pluridisciplinaire tel que le CNRS ou l'ONERA.

Un autre exemple type d'innovation en organisme est celui de la création de « laboratoire virtuel », formé par l'association, grâce à la télématique, de plusieurs laboratoires réels sur un thème déterminé. Tel est le cas du *Virtual Radar Laboratory* créé par Thalès en 1998. C'est aussi le cas pour les maquettes virtuelles d'avions conçues et développées par Dassault, en coopération étroite avec ses sous-traitants. L'emploi de logiciels communs, tels que CATIA, favorise grandement ce type d'organisme.

L'innovation technique et l'innovation de concept peuvent jaillir à des instants très variables selon les domaines et suivant les époques. Les inventions innovantes ont,

dans le passé, demandé du temps pour se retrouver dans le domaine public : il a fallu 100 ans pour la photographie, 50 ans pour le téléphone, 35 ans pour la triode, 20 ans pour l'automobile. Les délais ont été moins longs lorsqu'il s'est agi de matériels à caractère stratégique. Il n'a fallu que 10 ans pour passer de la découverte du neutron à la première pile atomique, que 8 ans pour passer des ondes ultracourtes au radar, que 7 ans pour passer de l'avion des frères Wright aux premiers avions militaires et que 5 ans pour passer de la réaction en chaîne à la première bombe atomique. Dans ces cas de matériels stratégiques, ce furent les besoins des Etats qui accélèrent le passage aux applications. Ce passage peut être plus ou moins long selon les cas et les circonstances. C'est ainsi que, bien que le pompage optique ait été découvert par Alfred Kastler et Jean Brossel à l'Ecole Normale Supérieure en 1954 et que le laser à rubis ait été inventé par le physicien américain Theodore Maiman en 1960, les applications « grand public » des lasers ne sont intervenues qu'à partir de 1965.

L'innovation technique et l'innovation de concept peuvent jaillir à des instants très variables selon les domaines et suivant les époques. Les inventions innovantes ont, dans le passé, demandé du temps pour se retrouver dans le domaine public : il a fallu 100 ans pour la photographie, 50 ans pour le téléphone, 35 ans pour la triode, 20 ans pour l'automobile. Les délais ont été moins longs lorsqu'il s'est agi de matériels à caractère stratégique. Il n'a fallu que 10 ans pour passer de la découverte du neutron à la première pile atomique, que 8 ans pour passer des ondes ultracourtes au radar, que 7 ans pour passer de l'avion des frères Wright aux premiers avions militaires et que 5 ans pour passer de la réaction en chaîne à la première bombe atomique. Dans ces cas de matériels stratégiques, ce furent les besoins des Etats qui accélèrent le passage aux applications. Ce passage peut être plus ou moins long selon les cas et les circonstances. C'est ainsi que, bien que le pompage optique ait été découvert par Alfred Kastler et Jean Brossel à l'Ecole Normale Supérieure en 1954 et que le laser à rubis ait été inventé par le physicien américain Theodore Maiman en 1960, les applications « grand public » des lasers ne sont intervenues qu'à partir de 1965.

Comme le rappelle Jean-Jacques Salomon, dans l'ouvrage « La France de la technologie », une barrière psychologique a trop longtemps existé, en France, entre la recherche fondamentale et la recherche appliquée, la science pure et l'industrie, entre les « clercs » et les fabricants. La révolution industrielle au XIXème siècle a pris son essor grâce à la logique de l'apprentissage, pour laquelle le Conservatoire des Arts et Métiers a joué un grand rôle en France. La logique de la rupture est intervenue ensuite grâce aux grandes innovations telles que celles de l'automobile, de l'aéronautique, des télécommunications, de l'informatique, ainsi que celles du biomédical et du génie civil.

L'Etat français a lancé les grands programmes pour la Défense et pour les grands réseaux de transport ferroviaire, routier ou aérien, domaines où il est à la fois maître d'œuvre, entrepreneur direct ou indirect, par les grandes sociétés industrielles, et garant du marché. Mais la « stratégie de l'arsenal » fonctionne beaucoup moins bien dans les nouvelles technologies, composants électroniques, microinformatique, biotechnologies, qui visent un marché global à dominante civile pour lequel les entreprises sont plus à même de prévoir la naissance et l'évolution de la demande. L'industrie française a dû développer un style nouveau au cours de la dernière décennie du XXème siècle pour tirer rapidement parti des découvertes scientifiques et des nouvelles technologies. Une industrie d'un type nouveau s'est ainsi constituée en faisant une large part aux ressources de l'immatériel et aux méthodes modernes de conception et de fabrication assistées par ordinateur. En particulier, la DMA / DGA a fortement contribué à cette mutation industrielle en soutenant, dès sa création en 1961, un effort continu de recherche-développement et en instaurant une politique de

formation à la recherche et par la recherche en vue d'objectifs à long terme. Parmi les procédures instaurées par la DMA / DGA, il faut citer celle du développement exploratoire.

#### 1.3.4. Le développement exploratoire

Il s'agit de préparer le passage au stade industriel qui commence par le développement d'un produit parfaitement défini. Ce n'est pas encore le cas au stade du développement exploratoire. Car il faut être sûr que le produit est réalisable, qu'il tiendra ses promesses en termes de performances, et qu'il soutiendra aussi la comparaison avec la concurrence, du point de vue des coûts, de la sécurité et du respect de l'environnement. L'évaluation de ces promesses peut se faire d'une façon exhaustive par la simulation numérique, en exploitant pleinement les possibilités de systèmes de conception globale. On peut ainsi vérifier que le produit pourra, non seulement être fabriqué dans les délais par des personnels bien formés, mais aussi être utilisé et maintenu en fonctionnement dans des conditions optimales. C'est une sorte d'assurance tous risques, depuis la naissance jusqu'à la fin de vie du matériel. On n'est pas loin du « Développement durable ». C'est ainsi que CATIA a constitué, sous l'impulsion de Dassault Systèmes, une réelle innovation. D'abord appliqué à l'Aéronautique, il a maintenant trouvé des applications dans toute l'industrie.

Citons aussi le développement exploratoire DEXTRE qui, en utilisant les résultats des recherches sur l'aérodynamique interne, la combustion et les matériaux pour compresseur et turbine de turboréacteur, a permis de mettre au point le moteur SNECMA M 88 qui équipe le Rafale en contribuant beaucoup à ses remarquables performances. Dans tous les domaines où les progrès viennent de disciplines diverses, le développement exploratoire permet de les intégrer de façon optimale et d'éviter ensuite, au stade du développement et de la réalisation du prototype, des mises au point longues et coûteuses.

#### 1.3.5. Caractéristiques de la formation par la recherche

La formation par la recherche permet à un jeune sortant de l'enseignement supérieur de s'insérer dans une équipe de chercheurs pour y approfondir ses connaissances scientifiques dans un domaine en rapide évolution. Pendant deux ou trois années, il peut, progressivement, apporter sa contribution personnelle à la recherche effectuée par le laboratoire hôte et aboutir à une thèse de doctorat d'Etat. A ce stade, plusieurs voies s'offrent à lui :

- poursuivre son activité de chercheur dans le même laboratoire et y accéder à des postes de responsabilité pour diriger des recherches et former d'autres jeunes à la recherche, tout en continuant ses propres travaux scientifiques ;
- étendre son domaine de recherche en intégrant un autre laboratoire, en France ou à l'étranger, de façon à favoriser les contacts entre ces deux laboratoires et créer des synergies entre eux ;
- aller dans l'industrie pour y transférer les résultats de ses propres recherches ou celles de son laboratoire d'origine pour développer des produits incorporant ces résultats. Ceci peut conduire à passer de la recherche à l'innovation productrice ;
- être affecté dans un service technique d'une Direction de la DGA ou au sein d'un organisme industriel pour y lancer un programme d'étude ou de réalisation d'un nouveau matériel ;
- participer à l'enseignement dans une école d'ingénieurs, pour y assurer la formation des élèves dans des domaines scientifiques ou techniques nouveaux.

La formation par la recherche, lorsqu'elle est effectuée au sein d'un laboratoire de renom, peut aussi permettre de faciliter les contacts entre les acteurs des domaines militaires et des domaines civils, de mieux apprécier les progrès dans des disciplines différentes et de déceler les perspectives dans le monde toujours incertain des technologies. Nous verrons des exemples d'Ingénieurs de l'Armement formés par la recherche qui ont suivi ces différentes voies, avec un succès incontestable.

## 2. LA FORMATION PAR LA RECHERCHE AVANT LA CREATION DE LA DMA

La France de 1945 n'avait pas pu bénéficier des grands progrès techniques réalisés pendant la seconde guerre mondiale aux Etats-Unis, au Royaume-Uni, en URSS, en Allemagne et au Japon. Il en était résulté un retard important, notamment pour les armements et pour l'aéronautique militaire et civile. Les responsables des Directions Techniques du ministère de la Défense, bien qu'accaparés par les nécessités les plus urgentes, telles que la reconstitution des services, des arsenaux, des centres d'essais et le soutien des industriels, prirent conscience du fait qu'un vigoureux effort s'imposait pour la recherche. Il fallait constituer un ensemble de chercheurs au courant des disciplines nouvelles et aptes à les développer sur le territoire national.

### 2.1. Les ingénieurs de l'Air

En aéronautique, la conscience du retard à rattraper était particulièrement bien perçue à la Direction Technique de l'Aéronautique (DTIA). L'invention des turboréacteurs par les Allemands et par les Britanniques avait été une innovation majeure que Joseph Schumpeter aurait qualifiée d'innovation destructrice, puisqu'elle condamnait la technologie des moteurs à pistons. Ceux-ci ne pouvaient atteindre les très grandes puissances motrices (comme l'avaient espéré les concepteurs du SNECMA 36 T, qui comportait quatre étoiles de 9 cylindres à refroidissement par air), ni les vitesses en haut subsonique et au-delà.

La DTIA apporta son appui à l'équipe créatrice du turboréacteur ATAR et à celle de Turboméca, tout en encourageant les recherches en aérodynamique et en propulsion, ce qui fut fait en créant l'ONERA en 1946. Une des dispositions majeures fut l'implantation à Modane d'une très grande soufflerie sonique (actuellement encore unique au monde) qui fut mise au point par les spécialistes de l'ONERA.

D'autre part, les appareils de pilotage-guidage utilisés par les Alliés et par les Allemands pendant la seconde guerre mondiale étaient tout à fait nouveaux pour les ingénieurs français. Une mise à jour complète leur était nécessaire. Pour cela, un stage aux Etats-Unis était très souhaitable. La DTIA le comprit très tôt, en envoyant Jean-Charles Gille et Marc Pélegrin au Massachusetts Institute of Technology (MIT), pour y suivre les cours sur les asservissements. C'est bien ce que le Ministre de la Défense avait conseillé aux Polytechniciens de la promotion 1943 : « Allez aux Etats-Unis pour compléter votre formation ». Revenus en France, Gille et Pélegrin furent affectés à la Section Engins spéciaux du STAé où leur compétence en Automatique s'affirma très vite pour le guidage des missiles, en même temps qu'ils furent chargés de l'enseignement des techniques des asservissements à Sup'Aéro.

Leur cours, rédigés avec l'aide de Paul Decaulne, devint un ouvrage de référence en France et dans les pays francophones. En 1956, Gille et Pélegrin créèrent le Centre d'Etudes et de Recherches en Automatique (CERA), étroitement lié à Sup'Aéro. Grâce à une collaboration très étroite avec des organismes de recherche tels que l'ONERA et avec de nombreux industriels, le CERA a fortement contribué au développement de l'automatique, militaire ou civile, en France. En outre, Marc Pélegrin accepta

d'organiser le transfert de Sup'Aéro à Toulouse, à condition d'y créer, à proximité immédiate de la nouvelle école, un centre de recherche qui puisse jouer un rôle important pour la formation des élèves. Marc Pélegrin fut nommé Directeur de Sup'Aéro transférée à Toulouse en 1968, en même temps que le CERA. Celui-ci, qui comprenait aussi un département d'informatique, donna naissance au Centre d'Etudes et de Recherches de Toulouse (CERT) qui fut ultérieurement rattaché à l'ONERA.

De nombreux autres Ingénieurs militaires de l'Air purent, eux aussi, effectuer des stages de formation dans des centres de recherche américains. En informatique, ce fut le cas, notamment, de Jacques Bouvet et de Jacques Stern qui apportèrent ensuite, au STAé et au STTA, des approches nouvelles dans le calcul numérique. L'année que Jacques Stern passa aux USA en 1957-1958, sous le conseil de Gille et de Pélegrin fut très utile pour lancer ensuite le système STRIDA de défense aérienne.

## 2.2. Les ingénieurs des Poudres

De leur côté, les Ingénieurs du Corps des Poudres bénéficièrent des dispositions d'esprit favorables des Directeurs Techniques des Poudres qui restaient fidèles à la longue tradition scientifique de cette Direction. Celle-ci s'honore de grands anciens ingénieurs, tels que Paul Vieille, inventeur de la poudre sans fumée. Dès 1945, l'Ingénieur général Demougin envoya le jeune ingénieur Henri Piatier faire un stage au laboratoire de Maurice de Broglie, pour y préparer une thèse. Puis, en 1951, l'Ingénieur général Georges Fleury le fit muter au CEA pour y faire des recherches en chimie et en métallurgie, en vue des applications de l'atome. Henri Piatier devint ensuite un spécialiste de la fusion par confinement magnétique, avant de terminer sa carrière comme Directeur général adjoint de l'Ecole Polytechnique.

Georges Fleury fut encore à l'origine des travaux scientifiques de « Poudriers » tels que Claude Fréjacques et Pierre Plurien. Ceux-ci firent une remarquable carrière au CEA, en s'illustrant dans les techniques de séparation des isotopes de l'uranium. Claude Fréjacques fut un expert mondialement reconnu dans ce domaine où il proposa un procédé nouveau par séparation chimique. Sa compétence, dans le domaine nucléaire ainsi que dans celui de l'environnement, fut reconnue par son élection à l'Académie des Sciences.

Il faut aussi mentionner André Rousset qui, à sa sortie de l'Ecole Polytechnique, opta pour le Corps des Poudres, car il y voyait la possibilité de s'orienter très tôt vers la recherche. C'est ainsi qu'il fut admis au laboratoire de Louis Leprince-Ringuet, à l'X, où il entreprit d'excellentes recherches sur les chambres à bulles. Par la suite, André Rousset fut nommé conseiller scientifique du Délégué général pour l'Armement Henri Martre et son action en faveur de la formation par la recherche à la DGA fut déterminante.

## 2.3. Les ingénieurs des Fabrications d'armement

Le Corps des ingénieurs des fabrications d'armement fit également un effort déterminant en recherche et en formation par la recherche. Le Laboratoire central des fabrications d'armement qui avait été replié à Caussade, près de Toulouse, pendant l'Occupation avait entretenu, sous la dénomination de LCIM (Laboratoire central d'industrie mécanique), sa compétence en mécanique de précision. Revenu à Paris à la Libération, il fut ensuite implanté à Arcueil où il poursuivit ses travaux de pointe en mécanique et en science des matériaux et étendit son domaine à l'électronique (cinématographie ultra-rapide), puis au calcul numérique (Calculatrice universelle binaire de l'Armement CUBA).

L'Ingénieur en Chef Pierre Naslin fut à l'origine de cette nouvelle orientation, en passant par l'étude approfondie des servomécanismes. Il enseigna la théorie des asservissements et de leurs applications à l'ENSAr ainsi qu'à Sup'Elec, deux écoles dont il avait lui-même suivi les cours après sa sortie de l'X. Ainsi, dans ce domaine si riche des servomécanismes, la France put bénéficier de deux équipes, concurrentes, mais aussi complémentaires, celle émanant du Corps des Ingénieurs militaires de l'Air (Gille-Pélegrin) et celle des ingénieurs des fabrications d'Armement (P.Naslin).

D'autre part, la DEFA (Direction des études et fabrications d'armement) créa le LRBA (Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques qui s'installa à Vernon, pour se consacrer aux techniques nouvelles de la propulsion par fusées à liquides ou à poudres. L'Ingénieur en chef Pierre Carrière y joua un grand rôle en y créant la soufflerie C4 de renommée mondiale. Il fut assisté par L'ICA André Auriol (qui fut ensuite directeur français de l'ISL, puis directeur général de l'ONERA) et par Roger Marguet, ancien ouvrier ajusteur du LCIM. Roger Marguet poursuivit ensuite sa carrière à l'ONERA où il fut l'initiateur des statoréacteurs pour missiles, dont l'ASMP, seul engin stratégique à statoréacteur opérationnel. Roger Marguet est un bel exemple de promotion sociale, car, de simple ouvrier, il gravit toutes les étapes jusqu'à celle d'Ingénieur général de l'Armement.

Il faut aussi rappeler la participation de la DEFA à la création du LRSL (Laboratoire de recherches de Saint-Louis) qui devint ensuite l'ISL (Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis). Pour l'ISL, comme pour le LRBA, la participation d'ingénieurs allemands très qualifiés en aérodynamique, en propulsion et en métrologie des phénomènes ultra-rapides fut essentielle.

La DEFA érigea aussi un centre de recherches dans le domaine de la détonique à Gramat. Le CEG (Centre d'études de Gramat), créé en 1946, fut, à partir de 1955, suivant les orientations de son directeur l'ICA Jean-Marie Buscailhon, le centre d'excellence pour l'étude des explosifs et de leurs effets. Son apport fut très utile au CEA auquel il a été rattaché en 2010.

Estimant que le CEA ne faisait pas un effort suffisant dans le domaine militaire, le Directeur de la DEFA autorisa le commandant Paul Chanson (qui fut ensuite intégré dans le Corps des Ingénieurs des télécommunications d'armement) à créer une Section atomique destinée à lui assurer une compétence propre dans les applications militaires de l'atome. Elle avait pour mission d'effectuer « les études et applications techniques de physique nucléaire et corpusculaire dans le domaine de l'armement ». Paul Chanson eut pour adjoint l'IPA Paul Bonnet qui avait été chargé, dès sa sortie de l'Ecole Polytechnique en 1949, de l'étude de détecteurs militaires de radioactivité au LCA.

La Section atomique de la DEFA s'installa à Limeil en 1955 et y étudia la neutronique, sous la direction du jeune ingénieur militaire André Chaudière. Cette équipe dynamique apporta une compétence très utile au CEA/DAM pour la première explosion atomique française, le 13 février 1960. Paul Chanson avait ainsi contribué très directement au succès des équipes du CEA. D'autre part, la mise au point de la bombe H doit beaucoup à l'ICA Michel Carayol (X 54), également du Corps des Fabrications d'Armement. Il figure, avec Paul Chanson, parmi les grands noms de l'épopée nucléaire militaire française.

## 2.4. Les ingénieurs du Génie maritime

Le Corps du Génie Maritime est l'héritier du Corps des Ingénieurs constructeurs de la Marine institué en 1765, par la création de l'Ecole des ingénieurs constructeurs de

vaisseaux, ancêtre de l'Ecole du Génie Maritime. Il possède une longue tradition de recherches qui remonte, notamment, à Dupuy de Lôme (X 1835), et à Emile Bertin (X 1858), créateurs d'une flotte de combat innovante, dont les frégates cuirassées du type « Gloire ».

De grandes mutations virent le jour, grâce à la machine à vapeur, à l'hélice, au fer et à l'acier qui remplacèrent le bois des coques datant de la marine de Colbert. Ce fut, bien entendu, en hydrodynamique que les Ingénieurs du Génie Maritime s'illustrèrent plus particulièrement, avec l'IG Barrillon (X 1898), sur la théorie de la houle et sur les tourbillons, et avec l'IG Roger Brard (X 1925) qui fut un éminent directeur du Bassin d'Essais des Carènes dont il fit un pôle de recherche hydrodynamique de classe internationale. Les recherches de Roger Brard sur les hélices furent couronnées de succès, avec un accroissement des performances des navires de guerre français et des navires de transport transatlantiques : le Normandie gagna le ruban bleu, notamment grâce aux hélices conçues suivant les théories énoncées par Roger Brard.

Les Ingénieurs généraux Barrillon et Brard furent tous deux membres de l'Académie des Sciences. Le Bassin d'essais des Carènes, créé en 1906 et transféré au Val de Reuil à partir de 1988, a été, dès sa réalisation, un pôle de recherche en hydrodynamique qui a acquis une réputation mondiale. Il a formé des générations de chercheurs et d'ingénieurs dont l'IG Max Aucher (X 1942), éminent spécialiste de l'hydrodynamique navale, discipline qui fait appel à la recherche théorique, au dessin des formes de carène, de celui des hélices, ainsi que de la conduite des essais à la mer.

Les progrès en hydrodynamique bénéficièrent aux bâtiments de surface, mais aussi aux torpilles et aux sous-marins dont le lointain prédécesseur fut le « Gymnote ». Souvent qualifié de « premier sous-marin moderne » il est né de l'esprit fertile du grand architecte naval Dupuy de Lôme et d'un de ses disciples, Gustave Zédé (X 1843). Celui-ci fit faire au Gymnote ses premiers essais à Toulon en 1888. Puis en 1896, le GM Alfred Laubeuf (X 1883) apporta des solutions d'avenir pour accroître les capacités offensives des sous-marins. Les sous-marins nucléaires actuels ont largement bénéficié de l'expérience acquise grâce à leurs précurseurs ainsi qu'aux recherches et aux essais du Bassin d'essais des carènes, organisme idéal pour la formation par la recherche.

## 2.5. Les ingénieurs hydrographes

Le Corps des ingénieurs hydrographes, institué en 1814, bénéficiait d'une tradition scientifique et technique remontant au XVème siècle, grâce à l'Ecole de Dieppe, puis à Colbert qui souhaitait que « soit fait une description exacte de toutes les côtes du Royaume ». Le Service hydrographique de la Marine, créé en 1886, vit sa mission progressivement étendue à l'océanographie, ce qui fut officialisé par sa nouvelle dénomination, en 1971 : Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM). Ce Service étudia, avec les moyens les plus modernes, la propagation du son dans le milieu marin. Le SHOM, en liaison étroite avec la DTCN, a ainsi grandement amélioré les connaissances nécessaires à la protection de nos sous-marins. Il a acquis, par ses recherches dans ce domaine, une notoriété internationale. Parmi les hydrographes admis à l'Académie des Sciences, citons André Gougenheim (X 1920) et Henri Lacombe (X 1933).

## 2.6. Les ingénieurs militaires et l'électronique

En outre, pour l'ensemble des Directions techniques, un important effort de recherche et d'expérimentation s'imposait, en 1945, dans le domaine de l'électronique. La DEFA

créa, sous l'impulsion du colonel Combaux (qui devint ensuite ingénieur général des télécommunications d'armement), la SEFT (Section d'Etudes et de Fabrications de Télécommunications), tandis que la DTI et la DTCN développaient leurs services d'études et leurs laboratoires d'essais.

Le développement de ces services au sein des Directions techniques accompagnait l'effort de soutien à l'industrie qu'apportèrent, dès 1946, les ICA (futurs IGA) Combaux,(FA), Pénin (Air) et Ragonnet (GM). Comme l'écrit Jean-Pierre Bouyssonnier, dans un livre écrit en 1980, alors qu'il était président de Thomson-CSF, on doit aux ICA Combaux, Pénin et Ragonnet, l'éclosion de l'industrie électronique française. C'est ainsi qu'une action d'ensemble fut entreprise en télécommunications, en optronique, en technologie des radars et des composants électroniques.

Ainsi, pendant toute une période antérieure à la création de la DMA, des ingénieurs militaires purent-ils, avec le soutien de leurs Directeurs techniques, entreprendre une action d'envergure très porteuse d'avenir, axée sur la recherche ainsi que sur la formation par la recherche. Les différents Corps d'ingénieurs militaires y étaient d'ailleurs incités par le « décret Suquet » qui exigeait, de leur part, l'offre d'une formation par la recherche pour une partie des places offertes lors du recrutement à l'Ecole Polytechnique.

### 3. LA FORMATION PAR LA RECHERCHE APRES LA CREATION DE LA DMA

#### 3.1. *Un contexte mondial en pleine évolution*

La Délégation ministérielle pour l'Armement (DMA) a été créée en 1961, dans un contexte mondial en pleine évolution. La microélectronique prenait naissance, avec notamment les circuits intégrés monolithiques. La France risquait de prendre un grand retard dans ce domaine qui allait bientôt révolutionner tous les systèmes d'armes. Le laser avait été inventé aux Etats-Unis, au grand dam des chercheurs français qui, pourtant, avec les professeurs Kastler et Brossel, avaient mis au point, quelques années plus tôt, le pompage optique.

Dans le domaine spatial, le monde occidental s'était réveillé lors du lancement du satellite soviétique Spoutnik, le 4 octobre 1957. Le « choc » du Spoutnik conduisit le gouvernement américain à lancer le programme du satellite Explorer, proposé par l'US Army, sous l'impulsion de Von Braun, en complément du programme civil prévu dans le cadre de l'année géophysique internationale de 1957. D'autre part, le Président Eisenhower décida de créer, le 7 février 1958, l'ARPA, agence de recherche avancée du Pentagone, qui devint ensuite la DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), En outre, le 29 juillet 1958, fut créée la NASA qui incorporait le NACA, en étendant la mission de celui-ci à la recherche spatiale civile.

Ainsi, dès 1958, à la progression continue des techniques traditionnelles (mécanique des fluides, énergétique, matériaux et structures, etc...), s'ajoutait l'apparition de techniques nouvelles (microélectronique, informatique, optronique, matériaux composites, etc...), pour lesquelles la France affichait un grand retard.

C'est pourquoi, pour la recherche civile, il fut créé, en 1958, la DGRST (Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique). Il s'agissait d'une structure fondée sur des comités d'action concertée, chargés de donner leur avis sur le lancement de recherches dans de nouvelles disciplines et de proposer des collaborations entre des spécialistes de disciplines variées. Le premier Délégué général fut Pierre Piganiol. En outre, était créé le CCRST (Comité Consultatif pour la Recherche Scientifique et Technique) ou « Comité des Sages » qui devait proposer au

Gouvernement français les orientations d'une politique de recherche nationale. D'autre part, les études, réalisations et expérimentations dans le domaine spatial furent confiées au CNES (Centre national d'études spatiales), créé en 1962.

### 3.2. Rapprocher science et défense à la DMA

Dans beaucoup de domaines de pointe, il existait un large tronc commun pour la recherche militaire et la recherche civile. Pour associer toutes les forces vives de la recherche française à la rénovation de la Défense, il fut créé, au sein de la DMA, une Direction chargée de rapprocher davantage la Science et la Défense. Cette nouvelle Direction fut également chargée de réaliser les grands centres d'essais, notamment pour la mise au point des missiles tactiques et stratégiques.

La Direction des recherches et moyens d'essais (DRME) fut donc constituée en 1961, avec, à sa tête, deux scientifiques de renommée internationale, le Professeur Lucien Malavard et le Professeur Pierre Aigrain, respectivement spécialistes de la Mécanique des fluides et de la physique des semi-conducteurs. Ils entreprirent, assistés de l'Ingénieur général Edouard Billion, une action vigoureuse en faveur de la recherche, notamment pour la formation par la recherche. Les dispositions les plus importantes furent les contrats et conventions de recherche avec les laboratoires des universités et du CNRS et les industriels. Mais il faut aussi signaler l'instauration d'un ensemble de « Scientifiques du Contingent », au sein des appelés du Service militaire.

Admis en raison de leurs connaissances scientifiques et techniques, ils effectuaient, après une période militaire de quatre mois, un stage de douze mois dans un laboratoire ou un centre de recherche, à l'exclusion de leur laboratoire d'origine. Le but était de rapprocher Science, Industrie et Défense, pour former des trios efficaces dans des secteurs nouveaux.

Cette instauration s'avéra très féconde, aussi bien pour les laboratoires d'accueil que pour les scientifiques du contingent eux-mêmes. Nombreux furent ceux qui eurent ensuite une carrière scientifique, technique ou industrielle de haut niveau à laquelle ils n'auraient pu prétendre auparavant. Le nombre annuel d'appelés admis à être scientifiques du contingent était initialement de 1 500, il fut ensuite porté à 2 000. Ce fut un grand succès jusqu'à la suspension du service national.

Cette large ouverture à la communauté scientifique fut poursuivie, avec vigueur, par le Professeur Jacques-Emile Dubois et par le Professeur Jean-Loup Delcroix qui succédèrent, en 1965, aux professeurs Malavard et Aigrain. Leurs spécialités respectives (informatique appliquée à la chimie, pour J-E Dubois, plasmas et lasers pour J-L Delcroix) étaient très différentes de celles de leurs prédécesseurs, ce qui ouvrait encore davantage le domaine couvert au niveau directorial de la DRME.

Ainsi l'approche pluridisciplinaire et multi applications fut-elle la caractéristique essentielle de la DRME et de la DRET qui lui succéda en 1977. Ne disposant pas de laboratoires, en propre, la DRME, puis la DRET firent entreprendre l'effort de recherche à long terme dont elles étaient chargées, par des laboratoires de l'Université, du CNRS ou de l'Industrie. Cette philosophie du « faire-faire », au lieu de celle de développer ses propres laboratoires, évitait la tentation de pérenniser les moyens et le risque d'être « juge et partie » dans le choix des projets nouveaux.

Elle introduisait aussi une grande souplesse dans les orientations qui n'étaient pas fondées uniquement sur les structures existantes, mais pouvaient aisément conduire à en créer de nouvelles.

### 3.3. Renforcer la formation par la recherche; l'option IA Recherche

Il fallait aussi renforcer la formation par la recherche au sein de la DGA. Aussi, pour les promotions X 62 à X 65, deux places de formation par la recherche furent offertes dans le Corps des Fabrications d'Armement, dans le Corps du Génie Maritime et dans celui des Ingénieurs militaires de l'Air, tandis que le Corps des Poudres continuait sa tradition d'ouverture à cette formation. Mais le grand effort provint de l'instauration, de l'Option Recherche, au sein du Corps des Ingénieurs de l'Armement.

A l'initiative de Jacques Ducuing, conseiller scientifique du ministre de la Défense et Chef de la Mission Recherche, avec pour adjoint l'ICA Magne, il fut décidé d'attribuer, chaque année, à la sortie de l'Ecole Polytechnique, quatre postes d'IA-Recherche qui devaient pouvoir effectuer des travaux scientifiques débouchant sur une thèse de doctorat, avant de poursuivre leur carrière au sein de la Défense ou d'organismes travaillant pour elle. Ceci fut mis en œuvre par la décision DGA/D de janvier 1981 qui créa l'Option Recherche, à partir de la promotion X 76.

Cependant, vingt ans après la création de la DMA, il apparaissait que, malgré le dynamisme et la perspicacité de leurs auteurs, les premières décisions n'avaient pas suffisamment rapproché le monde de la Science avec ceux de la Défense et de l'Industrie. Ce fut le rôle des Journées Science et Défense créées à l'instar du grand colloque organisé en 1982 par le ministre de la Recherche Jean-Pierre Chevènement. André Rousset, successeur de Jacques Ducuing au poste de conseiller scientifique du ministre de la Défense, eut l'idée de créer les Journées Science et Défense. Il recueillit l'avis très favorable du conseiller Emile Blanc et du Délégué général pour l'Armement Henri Martre.

Le ministre de la Défense Charles Hernu décida de lancer les Journées Science et Défense dont les premières eurent lieu à l'Ecole Polytechnique à Palaiseau les 26-27 avril 1983. Celles-ci et toutes celles qui suivirent rassemblèrent de nombreux chercheurs universitaires et industriels qui échangèrent leurs points de vue sur les perspectives scientifiques pouvant avoir des applications à la Défense. Paul Ivan de Saint-Germain, alors directeur adjoint de la DRET, puis Victor Marçais et leurs successeurs à la direction de la DRET furent les animateurs enthousiastes de ces journées organisées en étroite collaboration avec les conseillers scientifiques du Ministre ou du Délégué Général pour l'Armement.

En outre, André Rousset, entreprit, en 1984, une étude sur les ingénieurs militaires qui furent aussi de grands scientifiques. En remontant jusqu'à Paul Vieille, il en recensa 285. A la suite de cette étude, il fut décidé de porter de 4 à 7 le nombre des postes d'IA-Recherche offerts chaque année. D'autre part, il apparut souhaitable de tenir compte de la formation des IA non admis dans l'Option Recherche, mais qui avaient obtenu un DEA au cours de la deuxième année d'une école d'application.

En 1987, André Giraud, ministre de la Défense, supprima la Mission Recherche, pour éviter tout risque de double emploi, mais préserva le poste de conseiller scientifique du Ministre. En outre il confia la responsabilité du suivi des IA-Option Recherche et Option Technique Recherche à un ingénieur chevronné de la DGA, l'ICA Alain Quenzer.

Un groupe de travail relatif à la formation des ingénieurs de l'Armement par la recherche, présidé par l'Inspecteur Général de l'Armement, rédigea un rapport, daté du 28 avril 1989, qui soulignait l'importance de cette formation en ces termes :

*C'est en 1979 qu'une politique de la DGA s'est affirmée en formation par la recherche, avec la création, au sein du Corps des IA, de l'Option Recherche, dotée de quatre, puis de sept places annuelles recrutées selon le rang de sortie de l'Ecole Polytechnique. Depuis sa création, cette option a été choisie, dans de bonnes*

*conditions, dans la quasi-totalité des cas. Les travaux de thèse demandent, en moyenne, 3,5 ans après l'obtention du DEA (préparé en un an). On déplore extrêmement peu d'abandons ou d'échecs. En grande majorité, la première affectation des IA-Option Recherche s'est effectuée dans un laboratoire de la Défense ou d'un organisme sous tutelle. Depuis 1979 également, la DGA a admis de donner une formation par la recherche à, en moyenne, 2,2 IA de l'Option Technique par an, à l'issue de leur formation en école d'application. Il s'agit de l'Option Technique Recherche. Du fait de leur passage en école et malgré l'amélioration de leur cursus pour leur permettre de préparer un DEA au cours de cette période, les IA-Option Technique Recherche achèvent leur formation un an plus tard que les IA-Option Recherche.*

*Afin de jauger les capacités des divers laboratoires et organismes de la DGA (ou sous tutelle) à accueillir des IA pendant et après la réalisation de leur thèse, il a été mené une enquête dont les résultats ont mis en évidence de nombreuses possibilités souvent insoupçonnées. Des constatations faites, il ressort que toutes les Directions techniques ne portent pas le même intérêt aux Ingénieurs de l'Armement formés par la recherche. Si la DRET, en raison de ses missions, envisage l'emploi d'un nombre important de tels ingénieurs, les autres Directions ont pour objectif de recruter un nombre plus limité (DCN, DEI, DAT), voire très réduit (DEn, DCAé).*

Pour améliorer cette situation, le Délégué Général Yves Sillard, et son adjoint Michel Delaye, qui étaient très favorables à la formation par la recherche, élaborèrent l'instruction DGA/D 101594 du 3 juin 1992. Cette instruction définit les modalités de fonctionnement de l'option recherche et le déroulement de carrière des IA l'ayant choisie, ainsi que les modalités de la formation complémentaire par la recherche pour les IA de l'option technique, à l'issue de l'école d'application, dénommée Option Technique Recherche.

La formation des IA Recherche devait s'étendre sur quatre années, en deux étapes : une première étape d'un an, pour préparer un DEA, suivie d'une étape de trois ans pour préparer une thèse de doctorat.

Les IA de l'option Technique Recherche avaient une formation durant cinq années, en deux étapes. La première étape, d'une durée de deux années s'effectuait dans une école d'application, avec préparation d'un DEA. La deuxième étape, de trois ans, était consacrée à des travaux de recherche et à la préparation d'une thèse de doctorat. Le suivi de ces étapes était confié à Alain Quenzer, qui fut ainsi le « parrain scientifique » des IA Recherche et des IA Technique Recherche, depuis 1987 jusqu'au cours des années 1990.

Le choix des sujets de thèse était très ouvert, le seul critère de décision était la qualité et la visibilité internationale des recherches proposées. Dans sa présentation aux élèves de l'Ecole Polytechnique de l'Option Recherche et de l'Option Technique Recherche, Alain Quenzer leur disait :

*Mon propre rôle est de vous éviter le choix d'une formation bas de gamme et d'un laboratoire peu performant, car c'est la qualité de la formation qui est primordiale. Le laboratoire de thèse devra être un laboratoire de valeur scientifique reconnue et de réputation internationale. Une formation par la recherche n'est pas une formation en solitaire, elle doit se faire dans un milieu de chercheurs confirmés qui peuvent fournir l'ouverture sur le monde scientifique international.*

Depuis le milieu de la décennie 1980-1990, la thèse de 3<sup>ème</sup> cycle est remplacée par une thèse de doctorat type PhD, préparée en 3 ans, qui peut être suivie par un travail

de 5 ans pour obtenir l'habilitation à diriger des recherches et à former d'autres jeunes chercheurs.

La réforme de l'enseignement supérieur français établissant, en 2002, le processus Licence-Master-Doctorat (LMD) a facilité la mobilité entre les établissements de recherche européens ainsi qu'entre les disciplines scientifiques. Elle favorise la coopération entre les organismes de recherche sur des sujets pluridisciplinaires, souvent très en amont des applications, dont certaines peuvent être duales, militaires aussi bien que civiles. Comme l'indique le Tome 1 « La Formation » (page 125), le doctorat est préparé dans une école doctorale accréditée, au sein d'une équipe de recherche, sous la responsabilité d'un directeur de thèse, comme les écoles dépendant de la Défense, l'Ecole Polytechnique, l'ENSTA et Sup Aéro. Celle-ci est incluse dans l'école doctorale Aéronautique et Astronautique qui a l'Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE) comme support..

Actuellement, même si le recrutement identifié « Recherche » a disparu, un certain nombre d'IA effectue toujours une formation par la recherche, sur des sujets établis avec des responsables de la DGA. Cette filière de recrutement a connu des effectifs qui ont varié de 4 pour les premières promotions d'IA Recherche à 13 pour les plus nombreuses.

Le symposium organisé le 11 avril 2013 par la CAIA, avec les directeurs de l'Ecole Polytechnique et de l'ENSTA, a montré que la formation par la recherche est profitable aussi bien aux IA-Recherche qu'au Corps des Ingénieurs de l'Armement dans son ensemble. La formation des IA par la recherche est considérée comme une école de rigueur et de créativité. Les IA titulaires d'un doctorat ont un avantage certain au plan international pour deux raisons principales :

- d'une part, le fait d'être Docteur d'Etat les place au niveau des Ph D aux USA, alors que le titre d'ingénieur délivré par une grande école, longtemps considéré comme « Bachelor of science », n'a obtenu, en 2013, que l'équivalence à celui de « Master of science » ;
- d'autre part, le travail de recherche effectué dans un laboratoire de renom conduit à participer à de grands colloques et à mettre en rapport avec de nombreux organismes de recherche étrangers.

Après leur thèse, les IA-Recherche sont actuellement répartis au sein de la DGA (33%), de l'Industrie (30%), dans les administrations (19%), dans des écoles (11%) et dans d'autres instances (7%). Les IA-Recherche étaient, en 2013, au nombre de 160. Il faut noter que l'intérêt des X pour la possibilité d'effectuer une recherche au sein du Corps de l'Armement ne s'est pas émoussé au cours des temps : le major de la promotion 2010 sortant en 2013, Loïc Richier, a choisi le Corps de l'Armement pour cette possibilité.

### ***3.4. Les Doctoriales***

Les conseillers scientifiques successifs du Ministre et du Délégué Général pour l'Armement, ainsi que les directeurs scientifiques de la DRME, puis de la DRET et des services ultérieurs ont tous œuvré pour poursuivre activement cette large ouverture à la recherche et à la formation par la recherche. En outre, la DRET organise les « Doctoriales », dont le concept est dû à Claude Weisbuch qui était le directeur scientifique de la DRET en 1994.

Ce sont des séminaires réunissant pendant une semaine une centaine de thésards pour les aider à prendre conscience de tout ce qu'ils ont acquis du fait de leur travail de thèse, notamment leur capacité à innover en s'appuyant sur les articles scientifiques, les colloques, les brevets. Mais l'objectif principal des Doctoriales est de

sensibiliser les thésards au monde de l'entreprise. Les Doctoriales privilégient les échanges d'expérience entre les chercheurs, le travail en groupe, les études de cas et les témoignages de dirigeants d'entreprises partenaires ainsi que d'anciens docteurs travaillant en entreprise ou ayant créé leur propre société.

Le concept de Doctoriales issu de la DGA a été généralisé en France par le Ministère de la Recherche. D'autres pays s'y sont intéressés en envoyant des doctorants aux Doctoriales françaises ou en organisant les leurs.

Des bourses ont été attribuées à de jeunes doctorants (182 doctorants présentèrent leurs sujets de thèse à l'ENSTA, le 6 mars 2002) et la DGA participe au financement de conventions industrielles de formation par la recherche (contrats CIFRE).

### *Journée des Doctorants DGA, organisée le 6 mars 2002, à l'ENSTA*

Thèses présentées par domaines techniques, au nombre de 182

Electronique et Optronique.....	29
Aéronautique.....	11
Marine.....	08
Drone.....	03
Navigation-Guidage.....	11
Matériaux structuraux.....	27
Systèmes.....	17
N B C.....	06
Environnement géophysique (Aéronomie, Océanographie).....	15
Sciences médicales, Facteurs humains.....	41

D'autre part, la DGA intensifia le couplage entre l'enseignement et la recherche, comme c'était le cas à l'ensemble Sup'Aéro - CERT, en développant les laboratoires de l'Ecole Polytechnique et ceux de l'ENSTA. Actuellement, le Centre de recherche de l'Ecole Polytechnique comprend 1 600 personnes, chercheurs, doctorants, techniciens, ouvriers et personnels administratifs, travaillant au sein de 22 laboratoires actifs dans de multiples grandes disciplines scientifiques et techniques.

En concertation avec ses partenaires, dont font parties l'ENSTA et l'ONERA, il fait un effort de développement particulier dans les nanosciences et les nanotechnologies, ainsi que dans les sciences de la Vie, pour résoudre les défis de l'énergie, du climat et de l'environnement. Cette activité fait de ce Centre un acteur majeur du rayonnement international du grand campus scientifique et technique de Saclay.

A titre d'exemple, citons la création, en 1973, sous l'impulsion de l'IGA Alain Orszag (Docteur ès sciences), d'un laboratoire commun à l'Ecole Polytechnique et à l'ENSTA consacré à la recherche sur les lasers. Ce laboratoire, associé depuis au CNRS, accueille de nombreux élèves de l'ENSTA et de l'X pour des stages et des micro-thèses. Il est devenu un laboratoire pionnier mondial de la recherche sur les lasers créant des impulsions très intenses et très brèves (puissance crête de plusieurs péta watts en une durée de quelques femto secondes). Cette création a été suivie de celles d'autres laboratoires communs entre l'X et de grands centres de recherche.

La formation par la recherche est mentionnée dans les volumes COMAERO – Formation, ainsi que dans les volumes COMAERO – Etudes et Recherches, en particulier dans les textes relatifs aux écoles au sein de la Défense. Le couplage Enseignement-Recherche est mis en œuvre avec une efficacité reconnue, notamment à Sup'Aéro depuis son transfert à Toulouse. Le récent transfert de l'ENSTA à Palaiseau (ENSTA Paris Tech), auprès de l'Ecole Polytechnique (dont le Directeur général, Yves Demay est un des tout premiers IA-Recherche) et d'un important site de

l'ONERA est très prometteur pour le succès des recherches dans ce nouveau grand pôle national.

Actuellement, la formation par la recherche est animée par la MRIS (Mission pour la recherche et l'innovation scientifique), créée, au sein de la DGA, en 2005. Rattachée au Directeur de la Stratégie, elle est dirigée par le conseiller scientifique du Délégué Général pour l'Armement. Elle comprend cinq sections, dont celle de formation pour la recherche. Chaque année, plus d'une centaine de nouvelles thèses sont financées ou cofinancées par la DGA, avec des organismes tels que le CNRS, le CEA, l'INRIA, le CNES, l'ONERA et les régions.

En outre, les allocations CIFRE-Défense permettent à la DGA de cofinancer avec des industriels, des thèses, via une convention avec l'ANRT. Chaque année, des prix de 5 000 euros, sont décernés à de jeunes docteurs ayant bénéficié d'une allocation de thèse DGA et s'étant distingués par la qualité de leurs travaux. La journée annuelle de Rencontre DGA-Recherche et Innovation scientifique est ouverte au monde universitaire et aux industriels, notamment aux PME-PMI. Elle conduit à de fructueux échanges entre ces deux sphères d'activité essentielles pour la nation.

### ***3.5. Prix Jeune Chercheur de la DGA***

La DGA voulut apporter un soutien financier à de jeunes chercheurs pour réaliser des thèses sur des sujets intéressant la Défense. La signature d'un protocole avec le CNRS permit la mise en place et la gestion de ces bourses. Parmi les mesures d'accompagnement, la « Journée des Doctorants » fut organisée pour aider les doctorants à mieux prendre conscience des contraintes du monde professionnel.

La DGA décida, en 1985, d'attribuer trois prix à de jeunes chercheurs ayant orienté leurs travaux dans des directions pouvant conduire à des développements intéressant la Défense, au titre de :

- recherches de caractère fondamental en mathématique, physique, chimie ;
- recherches appliquées ;
- recherches en sciences de l'homme.

Les premières années, les prix Jeune Chercheur furent décernés par un jury scientifique présidé par le Professeur Paul Germain, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

Le prix de thèse, décerné le 7 mars 2002, eut trois lauréats qui avaient œuvré dans des domaines très différents : Christine Anne (neurotoxine butolique), Rémi Anémian (lasers impulsions accordables), Olivier Chadebec (modélisation du champ magnétique induit par les tôles des navires).

### ***3.6. Forum Innovation***

La DGA (IGA Pierre Schanne) a organisé, le 21 novembre 2013, à l'Ecole Polytechnique, le deuxième forum Innovation. Présidé par le Ministre de la Défense, ce forum a présenté des innovations soutenues par la DGA. Parmi celles-ci, il faut citer le buggy volant Pégase, le robot bodet-Rob qui reconnaît et suit son maître, la boussole épictrique qui, posée sur le corps de son détenteur, lui permet de donner des ordres de guidage, de façon très discrète, par des commandes tactiles, ou encore la caméra Kameleon qui donne des images en couleur, même dans la pénombre. Le forum a rassemblé 750 acteurs qui ont participé à la séance plénière, à 10 ateliers ou à 10 stands exposant des réalisations effectuées par les PME soutenues par la DGA. Au cours de ce forum, le Ministre et le Délégué Général pour l'Armement Laurent Collet-

Billon ont remis des « Prix de thèse » (de 5 000 euros) à trois doctorants, Mickaël Bouvet, Camille Couprie, Delphine Dumas, auteurs de remarquables thèses en 2011.

### *3.7. Prix Science et Défense : deux exemples typiques*

Créé en septembre 1983, le prix Science et Défense est destiné à récompenser, chaque année, la contribution scientifique la plus éminente à la défense du pays. Il est décerné par le Ministre de la Défense, sur proposition d'un jury composé de scientifiques de très haut niveau, spécialistes de domaines variés, tels que Louis Néel, René Pellat, Jean-Pierre Changeux, Pierre-Louis Lions.

#### *Premier exemple :*

Le 9 février 1987, le ministre de la Défense, André Giraud remet le Prix Science et Défense à une équipe mixte Aérospatiale-ONERA. Ce prix avait été décerné par un jury présidé par le professeur Néel, prix Nobel de Physique. Le jury avait voulu honorer les recherches et les études entreprises par l'Aérospatiale et par l'ONERA, qui avaient conduit à réaliser le missile ASMP (Air-Sol Moyenne Portée).

L'ASMP est encore actuellement le seul engin stratégique au monde qui soit propulsé par un statoréacteur. Ce missile était le fruit d'une excellente coopération entre une équipe de la Division Engins tactiques de l'Aérospatiale, dirigée par Jean Guillot, et une équipe de l'ONERA, dirigée par Roger Marguet. Il a été monté sur Mirage 4, Mirage 2000 N et Super Etendard. L'ASMP est encore actuellement un élément essentiel de la composante aérienne de la FNS (Force Nucléaire Stratégique).

#### *Deuxième exemple :*

Au cours du forum Innovation du 21 novembre 2013, le Ministre de la Défense, Jean-Yves Le Drian, a remis le « Prix Science et Défense » à Christian Bordé, de l'Académie des Sciences, pour ses travaux sur les horloges et interféromètres atomiques. Christian Bordé a consacré une grande partie de sa carrière à des recherches liées à la Défense.

Dès 1967, son travail de thèse sur les lasers à gaz carbonique de puissance et sur leur stabilisation en fréquence a été utilisé pour la télédétection des neurotoxiques (organophosphorés) au Bouchet. Leur technologie a été immédiatement transférée dans le cadre du programme Detadis de la DGA.

En 1972, Christian Bordé fonda le laboratoire de Physique des lasers de Paris-Nord (Villetaneuse) au sein duquel il a poursuivi le développement des lasers à gaz carbonique pour la Défense. Les lasers guides d'ondes de Villetaneuse ont servi de prototypes pour les réalisations industrielles effectuées pour la DGA à la SAT et chez Quantel.

Christian Bordé dirigea de nombreuses thèses, dont celle de Christian Bréant, ingénieur de l'Armement, qui a lui-même créé le Laboratoire des lasers ultra-stables de l'ETCA et est ensuite devenu directeur de la recherche et de la technologie au Service des recherches et technologies de défense et de sécurité, de la DGA. Une collaboration entre ces laboratoires permet de développer de nouvelles générations de lasers pour la Défense.

En 1979, le professeur Pierre Lallemand, directeur scientifique de la DRET, appela Christian Bordé à être expert à la DRET pour évaluer le programme Armel (étude des possibilités de réalisation d'armes laser et des moyens de s'en protéger), conduit aux laboratoires de Marcoussis de la CGE. Ce programme a notamment abouti, en 1989, à une expérimentation à Marcoussis, de la destruction, par laser, d'une tête de missile à autodirecteur infrarouge.

Christian Bordé a été, pendant 27 ans, le conseiller, pour la recherche amont en physique, des directeurs scientifiques de la DRET, Pierre Lallemand, Claude Weisbuch, Gagnepain, Pierre Guillon. Christian Bordé exerça cette activité de conseiller scientifique en optique quantique, lasers, horloges atomiques et capteurs inertiels. Il a été le parrain scientifique de nombreux IA –Recherche travaillant dans ces domaines. Il a assuré l'évaluation et le suivi des projets de recherche fondamentale et appliquée et des demandes de bourses, en particulier dans les domaines suivants : lasers, physique atomique et moléculaire, optique, optique quantique, propagation, relativité, capteurs inertiels, métrologie, horloges atomiques et étalons de fréquence.

En 1981, Pierre Lallemand demanda à Christian Bordé d'orienter le travail du comité de réflexion du CETHEDC (Centre d'études théoriques de la détection et des communications) vers l'étude de la détection des ondes de gravitation par voie optique. Il appela Alain Brillet à le rejoindre sur ce sujet. C'est dans ce cadre et sous l'impulsion de la DGA qu'a pu démarrer le grand projet franco-italien de détection optique des ondes de gravitation par voie optique (VIRGO). Ce programme a eu de nombreuses retombées sur l'élaboration et le contrôle de miroirs de très haute qualité, de sources laser et d'éléments optiques variés, au sein même de la DGA.

En 1992-1993, à la suite d'une demande de contrat de recherche fondamentale du laboratoire Kastler-Brossel sur les cavités atomiques, Christian Bordé s'est intéressé à la possibilité de réaliser l'équivalent d'une source laser pour les ondes atomiques et il établit une théorie de l'amplification des ondes atomiques. Il explora même la possibilité de réaliser un laser à antiatomes ! De nombreux développements ont suivi à la DGA pour développer des sources cohérentes d'ondes atomiques en vue de leur utilisation dans les senseurs inertiels.

La recherche personnelle de Christian Bordé s'est effectuée dans un échange permanent avec son activité à la DGA. A l'issue d'une journée de synthèse sur la conjugaison de phase, Christian Bordé a imaginé le gyromètre à conjugaison de phase, puis le gyromètre atomique. Cette invention le conduisit à inventer une nouvelle classe d'interféromètres atomiques qui ont été appliqués à la réalisation de senseurs inertiels de très haute sensibilité (gyromètres, gravimètres, gradiomètres) qui permettraient la navigation précise des sous-marins.

Dès 1996, la DGA lança l'étude de la réalisation d'un gyromètre atomique, puis celle d'un gravimètre à atomes froids au SYRTE (Systèmes de référence temps-espace, Observatoire de Paris). Le programme GOM (gyromètre à ondes de matière) a ainsi été initié par Christian Bordé, avec sa participation active. Un gyromètre à conjugaison de phase (avec dépôt de brevet) fut réalisé chez Thomson-CSF par les équipes d'Arditty et de Huignard.

Ce programme fut repris par SAGEM. Des programmes analogues ont suivi, aux USA, en France et en France. Un grand savoir-faire est maintenant acquis par plusieurs équipes, pilotées par la DGA. Des réalisations de gravimètres ont ainsi vu le jour au SYRTE, à l'IOGS (Institut d'Optique) et à l'ONERA. Ces instruments pourront être utilisés pour la navigation, mais aussi pour la géophysique (tectonique des plaques, volcanisme, prospection minière), en métrologie (balance du Watt, et en physique fondamentale (détection des ondes de gravitation). Après leur succès, la DGA a créé un PEA comportant le programme GIRAFON (gravimètre interférométrique de recherche à atomes froids) à l'ONERA, maquette réalisée à Palaiseau, puis le programme GIRAFE, prototype embarqué sur un navire, tous deux couronnés de succès. La sensibilité de ces senseurs est telle qu'il faudra prévoir de nouvelles cartes gravimétriques pour leur emploi opérationnel.

La carrière de Christian Bordé a ainsi comporté trois volets parfaitement complémentaires : recherche personnelle, conseil scientifique, assistance aux jeunes chercheurs. Parmi ceux-ci, il faut citer Christian Bréant (X 76), directeur R et T à l'AED, Jean-Yves Courtois (X 86), PDG de Orolia (Sophia Antipolis), jeune pousse innovante qui fournit les horloges atomiques pour les satellites du système de localisation européen Galiléo, Pierre Bourdon (X 87), ingénieur à l'ONERA-Palaiseau, Olivier Morice (X 88), ingénieur au CEA/DAM, Guy Perrin,(X 89), directeur scientifique de l'Observatoire de Paris, Christine Triché (X 90) et Roland Joannic (X 90), ingénieurs à la DGA.

Les remarquables résultats de Christian Bordé, tant en recherche fondamentale que pour les applications de grande précision, à finalité militaire ou à finalité civile, montrent à quel point l'action à long terme de la DGA, en faveur de la recherche a été féconde et combien elle a favorisé l'éclosion de brillantes carrières dans des domaines scientifiques ou techniques en pleine évolution.

Ces carrières ont ainsi pu conduire à des postes de haute responsabilité au sein de la DGA ou d'entreprises travaillant pour la Défense : Yves Deuay (X 77), directeur général de l'Ecole Polytechnique, Henri-Jean Drouhin (X 76), adjoint au directeur des recherches à l'Ecole Polytechnique, Elisabeth Crépon (X 83), qui a succédé à Yves Demay à la direction de l'ENSTA Paris Tech, Arnaud Reichart (X 80), directeur adjoint de l'ENSTA Paris Tech, Pierre Schanne (X 83), chef de la Mission pour l'innovation participative (Défense), Philippe Bensussan (X 76), président-directeur général de SOFRADIR, Laurent Malier (X 87), directeur du LETI (au CENG).

La promotion X 2010 des élèves de l'Ecole Polytechnique sortant en 2013, comptait 18 IA, dont 4 se destinaient à un parcours complet de recherche (thèse incluse). Le major de la promotion, Loïc Richier, a choisi le Corps de l'Armement en raison des perspectives qu'il offre pour ceux qui sont intéressés par la recherche.

### ***3.8. Prix Ingénieur Général Chanson***

L'Ingénieur Général Paul Chanson, polytechnicien et docteur es-sciences, commença sa carrière en tant qu'officier du Génie, décoré de la croix de guerre 1939-1945. Il fut ensuite intégré dans le Corps des Ingénieurs des Télécommunications d'Armement.

Paul Chanson fut surtout un grand scientifique, formé dans le laboratoire de Maurice de Broglie et dans celui de Louis Leprince-Ringuet. Il est l'un des pères de l'armement nucléaire français. Il créa, en 1951, la Section atomique de la DEFA, avec d'excellents physiciens, civils et militaires, venant du Collège de France, du LCA et de la SEFT. Avec eux, il édifia, en 1955, le Centre de Limeil où fut approfondie la neutronique. Les équipes de Limeil étudièrent la détonique appliquée aux armes nucléaires, avec le Centre d'études de Gramat.

Savant aux vues larges et concrètes, ingénieur doté d'un grand réalisme, Paul Chanson fit preuve d'un courage exceptionnel en travaillant avec ardeur, tout en luttant contre une implacable maladie, de 1958 jusqu'à sa mort en 1970.

L'Association de l'Armement Terrestre perpétue son souvenir, en décernant, chaque année depuis 1972, *le Prix Ingénieur Général Chanson*, pour couronner des travaux ayant fait progresser l'Armement terrestre, du fait de leur caractère innovant et de leurs possibilités d'applications pratiques. Les dix premiers prix concernaient le nucléaire, la mécanique et la pyrotechnie. Il n'y avait alors, le plus souvent qu'un seul lauréat, ingénieur à la DEFA (puis DTAT).

Les dix années suivantes consacrèrent les efforts destinés au char Leclerc effectués par une équipe mixte DGA-Industrie. Les dernières années ont vu apparaître

l'importance croissante des logiciels, notamment en télécommunication, détection, imagerie, identification des cibles et guidage. A noter que le prix de l'an 2 000 a été décerné à une équipe constituée de deux ingénieurs féminins de la DGA, d'un médecin du Service de Santé des Armées et d'un chercheur du Centre Technique d'Arcueil, pour leurs travaux dans le domaine de la protection de la vue et des systèmes d'observation contre les effets des lasers.

### 3.9. La recherche dans les écoles de la DGA

La DGA exerce sa tutelle sur cinq écoles d'ingénieurs : l'Ecole Polytechnique et l'ENSTA à Palaiseau, Sup'Aéro et l'ENSICA à TOULOUSE (regroupées au sein de l'ISAE), et l'ENSTA Bretagne (anciennement ENSIETA).

Au cours d'une table ronde animée par l'ICA Olivier-Pierre Jacquotte et relatée dans le numéro de Janvier 2005, de la Confédération Amicale des Ingénieurs de l'Armement (CAIA), José d'Antin, Henri-Jean Drouhin, Denis Roger, qui étaient alors respectivement Directeur de Sup'Aéro, Directeur des études de l'Ecole Polytechnique et Directeur de la formation et de la recherche de l'ENSTA, ont échangé leurs points de vue sur la recherche dans ces écoles.

Voici des extraits du débat, pour la formation par la recherche :

*L'évolution rapide des technologies oblige, pour une école d'ingénieurs qui veut rester à la pointe du progrès à un renouvellement permanent de ses cours. Cela n'est possible qu'en entretenant un lien étroit entre recherche et enseignement. La recherche constitue un instrument privilégié pour l'apprentissage de l'approche inductive qui s'oppose à l'approche déductive privilégiée par l'enseignement classique et par les classes préparatoires. Un semestre entier du cycle ingénieur de l'ENSTA est consacré à la formation par la recherche. L'ENSTA pousse à l'extrême la synergie entre ses deux missions, l'enseignement et la recherche. Les personnels scientifiques sont « enseignants-chercheurs », au sein d'« unités d'enseignement et de recherche » (UER), qui sont regroupées dans une unique « Direction de la formation et de la recherche ». L'ensemble des sciences de l'ingénieur y sont couvertes par cinq UER : Mathématiques appliquées, Mécanique, Chimie et Procédés, Electronique et Informatique, Optique appliquée (ainsi que via un lien historique avec le laboratoire d'Optique et Biosciences de l'Ecole Polytechnique).*

*A Sup'Aéro, la situation de la recherche résulte d'un double élan. Il y a eu, d'abord en 1968, la création d'un centre de recherche sur le campus de l'école transférée de Paris. L'objectif était de reproduire en France le modèle américain où les laboratoires de recherche cohabitaient avec l'enseignement supérieur. Ce système qui fonctionnait au MIT a également réussi à Toulouse, ainsi plusieurs dizaines d'ingénieurs-chercheurs de ce centre qui fait partie de l'ONERA, contribuent fortement à l'enseignement à Sup'Aéro. Le deuxième élan vient du développement de la pédagogie par projets qui a incité les laboratoires d'enseignement de l'école à s'ouvrir à la recherche. La recherche à Sup'Aéro est structurée selon quatre branches scientifiques, une structuration identique à celle de l'ONERA : mécanique des fluides et énergétique, structures et matériaux, physique, traitement de l'information. Une cinquième branche, systèmes et projets, a été mise en place pour les thèmes transverses et d'intégration pluridisciplinaire. Pour une grande école, la priorité en matière de recherche est, d'abord, de former les étudiants par la recherche. La finalité n'est pas de former de futurs chercheurs, même si, tous les ans, certains diplômés choisissent cette voie. Il s'agit plutôt de donner aux élèves ingénieurs l'occasion d'approfondir un sujet : poser le problème, identifier l'état des connaissances, apporter une contribution personnelle, faire la synthèse et communiquer les résultats. Une telle*

*expérience, réalisée dans un environnement scientifique de premier plan, constitue un important atout pour le futur ingénieur au sein de l'entreprise.*

*L'Ecole Polytechnique, avec plus de 2 000 élèves ou étudiants et un centre de recherche fort de 23 laboratoires et de 1 500 personnes, couvrant un très large spectre scientifique, évolue depuis longtemps selon ce modèle. En outre, l'Ecole met en place un campus de grande envergure qui rassemble sur le même site, des acteurs majeurs de la recherche publique et privée (IOTA, ONERA, Thalès). Henri-Jean Drouhin ajoute qu'un grand campus « à l'américaine » ne peut se concevoir sans la présence de start-up capables de concrétiser très vite les idées des chercheurs. C'est pourquoi l'Ecole a créé X-Technologies, une pépinière d'entreprises qui abrite des sociétés dynamiques et très innovantes.*

*A Sup'Aéro, à l'ENSTA et à l'Ecole Polytechnique, les liens avec les organismes chargés de la recherche civile sont très étroits. Leurs laboratoires sont également impliqués dans des programmes ou des réseaux d'excellence européens. Ainsi, tout en contribuant directement au potentiel scientifique et technique de la Défense, ces grandes écoles de la DGA s'inscrivent parfaitement dans le paysage national et international de la recherche.*

## 4. EXEMPLES DE RECHERCHES ET D'INNOVATIONS EN AERONAUTIQUE

La recherche aéronautique et, plus généralement, la recherche aérospatiale, sont duales, par nature. Que les applications soient civiles ou militaires, la recherche fait appel aux mêmes disciplines scientifiques et aux mêmes technologies : aérodynamique, énergétique, sciences et techniques des matériaux et des structures, automatique, électronique, informatique, optronique, etc. Citons quelques exemples :

### 4.1. Aérodynamique

En aérodynamique, la réduction de la traînée est un objectif permanent, aussi bien pour les avions que pour les hélicoptères, militaires ou civils.

Les recherches en vue de réduire le  $C_x$  n'ont cessé de porter sur la réduction de la traînée de frottement qui constitue une part importante de la traînée : 30 % pour le Concorde, 45 % pour un avion type Airbus, 70 à 80 % pour un avion d'affaires type Falcon. Les efforts pour réduire la traînée de frottement ont été orientés dans deux voies : l'extension du domaine d'écoulement laminaire, la diminution du frottement turbulent.

D'autre part, l'aérodynamique à grande incidence a fait l'objet de recherches, en vue :

- d'accroître la supériorité en combat aérien, pour les avions militaires ;
- de garantir la sécurité lors de situations extrêmes dues, soit aux phénomènes météorologiques (rafales, cisaillements de vent), soit aux manœuvres volontaires (éviter de justesse d'autres avions ou d'obstacles fixes) ou dangereuses (effectuées par des pilotes inexpérimentés) pour les avions civils.

Pour toutes ces recherches ; l'association étroite et interactive entre le calcul numérique, les essais en soufflerie, les essais en vol permet d'accélérer l'étude et la mise au point de nouveaux prototypes, tout en améliorant notablement la sécurité des essais.

### 4.2. Energétique

En énergétique, les recherches ont eu essentiellement pour but d'améliorer les performances des organes propulsifs : turboréacteurs pour les avions, statoréacteurs

pour les missiles et moteurs fusées pour les lanceurs spatiaux. Les recherches en aérodynamique interne et en combustion firent faire de grands progrès aux compresseurs et aux foyers des turboréacteurs, avec un large tronc commun entre les moteurs pour les avions de combat et ceux destinés aux avions de transport.

Les turboréacteurs pour avions de combat doivent avoir une poussée spécifique (rapport poussée / poids) et une poussée surfacique (rapport poussée / maître-couple) aussi élevées que possible. Ceci conduit à chercher des taux élevés de compression par étage de compresseur, des températures et des pressions de combustion importantes et de hauts taux de détente par étage de turbine. Cela impose, notamment pour les aubes de turbines, des matériaux ayant une excellente tenue mécanique sous contraintes thermiques élevées. La température d'entrée turbine (TET) du moteur SNECMA M 88 est de 1850 K (environ 1580°C). Ce record mondial a été obtenu grâce aux recherches menées conjointement par l'ONERA, la SNECMA, les laboratoires de l'Ecole des Mines de Paris et la société Imphy.

Les recherches sur les matériaux pour aubes et disques de turbines sont essentielles pour les turboréacteurs militaires ou civils. Elles exigent persévérance et continuité. Il peut s'écouler 10 années avant qu'une recherche sur un nouveau matériau aboutisse au stade du développement. Pour raccourcir de délai, il est impératif de créer un couplage étroit entre les organismes de recherche et les industriels. Cet effort de recherche doit s'accompagner de la réalisation de bancs d'essais spécialisés dotés de moyens d'instrumentation fine et non intrusive et conduire à des développements exploratoires et à des moteurs de démonstration.

Pour le moteur M 88, des développements exploratoires se sont succédé de 1976 à 1989 et des moteurs de démonstration ont tourné au banc d'essai dès 1984. Ces dates sont à comparer avec celle du premier vol du prototype du Rafale équipé de deux moteurs M 88-2, le 19 mai 1991.

Il faut reconnaître au Délégué Ministériel pour l'Armement Jean Blancard le grand mérite d'avoir été à l'origine de la création du centre de recherche de l'Ecole des Mines à Corbeil et du rapprochement entre ce centre et la SNECMA, l'ONERA et la société métallurgique Imphy. L'association des compétences des équipes de ces différents organismes a été très fructueuse.

### *4.3. Matériaux structuraux*

Les matériaux structuraux sont, aussi bien que l'aérodynamique et la propulsion, un facteur déterminant pour les performances des avions, des hélicoptères, des missiles, des lanceurs et des véhicules spatiaux. Leur domaine s'est considérablement étendu pour couvrir des applications aussi bien civiles que militaires.

Le véritable essor de l'aviation au cours des années 1930 s'est effectué grâce aux alliages d'aluminium qui permirent de s'affranchir des structures haubanées qui étaient indispensables aux voilures en toile ou à revêtement non travaillant.

Pour les avions devant voler en supersonique pendant de longues durées, il a fallu mettre au point de nouveaux alliages. Pour Concorde, l'alliage AU 2 GN fut retenu, pour ses caractéristiques suffisantes à 100°C. Pour fonctionner à des températures plus élevées, par exemple pour des vols à Mach égal ou supérieur à 3, il faut faire appel à d'autres matériaux métalliques, notamment aux alliages de Titane.

L'emploi des matériaux composites, à fibres de verre, puis à fibres de carbone, dans une matrice organique, a débuté dans les cellules d'avions militaires au milieu des années 1970. Leur pourcentage en masse est de 25 % pour le Rafale et l'ordre de 15 % pour les avions de la famille Airbus. Pour les hélicoptères, les premières utilisations

furent celles des composites résine-fibres de verre, pour les pales du rotor principal. Aerospatiale a réalisé, en 1974, le moyeu Starflex, à partir de fibres de verre.

Les composites fibres de carbone-matrice résine ont ensuite été incorporés dans la construction d'avions, tels que le Rafale, l'ATR 72, d'hélicoptères, de satellites et de véhicules spatiaux. Les composites à matrice métallique et à fibre de carbone ou de carbure de silicium conviennent aux applications avec fortes sollicitations thermiques pendant des durées courtes (missiles) ou avec sollicitations thermomécaniques continues (aubes et disques de compresseurs pour lesquels la tenue en fatigue et en fluage est essentielle).

Enfin, les composites à matrice céramique (carbone-carbone, carbone-carbure de silicium, carbure de silicium-carbure de silicium) sont utilisés pour les tuyères des lanceurs et pour les structures chaudes des véhicules spatiaux. A noter l'importance des freins à disques en composite carbone-carbone pour les atterrisseurs des avions militaires (Mirage 2000 et Rafale) et pour les gros avions de transport (Airbus). Ces freins en carbone procurent une diminution de la distance parcourue sur la piste et une sécurité accrue en cas d'atterrissage de détresse.

Pour toutes ces études de matériaux l'association d'organismes de recherche et de laboratoires industriels fut très féconde.

#### *4.4. Avionique*

Au cours de la période couverte par le COMAERO, les équipements de bord ont suivi une évolution considérable. Les instruments de la planche de bord, qui étaient très peu nombreux avant 1940, restaient encore restreints en 1950. Indépendants les uns des autres, ils présentaient leurs informations séparément au pilote qui devait en faire, lui-même, la synthèse.

Au cours de la période 1950-1960, apparurent des instruments plus élaborés, tels que le synthétiseur Chombard qui réalisait l'intégration de plusieurs instruments. En même temps, les instruments purement mécaniques cédaient progressivement la place à une génération électromécanique, telle que celle du calculateur de navigation Garnier-Crouzet. Les commandes de vol mécaniques étaient remplacées par des servo-commandes électrohydrauliques et des dispositifs, tels que les servo-amortisseurs, étaient conçus pour améliorer les qualités de vol des avions de combat.

Une troisième étape fut atteinte, avec les commandes de vol électriques (CDVE) commandées par un calculateur analogique qui faisait la synthèse des données fournies par des capteurs électroniques, ce fut l'époque du Mirage 4. Vint ensuite la révolution numérique abordée par le Concorde, puis généralisée sur le Mirage 2000 et, finalement, sur le Rafale, ainsi que sur l'Airbus A 320. Simultanément, la planche de bord était garnie de panneaux électroniques de visualisation qui permettaient le dialogue interactif avec l'équipage.

Ceci contribuait à optimiser l'ensemble Homme-Avion qui devenait un système intégré. Les fonctions pilotage-navigation-commande des armements étaient rassemblées dans le calculateur qui exploitait toutes les possibilités offertes par les centrales inertielles. Pour celles-ci, le filtrage de Kalman permettait leur alignement initial sur les plateformes mobiles, telles que les porte-avions, ainsi que le recalage en vol. Cette optimisation était redevable à SAGEM, dont le président Pierre Faurre, émule du scientifique américain Kalman, était un grand spécialiste de l'Automatique.

Tous ces progrès étaient dus à un effort continu d'études et de recherches, ainsi qu'à des innovations qui tirèrent le meilleur parti de l'évolution des techniques. Une nouvelle branche de l'Aéronautique était née, l'Avionique, qui, tenant compte également des

progrès de l'optronique et du radar, était développée par une industrie en pleine restructuration.

#### 4.5. Optronique

L'Optronique, fille de l'optique et de l'électronique, est une science neuve issue des progrès des tubes électroniques, des semi-conducteurs, des lasers, et des détecteurs infrarouges. Ses applications militaires sont nombreuses et interarmes. A titre d'exemples, citons les jumelles de vision nocturne, les viseurs, l'observation par satellite, le guidage laser et la présentation des données à distance.

Ce domaine a émergé dans les années 1950. Les Directions Techniques, puis la DMA et la DGA ont joué un grand rôle dans ces domaines, en associant étroitement les chercheurs et les industriels. Elles furent à l'origine de l'industrie infrarouge en France. On peut en situer la naissance en 1947 quand Jean Turck créa un laboratoire infrarouge. Pour avoir un détecteur sélectif, il demanda, en 1949, l'aide du Professeur Pierre Barchewitz qui enseignait la chimie physique en Sorbonne. Le Professeur Barchewitz fut le conseil du STAé jusqu'en 1970, à titre bénévole. De 1949 à 1956, les Etablissements Turck mirent au point, sur contrats successifs du STAé, des cellules au PbS, au PbSe et au PbTe, ainsi que des optiques infrarouges, des couches antireflets et des filtres interférentiels.

Grâce à ces cellules, le Professeur Barchewitz put, par spectrographie, déterminer, avec précision, les caractéristiques des bandes d'absorption du gaz carbonique et la vapeur d'eau de la basse atmosphère. Ces données étaient essentielles pour les appareils d'imagerie thermique ainsi que pour les autodirecteurs de missiles antichars et de missiles sol-air et air-air. De même, la DEFA, avec sa Section d'Etudes et de Fabrications de Télécommunications (SEFT) entreprit un effort très important sur les appareils d'aide à la vision nocturne, par intensification de la lumière visible (0,4 à 0,8  $\mu$ ) et par détection infrarouge (vers 4  $\mu$  et vers 10  $\mu$ ).

La SEFT passa de nombreux contrats avec les industriels français du groupe Th-CSF et du groupe Philips, ainsi qu'à la SAT qui avait repris les Etablissements Turck en 1957. Une action conjointe fut menée par la SEFT (Robert Bruneau), le STCAN (Coutris) et le STAé (Jean-Louis Vrolyk) pour développer les équipements d'infrarouge thermique dans le bande 3-5  $\mu$  (détecteurs In Sb) et dans la bande 8-12  $\mu$  (détecteurs Hg Cd Te) en faisant exploiter les résultats des recherches du LIR (Laboratoire Infrarouge) par la SOFRADIR (société créée par le LIR, avec Th-CSF et SAT).

La DRET (ICA Jean-Louis Teszner et Michel Rieux, tous deux docteurs es sciences) a été à l'origine de la création, en 1978, du LIR (Laboratoire infrarouge), au sein du LETI (Laboratoire d'électronique, de technologie et d'instrumentation), du Centre d'études nucléaires de Grenoble (CENG). Le LIR mit au point des techniques d'intégration et d'implantation ionique qui permirent à la SOFRADIR (fondée en 1987) de réaliser des matrices de cellules de détection infrarouge parfaitement adaptées au guidage de missiles tactiques. Ces réalisations, qui sont au plus haut niveau mondial, ont reçu de multiples applications dans des domaines variés.

L'Optronique militaire comprend aussi les multiples applications des lasers. Dès sa création, en 1961, la DRME s'attacha à les développer, en organisant deux groupes de réflexion prospective, l'un rassemblait des officiers des trois armes, l'autre comprenait des ingénieurs des Directions techniques. La confrontation des réflexions de ces deux groupes conduisit à lancer des réalisations de télémètres optiques, de désignateurs d'objectifs et de systèmes de guidage de missiles, à base de lasers. Certaines de ces réalisations sont au plus haut niveau international. C'est le cas, notamment, du pod

ATLIS qui assure la désignation de l'objectif et le guidage de missiles et de bombes par laser et autodirecteur infra-rouge.

#### *4.6. Détection radar et signature électromagnétique*

Après la seconde guerre mondiale, plusieurs entreprises industrielles françaises (CFTH, SFR/CSF, Radio-Industrie, Sadir-Carpentier, CdC, Derveaux, LCT) travaillèrent, en liaison étroite avec le STCAN (les Ingénieurs du Génie Maritime Giboin, Ragonnet, Malblanc), la SEFT (les ingénieurs des fabrications d'armement Rombout, Assens) et le STTA (les ingénieurs militaires de l'Air Pénin et Léonetti). Les réalisations se succédèrent : radar d'atterrissage GCA à balayage électromécanique, radar de conduite de tir d'artillerie lourde COTAL à balayage conique autour de l'axe de l'antenne, radar de poursuite monopulse, radar de trajectographie, radar aéroporté de conduite de tir Cyrano.

De nouveaux tubes hyperfréquences de grande puissance (klystrons) furent mis au point. et conduisirent à la réalisation du radar volumétrique Palmier, ayant, à la réception, plusieurs pinceaux fins étagés en site, qui fut associé à un ordinateur CDC 6 600, de Seymour Cray.

Ce furent également les radars qui exploitaient les possibilités de la compression d'impulsion. Les premières réalisations furent effectuées en modulant en fréquence, un signal long à l'émission et en utilisant, à la réception, un « filtre adapté » qui, en enlevant la modulation de fréquence, raccourcit au maximum le signal. On bénéficie ainsi simultanément de l'énergie du signal long et du pouvoir séparateur du signal court. L'IPA Michel-Henri Carpentier et le capitaine André Adamsbaum conçurent un procédé original, dit de « retournement de spectre » et réalisèrent une maquette de démonstration. Celle-ci conduisit à confier à Thomson la construction du radar de veille aérienne CONRAD qui fut installé au CEV, à Brétigny, en 1962.

Par ailleurs, étaient menées des études de filtrage Doppler conduisant à des réalisations analogiques (lignes à retard à ultrason), puis à mesure des progrès réalisés par les technologies informatiques, à la réalisation de filtres numériques plus ou moins complexes, du MTI à seuil de phase de la CSF au filtrage linéaire de la Thomson-CSF. Parallèlement, dans le même esprit, étaient menées à LMT et Thomson-CSF les études du traitement « pulse Doppler ».

Grâce aux recherches de Jean-Pierre Brulé, Pierre Villard, Jacques Stern et de Pierre Lepetit, le STTA put lancer le STRIDA 2 (Système de traitement des informations de Défense aérienne), entièrement numérique qui utilisait des ordinateurs IBM d'usage général, mais avec des logiciels originaux très efficaces. Le Centre de Programmation de la Marine (CPM), dirigé par Pierre Thellier, développa ensuite le SENIT selon une philosophie analogue.

Les radars des avions de combat développés par Thomson-CSF vécurent une évolution analogue : le RDM fut le premier radar cohérent embarqué, comportant des possibilités limitées de filtrage Doppler. Il fut suivi du RDI, doté du traitement pulse Doppler HFR qui permettait, en air-air, la vision des avions et le tir vers le bas, par le RDY qui ajoutait la capacité multi cibles, en air-air et en air-sol et par le RBE 2 à balayage électronique premier radar de conduite de tir européen à réelle capacité multi cibles et multifonctions.

Ces radars utilisèrent progressivement le traitement numérique du signal qui permit aussi la réalisation de radars à synthèse d'ouverture (SAR Synthetic Aperture Radar), ainsi que d'autodirecteurs actifs pouvant rester efficaces contre les objectifs furtifs ou disposant de contre-mesures électroniques évoluées.

Les évolutions de ces technologies conduisent aujourd'hui aux radars à antennes actives et la formation de faisceau par le calcul, mettant largement œuvre les techniques numériques.

Pour traiter à la fois les deux problèmes antagonistes de la détection et de la discrétion, Jacques Dorey fut le chef d'orchestre de spécialistes de l'ONERA en traitement du signal, en technologie hyperfréquences et en matériaux électroniques. Ceci permit de donner à de nombreux matériels aéronautiques français, avions, hélicoptères, missiles, des caractéristiques très intéressantes du point de vue de la discrétion, sans diminuer les performances. C'était une avancée considérable vers une optimisation globale de l'avion de combat. Cette optimisation ne pouvait être réalisée qu'avec d'équipes pluridisciplinaires telles que celles de l'ONERA. Ces mêmes équipes, toujours sous la conduite de Jacques Dorey, étudièrent les moyens d'accroître les possibilités de la détection des cibles et, pour cela, inventèrent de nouveaux concepts de radar sol.

Le premier fut le RIAS (Radar à Impulsions et à Antennes Synthétiques), dont le principe est de réaliser une antenne fictive, en combinant les émissions codées d'un réseau d'aériens d'émission et leur réception et identification par un réseau d'antennes distinct à la réception. C'est ainsi la totalité de l'espace de détection qui est éclairé et « codé » en permanence, ce qui offre de nombreuses possibilités d'exploitation du signal. Notamment la poursuite des cibles est réalisée en parallèle à la veille sans requérir de changer le fonctionnement du système ; la cible n'est donc pas alertée par le mode poursuite.

Ces avantages par rapport aux radars classiques sont obtenus au prix d'une grande puissance de calcul : des dizaines de milliards d'opérations par seconde. La potentialité du concept RIAS est considérable pour les applications militaires, mais aussi pour les applications civiles. Il peut être utilisé pour un système de défense aérienne aussi bien que pour un système de contrôle du trafic aérien commercial. Le RIAS fut une innovation majeure due à des équipes pluridisciplinaires qui produisirent ensuite d'autres radars pour la détection lointaine, le radar transhorizon NOSTRADAMUS et le radar de surveillance spatiale GRAVES.

#### *4.7. L'ASMP : un exemple d'innovation*

L'ASMP, Air Sol Moyenne Portée, est actuellement le seul missile à statoréacteur, de capacité nucléaire, en service opérationnel. Comment les équipes de l'Aérospatiale et de la SNPE qui ont bénéficié des recherches et essais de l'ONERA, ont-elles abouti à un tel succès ? Ceci est dû à des innovations majeures, sur le plan technique comme sur celui du concept de système.

Sur le plan technique, cette innovation est le fruit des progrès sur les statoréacteurs. L'histoire du statoréacteur commence avec René Lorin qui exposa, en 1913, un nouveau principe de propulsion constitué par un dispositif convergent-divergent ayant, en son milieu, un foyer de combustion. René Leduc déposa, en 1933, un brevet sur la « tuyère thermopropulsive ». Il fit voler, en 1949, le Leduc 010, premier avion au monde à être propulsé par un statoréacteur.

Le Griffon II, de Nord Aviation, propulsé par un turbostatoréacteur et piloté par André Turcat, battit le record du monde en circuit fermé, homologué à 1640 km / h, le 25 février 1959.

De son côté, l'ONERA s'engagea, dès sa création en 1946, dans un programme de recherche sur le statoréacteur. L'objectif était de bénéficier des performances, en impulsion spécifique et en durée de fonctionnement, du statoréacteur, par rapport à celles des propulseurs à poudre. Ce programme de recherche conduisit à l'engin

expérimental Stataltex qui, explora, après la mise en vitesse initiale obtenue par un premier étage à poudre, un domaine de Mach compris entre 3,3 et 5 et un domaine d'altitude allant de 5 à 39 km. La réussite du programme expérimental Stataltex (1960-1965) conduisit l'ONERA à lancer, en 1967, deux programmes :

- un engin orienté vers la réalisation d'un missile sol-air longue portée, dont le statoréacteur portait la vitesse de Mach 3 jusqu'à Mach 6 ;
- un engin destiné à explorer les possibilités de la combustion supersonique, avec la transition de la combustion subsonique à la combustion supersonique, vers Mach 6.

En 1972, l'ONERA démontra, en soufflerie, la faisabilité du statoréacteur à combustion supersonique de l'hydrogène, avec une impulsion spécifique supérieure à 2 500 s, à Mach 6.

Cependant, en dépit de ces brillants résultats, la voie du statoréacteur opérationnel n'était pas encore dégagée, et ceci pour deux types de raisons :

- Raisons d'ordre économique-opérationnel. Les missiles stratégiques et les missiles tactiques utilisaient tous la propulsion à poudre (propergols solides) qui donnait satisfaction. Quant aux avions de transport commercial, le turboréacteur, qui avait fait de grands progrès, régnait, en partageant un peu le marché avec le turbopropulseur. De très gros moyens avaient été consacrés aux installations d'essais et de fabrication.
- Raisons techniques propres au statoréacteur. Le bilan poussée-traînée d'un véhicule propulsé par un statoréacteur est très sensible à l'intégration du statoréacteur à la cellule. Celle-ci doit contribuer à la compression avant l'entrée d'air et à la détente après la sortie de la tuyère. Pour un véhicule à statoréacteur, la distinction entre motoriste et avionneur s'estompe ou même disparaît. D'autre part, l'inconvénient du statoréacteur de ne pas fournir de poussée au point fixe et aux faibles vitesses reste majeur. Un premier étage à poudre, voire à turboréacteur, s'impose, d'où complexité, coût et difficulté d'intégration.

Pour que le statoréacteur puisse effectuer une percée sur le plan opérationnel, il fallait qu'apparaissent de nouveaux concepts. Les équipes de l'ONERA étaient animées par l'IGA Roger Marguet qui, vivement encouragé par l'IGA Pierre Contensou, avait constamment œuvré pour le développement du statoréacteur ; ces équipes travaillaient en étroite liaison avec les industriels, tels que Aérospatiale, SNPE et MATRA.

C'est dans cette ambiance de coopération que furent successivement conçus à l'ONERA :

- le statoréacteur à entrées d'air latérales, peu sensibles à l'incidence ;
- le statoréacteur à combustible solide (statofusée) ;
- le statoréacteur à accélérateur intégré. Ce dernier concept bénéficie des avantages des deux concepts précédents.

L'association de ces concepts avec les résultats des recherches de l'ONERA fut à l'origine de brillants développements dont certains parvinrent au stade opérationnel.

Le programme Air-Sol Moyenne Portée (ASMP) est l'exemple-type de la conjonction entre :

- un besoin opérationnel majeur : maintenir les avions porteurs à distance de sécurité vis-à-vis d'objectifs fortement défendus ;
- un concept technique innovant : le statoréacteur était parfaitement adapté pour aboutir à un missile air-sol de portée moyenne qui serait largué d'un avion d'armes.

Ainsi, le programme ASMP aboutit-il au seul missile à statoréacteur, de deuxième génération, en service opérationnel dans le monde occidental, sur Mirage IV P pour les Forces Aériennes Stratégiques, sur Mirage 2 000 N pour les Forces Aériennes Tactiques et sur Super Etendard pour l'Aéronavale.

#### *4.8. Innovations et familles de systèmes*

Les innovations, tant pour les concepts de systèmes que pour la technologie, ont favorisé la réalisation de « familles ». Grâce à la réalisation par familles, les coûts et délais de conception et de fabrication sont réduits, la formation pour l'emploi et la maintenance est facilitée. Les Airbus et les Falcon sont des exemples de brillants succès dus à la réalisation par familles d'appareils. Ce fut le cas aussi pour les innovations qui ont permis de concevoir le missile mer-mer Exocet MM 38 et qui ont conduit à une famille de missiles antinavires de grande efficacité.

##### **4.8.1. La famille Exocet**

Au début des années 1950, la Marine nationale confia à la société Latécoère le projet MALAFACE (Marine, Latécoère, Surface). Il s'agissait de réaliser un petit avion sans pilote de 1,5 t, volant à basse altitude à 250 m/s, pour transporter à 50 km une charge militaire de 700kg. La propulsion était assurée par une fusée à ergols liquides et le guidage final sur l'objectif était obtenu par une caméra de télévision placée dans la pointe avant.

Ce concept innovant fut abandonné, car trop en avance sur la technologie disponible si peu après 1945 (en particulier, l'électronique était alors antérieure au transistor). La Marine nationale abandonna ses projets de missiles antinavires jusqu'à ce que se produise, le 21 octobre 1967, la destruction du navire israélien Eilath par un missile soviétique Styx lancé par une vedette égyptienne. L'Eilath fut détruit par trois coups tirés, tous au but, en quelques secondes.

Le Styx n'était pas l'arme absolue et les Etats-majors occidentaux cherchèrent à disposer d'un missile mer-mer, d'une portée équivalente à celle du Styx, mais tout temps et beaucoup plus discret.

En 1967, s'appuyant sur ses réalisations de missiles air-sol, en particulier en ce qui concernait les propulseurs à propergol solide, Nord-Aviation étudia, sous l'impulsion de Jean Guillot, un projet de missile mer-mer baptisé Exocet. La portée choisie fut de 38 km (d'où l'appellation MM 38) et la durée de vol à une vitesse de 300 m/s était d'environ 120 secondes. Les innovations techniques furent multiples, telles que : un ordinateur embarqué dans le missile traite les informations d'une centrale inertielle et celles de l'autodirecteur, un altimètre radioélectrique de grande précision pour permettre le vol à très basse altitude, des piles ayant un bref délai d'amorçage. Toutes les épreuves, qui se déroulèrent de novembre 1972 à octobre 1974, suivies par les marines occidentales, furent couronnées de succès et démontrèrent la valeur du concept de système Exocet.

Du MM 38, Aérospatiale dérivait le missile air-mer AM 39. La longue portée de l'AM 39 et son aptitude à être lancé à très basse altitude rendent les aéronefs porteurs pratiquement invulnérables à la défense antiaérienne des navires. La simplicité de sa mise en œuvre permet de l'employer sur des aéronefs monoplaces, tels que le Super Etendard qui fut adopté par la Marine française en 1981.

Le SM 39 est la version pour lancement à partir de sous-marin. Sa portée est de 50 km.

Le MM 40 est une version du MM 38 conçue pour une portée de 70 km, avec exécution de manœuvres en fin de vol. Ces améliorations furent rendues possibles par

l'emploi d'une technologie électronique numérique qui était disponible lors du lancement de ce missile en 1975.

Ainsi la famille Exocet, avec le MM 38, l'AM 39, le SM 39 et le MM 40, ouvrit-elle des perspectives nouvelles à la lutte anti-navires. Ce fut le triomphe d'un concept original, servi par de brillantes innovations techniques

#### 4.8.2. Les missiles stratégiques et les lanceurs spatiaux

Historiquement, les missiles balistiques stratégiques ont précédé les lanceurs spatiaux. Ceux-ci ont largement bénéficié des techniques développées pour les missiles balistiques. Ce fut le cas pour les lanceurs soviétiques. Le lancement de Spoutnik en 1957 et le premier vol spatial humain réalisé par Youri Gagarine en 1961 furent une démonstration du potentiel militaire soviétique, alors que les Etats-Unis avaient mis sur un lanceur civil pour leur premier satellite Vanguard, initialement prévu pour l'Année Géophysique Internationale de 1957-1958.

Les lanceurs spatiaux utilisèrent principalement la propulsion par ergols liquides qui était aussi celle des premiers missiles balistiques. Mais les avantages opérationnels des propergols solides, notamment pour les missiles lancés de sous-marins à propulsion nucléaire (SNLE), les firent bientôt préférer aux ergols liquides. Les ergols liquides cryogéniques présentèrent, pour les lanceurs spatiaux, des avantages majeurs, du fait de leur grande impulsion spécifique.

Ainsi, du point de vue de la propulsion, le large tronc commun initial engendra deux branches distinctes. Il n'en subsiste pas moins une grande synergie qui a été exploitée par tous les pays qui ont eu accès à l'Espace. Le lanceur Diamant, qui permit à la France de devenir, en 1965, la troisième puissance spatiale, fut réalisé dans le cadre du programme militaire des Etudes Balistiques de Base, avec le programme des « pierres précieuses » (Agate, Topaze, Émeraude, Saphir, Rubis). Ce programme permit de maîtriser les problèmes de propulsion, de structures et de guidage, et de développer des installations de lancement, de trajectographie et de télémesures, à Hammaguir, puis au Centre d'Essais des Landes et à Kourou qui, progressivement, se hissèrent au plus haut niveau technique.

Les lanceurs Ariane 1 à 4 ont largement utilisé les compétences des équipes mises en place pour les missiles balistiques. Cependant, les programmes de missiles balistiques français restent régis par les impératifs nationaux de secret liés à la Force Nucléaire Stratégique (FNS), alors que le programme Ariane est européen et soumis aux règles de retour géographique entre les nations participantes.

#### 4.9. *Recherche et développement dans le domaine des missiles balistiques en France*

**(Rédaction d'André Motet, ancien directeur adjoint de la Division Systèmes stratégiques de l'Aérospatiale)**

Dès la fin des années cinquante, le missile balistique devint le vecteur privilégié des armements nucléaires stratégiques soviétiques et américains.

Puis, progressivement, toutes les puissances nucléaires se dotèrent, elles aussi, de missiles balistiques.

Au Conseil de Défense d'avril 1963, la France, après environ trois ans de travaux préliminaires, choisit le missile balistique à propergol solide comme vecteur pour sa composante nucléaire stratégique principale lancée de sous-marins. Elle choisit également le même type de propulsion pour la composante intérimaire implantée en silos. Ce choix, inspiré par les solutions américaines, se révéla judicieux, mais presque tout restait encore à faire dans ce domaine.

Les réalisations furent le fruit d'un programme d'ensemble recherche-développement-essais très cohérent, sous la conduite de la SEREB (Société pour l'étude et la réalisation d'engins balistiques) créée en 1959, supervisée par la DTIA, puis par la DTEn.

La SEREB rassemblait des ingénieurs ayant déjà acquis une précieuse expérience en propulsion et en guidage dans des organismes des Directions techniques, tels que le LRBA (Laboratoire de Recherches Balistiques et Aérodynamiques) de Vernon. La SNPE (Société Nationale des Poudres et Explosifs) et la SEP (Société Européenne de Propulsion) coopérèrent pour la réalisation des propulseurs, tandis que la SAGEM (Société d'Applications Générales d'Electricité et de Mécanique) était responsable du guidage inertiel.

L'ONERA et le CRB (Centre de Recherches du Bouchet) de la SNPE apportaient leur concours pour tous les problèmes posés par la réalisation de propergols solides de hautes performances et pour leur combustion.

Les essais des propulseurs et des missiles étaient effectués au CAEPE (Centre d'Achèvement et d'Essais des Propulseurs et Engins) de la SNPE et au CEL (Centre d'Essais des Landes) qui relevait de la DRME, puis de la DTEn.

#### 4.9.1. La première génération de missiles stratégiques (M1) lancés de sous-marins

Un programme de recherche, appelé EBB (Etudes Balistiques de Base), avait été lancé très tôt, au début des années soixante, pour valider expérimentalement les techniques clés des missiles balistiques : télémessures, pilotage, propulsion, rentrée et navigation/ guidage ; toutes ces techniques étaient nouvelles et, en avril 1963, la plupart étaient encore loin d'avoir atteint le niveau de performances imposé par les exigences opérationnelles du futur système d'arme.

Dans une situation où presque toutes les techniques et méthodes étaient nouvelles et où la France devait rapidement mettre en service sa composante stratégique principale de manière à crédibiliser sa force de dissuasion, certains travaux de recherche durent être poursuivis pendant une grande partie de la phase de développement, leurs enseignements étant introduits dès que possible dans la définition du missile opérationnel.

La plupart des secteurs techniques furent bien préparés par le programme EBB, à l'exception notable de celui de la propulsion solide. Dans le programme EBB, la propulsion solide n'était représentée que par deux petits propulseurs, l'un métallique de diamètre 800 mm et d'environ 2 tonnes de propergol, l'autre en structure bobinée, d'une masse de propergol de 700 kg environ et non piloté.

Ces deux propulseurs étaient très éloignés des futurs propulseurs opérationnels, beaucoup plus gros : diamètre de 1500 mm, masse de propergol de 10 tonnes pour de premier étage et de 4 tonnes pour le second, ce dernier utilisant, en outre, une technique nouvelle de pilotage par injection de liquide dans la tuyère.

Toutefois, malgré le grand nombre des techniques nouvelles, le premier SNLE, équipé de 16 missiles M1, partit pour sa première patrouille opérationnelle en janvier 1972, moins de dix ans après la décision fondamentale du Conseil de Défense.

La première génération de missiles opérationnels M1 eut un comportement satisfaisant : sur 7 lancements d'exercice, 6 furent réussis ; quant à la disponibilité, elle atteignit 85% dès la première patrouille, puis augmenta régulièrement ensuite grâce à l'efficacité des actions de surveillance et de correction.

#### 4.9.2. Seconde génération de missiles stratégiques (M4) lancés de sous-marins.

La nécessité d'augmenter la portée des missiles français, d'une part, les projets américains et soviétiques de mise en service de systèmes de défense antibalistiques, d'autre part, conduisirent la France à développer rapidement une nouvelle génération de missiles balistiques, plus volumineux, plus puissants et, surtout, porteurs de plusieurs têtes nucléaires à guidage indépendant. Le développement de cette seconde génération de missiles balistiques débuta en 1975, elle entra en service début 1985.

Outre une augmentation de ses dimensions et de sa masse, le missile M4 présentait plusieurs améliorations importantes, dont la plupart avaient pu être correctement préparées par un programme de recherches préalable : nouvelles techniques de propulsion plus performantes, pilotage numérique, techniques d'espacement des têtes.

Avec le M4, mis en service à la date prévue initialement, les missiles balistiques français avaient atteint la maturité dans la grande majorité des domaines techniques et leur renouvellement put être ralenti ; les thèmes de recherche devinrent beaucoup moins nombreux.

Quarante ans après la première patrouille opérationnelle du Redoutable, les missiles balistiques stratégiques français, en raison de la maturité de la quasi-totalité des techniques et de l'expérience acquise, sont devenus un produit presque « normal », même s'il reste complexe et difficile, en raison de l'automatisme intégral des processus de lancement et de vol. La volonté de développer et de mettre rapidement en service, à partir d'une expérience pratiquement nulle, des missiles balistiques performants selon les différents critères opérationnels résultait d'une décision fondamentale, de nature politique.

Dans un tel contexte, il appartenait aux responsables du programme d'apprécier clairement les enjeux opérationnels majeurs, ainsi que le niveau de risques acceptable, ce qu'ils firent. Le pire risque eut été de refuser l'échec et de se réfugier sous une sorte de principe de précaution paralysant. A titre indicatif, les Etats-Unis acceptèrent un taux d'échec en vol de plus de 50 % lors de la mise au point du Polaris A1. Trente ans plus tard, en 1990, ils mettaient en service le Trident D5, missile balistique d'un très haut niveau technique qui devrait rester en service au - delà de 2040 !

#### 4.9.3. La rentrée atmosphérique

La rentrée, dans l'atmosphère terrestre, d'un véhicule spatial s'effectue à 120 km d'altitude et à Mach 25. Entre 80 et 45 km d'altitude, la couche d'air entre l'onde de choc qui se forme devant le véhicule et sa face exposée à l'écoulement, appelée « couche de choc », subit une compression et un échauffement très importants, jusqu'à 5 000°C, qui porte les parties les plus exposées de la paroi jusqu'à 1 400°C. Les molécules d'oxygène et d'azote de la couche de choc sont dissociées, les atomes ainsi créés sont ionisés, ce qui transforme la couche de choc en un plasma formé d'ions et d'électrons. Ce plasma empêche, pendant quelques minutes, toute communication radio directe entre le véhicule spatial et la Terre : c'est le « black out ».

Les phénomènes aérodynamiques, thermiques et électromagnétiques qui accompagnent la rentrée dans l'atmosphère des têtes de missiles balistiques et de véhicules spatiaux firent l'objet, dès les années 1960, de recherches fondamentales.

De 1962 à 1972, l'ONERA réalisa et expérimenta des fusées-sondes conçues spécialement pour l'étude de ces phénomènes. Lancée, de 1962 à 1967, depuis le Centre d'Essais de la Méditerranée, la fusée Bérénice de l'ONERA fut le premier engin

français à avoir atteint Mach 12 à 20 000 mètres d'altitude. Menée par l'ONERA, en 1971 et 1972, l'expérience Electre utilisa la fusée Tibère qui, lancée du Centre d'Essais des Landes, atteignit l'altitude de 170 km. Son dernier étage, mis à feu dans la phase de descente, de 130 à 60 km d'altitude, permettait aux têtes balistiques d'atteindre les vitesses hypersoniques recherchées pour l'étude des phénomènes de rentrée dans l'atmosphère. La densité électronique du plasma de rentrée fut déduite du diagramme de rayonnement d'antennes montées sur la paroi du corps et émettant à diverses fréquences.

L'expérience Electre, d'analyse des phénomènes électriques liés à la rentrée hypersonique des têtes balistiques, constitue un bel exemple d'étude de synthèse de phénomènes relevant de disciplines variées, en vue d'applications aussi bien civiles que militaires.

La soufflerie à haute enthalpie F 4 de l'ONERA, au Fauga, mise en service en 1992, permet l'étude approfondie des phénomènes aérothermiques qui se produisent lors de la rentrée des véhicules spatiaux dans l'atmosphère.

#### *4.10. Semi-conducteurs et microélectronique numérique*

L'utilisation des semi-conducteurs a été le moteur de l'industrie électronique et à l'origine de la révolution numérique. A la différence des matériaux conducteurs, les semi-conducteurs ne contiennent pas d'électrons libres, mais, si on ajoute des porteurs libres en introduisant certains éléments, ces porteurs peuvent se déplacer assez librement. Les premières études ont porté sur les photoconducteurs. La découverte de la photoconductivité du sélénium date de 1880. La galène (sulfure de plomb) fut utilisée comme détecteur d'ondes radioélectriques et comme redresseur dans les premiers postes de TSF.

C'est la mécanique quantique qui a permis de comprendre le comportement des électrons dans un réseau cristallin. Léon Brillouin avait étudié la propagation des ondes dans les structures périodiques des réseaux cristallins. En associant la théorie de Brillouin à la mécanique quantique, Félix Bloch comprit le comportement des électrons dans les réseaux cristallins. L'Anglais Wilson montra ainsi, en 1934, comment un matériau peut être semi-conducteur et le Russe Davidov expliqua cette propriété par deux types de porteurs, les électrons et les trous pouvant se déplacer librement.

Les premiers emplois des semi-conducteurs utilisèrent leur photoconductivité. Les pistes sonores des films sont lues par des cellules au sulfure de plomb ou au séléniure de plomb. Les Allemands, pendant la guerre 1939-1945, exploitèrent la photoconductivité du sulfure, du séléniure et du tellure de plomb pour la détection infrarouge.

La naissance opérationnelle du radar, au cours de la guerre 1939-1945, mit en évidence que le tube à vide, qui avait permis le développement de la radio, n'était pas un excellent détecteur ou amplificateur dans le domaine des micro-ondes, car les distances requises entre les électrodes étaient trop faibles. On s'aperçut alors que les contacts, type galène, fonctionnaient, en hyperfréquences, bien mieux que les tubes à vide.

Le germanium et le silicium étaient les matériaux les mieux adaptés. En 1945-1946, Paul Benzer découvrit, à l'Université de Purdue (USA), le redresseur au germanium à haute tension inverse. Pour comprendre ce phénomène, les laboratoires Bell se penchèrent sur cette question.

Les théoriciens Bardeen et Shockley, associés à l'expérimentateur Brattain, placèrent une seconde pointe à proximité de la première et découvrirent la possibilité de réaliser un amplificateur, à l'instar de la triode de Lee de Forest, le transistor (transfer resistor). En même temps, ils comprirent le phénomène physique qui résidait dans le fait que, dans un semi-conducteur, le courant électrique peut résulter du déplacement d'électrons, comme dans un matériau conducteur, mais aussi du déplacement de « trous positifs ». Chacun de ceux-ci résulte du manque d'un électron dans le cortège électronique des atomes qui constituent le cristal. Cette découverte, qui date de la fin de 1947, valut à leurs auteurs le prix Nobel de physique en 1952. Quelques années plus tard, Bardeen expliqua le phénomène de la supraconductivité, ce qui lui valut un deuxième prix Nobel de physique.

En France, le professeur Yves Rocard, conseiller scientifique de la Marine, ramena, en 1945, quelques chercheurs allemands et les installa dans le laboratoire de l'astronome français Lallemand. Yves Rocard, qui dirigeait alors le laboratoire de l'École normale supérieure (ENS), y fit venir Pierre Aigrain pour participer aux recherches du laboratoire de physique de solides récemment créé. Pendant plusieurs années, ce laboratoire fut le seul, en France, à travailler sur les semi-conducteurs.

Mais, en 1952, Maurice Ponte décida de lancer son entreprise, la CSF, dans le domaine des transistors. Il demanda à Pierre Aigrain de devenir conseil du laboratoire de recherche physico-chimique qu'y créa Claude Dugas, venu de l'ENS. Ce jeune laboratoire mena, de pair, recherche fondamentale et recherche appliquée. Pierre Aigrain redécouvrit la théorie de Davidov et l'appliqua à la structure des transistors. Il proposa que tous les phénomènes constatés étaient dus à des zones de transition, à la jonction entre une région contenant un certain type d'impuretés et une autre contenant des impuretés différentes.

Cela conduisit à remplacer le transistor à pointes par le transistor à jonctions, beaucoup plus facile à réaliser en grande série. En outre, en réfléchissant sur la durée de vie des porteurs minoritaires, Pierre Aigrain pensa que leur recombinaison devait s'accompagner d'une émission de lumière. Il avait ainsi trouvé la possibilité de réaliser un laser à semi-conducteur. Il en exposa le principe dans un congrès de physique à Bruxelles, en 1958. Le laser As Ga (Arséniure de Gallium) fonctionna peu après aux États-Unis et au laboratoire de l'ENS. Il convenait bien à la transmission de signaux par fibre optique.

L'invention du transistor à pointes, en 1948, était déjà une avancée significative pour la miniaturisation, la fiabilité et l'économie d'énergie, en s'affranchissant des tubes à vide. Le passage du germanium au silicium fut effectué pour permettre le fonctionnement dans une gamme de températures plus étendue (de  $-55^{\circ}\text{C}$  à  $125^{\circ}\text{C}$ ), alors que le germanium était limité à  $80^{\circ}\text{C}$  ou  $90^{\circ}\text{C}$ . En fait, cet avantage incontestable pour les matériels militaires ne fut pas le facteur déterminant du passage en force du silicium. Son succès fut dû à la possibilité de faire croître à sa surface, par oxydation progressive, une couche de silice ( $\text{SiO}_2$ ), de quelques micromètres d'épaisseur, et de la faire servir de masque à des agents chimiques qui pouvaient créer, selon les zones insolées ou masquées, des régions du silicium dopées, de type n ou de type p.

Ce procédé, dit « planar », inventé aux États-Unis par le Suisse Hoerni, de la société Fairchild, permit de réaliser, sur une même plaquette de silicium, des transistors, de plus en plus nombreux, à mesure que les traits des dessins se faisaient de plus en plus fins, pour atteindre, en 2014, la dizaine de nanomètres (ce qui oblige de travailler dans des salles blanches ne tolérant que des impuretés de quelques nanomètres).

Il en résulta des mémoires de 250 bits en 1965, de 1 000 bits vers 1970, puis d'un million de bits en 1985 et de 60 millions de bits en 1990. La progression de la capacité

des mémoires et de la rapidité des microprocesseurs a été la conséquence du doublement du nombre de transistors par puce, tous les 18 à 24 mois, comme l'avait prédit Gordon Moore dès 1965 (« loi de Moore »). Les microprocesseurs et les mémoires en circuits intégrés ont été rapidement réalisés par une industrie du silicium concentrée dans la « Silicon valley », en Californie.

La France n'a pas été passive dans cette évolution. La DMA /DGA, sous l'impulsion de jeunes ICA, tels que Jean Bertrais et Alain Crémieux, a orienté et soutenu les recherches et les réalisations des industriels, comme le firent la Délégation générale des télécommunications et le CEA. En 1957, le CEA créa, au sein du CENG (Centre d'études nucléaires de Grenoble, qui était dirigé par Louis Néel, prix Nobel de physique), le LETI (Laboratoire d'électronique et de technologie de l'informatique). Son directeur, Michel Cordelle, ancien officier de Marine, donna au LETI, par son dynamisme, sa créativité et son ouverture vers l'industrie, une impulsion considérable.

Sous sa direction, le LETI entreprit une recherche de longue haleine sur le transistor MOS (Métal-Oxyde-Semiconductor) qui présente des avantages appréciables sur le transistor bipolaire, pour la consommation en énergie et la facilité d'intégration. Le LETI s'illustra tout particulièrement en développant la technologie C MOS, dont un exemplaire « ultime » était réalisé, en 1999, avec une définition de 18 nm. Ceci constitua un record, car cette définition était 7 fois plus fine que celle des circuits produits industriellement par Intel en 2002. De même, un effort très important fut accompli sur la technologie SOI (Silicium sur isolant) en vue de réaliser des circuits intégrés durcis aux rayonnements nucléaires pour les besoins militaires.

La technologie SOI aboutit aussi à la production de « puces » beaucoup plus rapides et moins gourmandes en énergie que les circuits intégrés classiques, avantages déterminants pour l'emploi sur téléphones mobiles et ordinateurs portables. Ces deux grands succès, obtenus grâce à des installations de très haut niveau en salles blanches, furent exploités industriellement par la création des sociétés EFCIS et SOITEC.

On peut citer, parmi les premiers clients de la société EFCIS, pour les circuits intégrés à la demande, Gorges Charpak, futur Prix Nobel de physique, qui utilisa les circuits à transistors MOS pour réduire le coût de ses chambres à fils. La SOITEC est un autre grand succès industriel, dû au LETI. Elle a été créée en 1992, pour produire à grande échelle composants de technologie SOI sous licence exclusive du CENG / LETI. Ils comportent une fine couche d'isolant entre la couche de silicium actif sur laquelle seront gravés les transistors et le substrat servant des supports mécaniques. Cette technique réduit les capacités parasites, ce qui permet d'augmenter la vitesse, de réduire l'énergie consommée et d'accroître la densité des circuits intégrés. Le procédé Smart Cut, breveté, optimise l'utilisation du silicium monocristallin de haute qualité nécessaire pour les fonctions électroniques, en l'isolant du support en silicium de moindre qualité, par une couche d'oxyde de silicium. Grâce au SOI et à sa technologie brevetée, la SOITEC est devenue un leader mondial dans un marché en forte expansion.

De même, les recherches du LIR (Laboratoire infra-rouge) créé, au sein du LETI en 1978, avec l'aide de la DRET (ICA Teszner) aboutirent à la création de la société SOFRADIR en 1987. La SOFRADIR s'illustra, sous la direction de Jean-Louis Teszner, par la production, en série, de caméras en infra-rouge, tant pour des besoins militaires que pour des applications spatiales. Le dynamisme, la créativité et l'ouverture d'esprit de Michel Cordelle étaient partagés par ses collaborateurs, dont l'ICA Denis Randet qui fut l'un de ses brillants successeurs. Denis Randet, comme Jean-Louis Teszner sont des anciens IA –Recherche.

Le LETI fut et reste encore maintenant, pionnier dans des disciplines de pointe, ce qui le conduisit à entreprendre des recherches dans des voies très variées, car, comme le disait son créateur Michel Cordelle : « Aucun chercheur ne doit rester isolé dans son secteur, il doit regarder à droite, à gauche, devant, derrière, et instaurer un débat interne sur le choix des programmes ». A certaines époques, des technologies peuvent sembler très prometteuses.

Ce fut le cas de la jonction supraconductrice découverte par Brian Josephson en 1962, ce qui lui valut le prix Nobel de physique en 1973. Elle permit de réaliser des interrupteurs cent fois plus rapides que les transistors et consommant mille fois moins. Mais elle exigeait le fonctionnement à très basse température et, en outre, sa rapidité n'était pas homogène avec celle des diodes, des résistances, des condensateurs et des amplificateurs associés, beaucoup plus lents. Le LETI, après avoir beaucoup investi dans cette voie, l'abandonna en 1978. Il en fut de même pour les recherches sur les mémoires magnétiques, dont les mémoires à bulles qui furent arrêtées du fait des progrès de la technologie des circuits intégrés en silicium.

Le grand mérite des équipes du LETI fut de savoir-faire, en temps opportun, le bon choix : persévérer à bon escient, car, pour ces équipes, « la technologie qui réussit, c'est celle à laquelle on croit », mais aussi savoir distinguer, à temps, les voies qui seront dépassées par d'autres plus porteuses d'avenir. Très ouverts au monde industriel, les dirigeants successifs du LETI facilitèrent l'essaimage et la création d'entreprises : EFCIS, Crimatec, Sofradir, SOITEC et bien d'autres. Le LETI est une pépinière de chercheurs-entrepreneurs qui ont fait de l'Isère une « silicon valley » à la française. Cette création de « jeunes pousses » innovantes s'effectua en coopération avec les services étatiques et les grands industriels de l'électronique, elle renforça la position de la France dans la compétition mondiale où les Etats-Unis et le Japon étaient au premier rang.

La révolution numérique bouleversa le monde des télécommunications et celui de l'informatique. Elle a contribué aux grandes réalisations spatiales, en même temps qu'elles ont complètement modifié la conception des objets de la vie courante. La technologie du silicium s'est rapidement imposée, en raison de l'étendue des applications qu'elle engendrait. Les innovations sont apparues, par « grappes », comme l'avait prévu Schumpeter pour toute innovation majeure. La technologie du silicium avait aussi provoqué la « destruction créatrice » (encore prévue par Schumpeter) de nombreuses autres technologies (mémoires à couches minces magnétiques, mémoires à tores de ferrites, mémoires à bulles, mémoires à diodes tunnel).

Ainsi, la recherche, à partir des réflexions scientifiques fondamentales en physique du solide, puis de la découverte du transistor, prolongée par celle du circuit intégré, a conduit, au prix d'un effort technologique considérable, depuis les années 60, à une complète mutation du monde moderne.

La microélectronique numérique est, par excellence, un domaine où doivent s'appliquer la formation continue et la formation par la recherche, en liaison étroite avec l'industrie. L'enseignement doit être assuré par des chercheurs et par des ingénieurs œuvrant dans l'industrie.

Associer recherche, enseignement et réalisations industrielles, c'est aussi favoriser la naissance d'innovations et établir des concepts nouveaux mettant à profit les avancées dans des disciplines scientifiques et techniques variées, dont l'association est rendue possible par la très haute intégration numérique.

## 5. RECHERCHE ET INNOVATION

### 5.1. *Un processus multiforme, exemples*

Comme nous l'avons rappelé au début de cet ouvrage, les progrès scientifiques et techniques ont résulté à la fois des travaux des chercheurs et des découvertes des innovateurs. Ceux-ci sont d'ailleurs souvent à l'avant-garde, comme ce fut le cas pour la révolution industrielle, au cours du XIX<sup>ème</sup> siècle, et pour l'aviation, au début du XX<sup>ème</sup> siècle. Bien souvent, l'innovation est née grâce à des utilisateurs opérationnels. Citons le lieutenant d'aérostiers Albert Caquot qui eut l'idée de réaliser un aérostat profilé et muni de trois lobes d'empennage.

Il avait constaté les difficultés qu'éprouvaient les observateurs aériens à bord des ballons sphériques (réalisés par le centre de recherches de Meudon, dans la filiation des ballons de la Révolution qui s'étaient illustrés à Fleurus), lorsqu'ils étaient soumis à des vents dépassant 8 m/s., alors que le Drachen, ballon allemand de forme cylindro-sphérique, restait en surveillance efficace jusqu'avec des vents de 14 m/s. Le ballon Caquot appelé familièrement « saucisse » par les observateurs français, fut rapidement adopté par les armées et les marines françaises et alliées, car il permettait des observations jusqu'à des vents de 25 m/s..

Une autre innovation émanant d'un utilisateur opérationnel est celle du tir à travers le plan de l'hélice des avions militaires, que réalisa, en 1915, Roland Garros, en blindant les parties des pales exposées aux balles des mitrailleuses de bord. Ceci fut malheureusement décelé par les Allemands du fait que Roland Garros ne put détruire son avion lorsqu'il fut abattu en terrain occupé. Le Néerlandais Fokker, qui travaillait pour l'armée allemande, eut l'idée de synchroniser le tir des mitrailleuses allemandes avec la rotation de l'hélice.

Ce procédé, qui avait été inventé par le Français Saulnier en 1914, n'avait pas pu être exploité en raison de la variabilité de la séquence de tir des mitrailleuses embarquées à bord des avions français. Le Français Robert Alkan y porta remède et l'équilibre de la puissance offensive fut ainsi rétabli entre les avions militaires français et allemands, l'aviation de chasse était véritablement née.

Un autre exemple d'innovation aéronautique due à un utilisateur opérationnel est celui du décollage et de l'atterrissage sur le pont d'un navire effectués en 1911 par le pilote d'essais de la firme américaine Curtiss, Eugene Ely, qui marquèrent la naissance de l'aviation embarquée.

Cet exploit et d'autres qui eurent lieu lors de la deuxième guerre mondiale étaient dus à des utilisateurs opérationnels. Dans le même esprit, le vice-amiral français Le Pichon, engagé dans le Golfe persique, lança un concours d'idées parmi l'ensemble des personnels sous son autorité, du simple matelot à l'officier de Marine le plus gradé. Il en résulta une innovation permettant de surveiller trois fois plus de navires en trois fois moins de temps.

L'amiral Le Pichon en conclut que devait être créée, au sein du Ministère de la Défense, une Mission pour l'innovation participative. Il présenta, en 1987, cette idée au Ministre de la Défense André Giraud.

Celui-ci le nomma Chargé de Mission Innovation auprès de lui, en vue d'encourager les personnels de la Défense à proposer des projets d'innovations qu'ils pouvaient concevoir au cours de leurs activités opérationnelles.

Les résultats obtenus furent concluants et conduisirent à pérenniser cette mission en créant en 1995 la MIP, avec, pour directeur, l'Amiral Le Pichon. Le 28 mai 2014, la

MIP a célébré, sous la présidence du ministre de la Défense Jean-Yves Le Drian, « vingt-cinq ans d'innovation participative », qui ont permis de soutenir 1300 projets émanant de personnels des armées, de la gendarmerie et du Service de Santé des Armées. (voir Annexe 7.7).

Ces considérations montrent qu'il ne faudrait pas réserver aux chercheurs les possibilités d'innover. Il convient de ne pas séparer recherche et innovation, que celle-ci soit institutionnelle ou participative. Elles se complètent parfaitement. L'essentiel est de créer un climat de coopération constructive entre les chercheurs, les ingénieurs et les utilisateurs.

Au sein de la recherche proprement dite, il peut être tentant de délaisser la recherche fondamentale et de se confiner à la recherche appliquée, plus axée sur des résultats tangibles. Cependant, l'une se nourrit de l'autre. De la recherche fondamentale peuvent jaillir des possibilités imprévues. Réciproquement, de la recherche appliquée et, même, du stade des essais, naissent des questions qui sont du ressort de la recherche.

C'est ainsi que l'importance du nombre de Reynolds sur la traînée aérodynamique ne fut dévoilée que par la confrontation entre Gustave Eiffel et Ludwig Prandtl, avant que les théoriciens se soient souvenus des travaux de Reynolds et de Sommerfeld. De même, la solution du flottement des avions (« flutter ») fut observée lors des essais en vol, à partir d'une certaine vitesse, avant que la théorie en soit établie par des chercheurs, tels que le Français Yves Rocard.

Pour faire naître des idées nouvelles à la source de grandes innovations, il convient d'opérer un bouclage permanent entre la recherche et l'expérimentation, y compris au stade opérationnel. Chercheurs, concepteurs, expérimentateurs ont intérêt à se réunir périodiquement, pour provoquer des allers et retours entre l'amont et l'aval. Ce bouclage est intéressant à plusieurs titres :

- Accélération du processus qui mène de la recherche au développement ;
- Diminution du coût global, en évitant les voies en impasse ;
- Introduction de concepts de nouveaux systèmes, appuyés par une simulation de leur fonctionnement en tenant compte de contextes extérieurs en évolution ;
- Analyse de la réalisation et de la mise en œuvre du système par une simulation, conduisant à l'optimisation globale du cycle de vie.

C'est bien grâce à un va-et-vient entre recherche fondamentale, recherche appliquée, expérimentation technico-opérationnelle que peuvent plus aisément naître des innovations majeures. Dans bien des cas, la recherche et l'innovation ont permis de raccourcir les délais entre la première expérimentation en laboratoire et la première utilisation opérationnelle.

La recherche évolue de façon continue, et souvent, cela demande du temps pour aboutir à des résultats exploitables. Le cas extrême est sans doute celui des matériaux pour les turboréacteurs. Vingt années se sont écoulées entre le début des recherches sur les matériaux pour aubes de turbines et le premier vol, le 19 mai 1991, du prototype du Rafale C 01, équipé de deux moteurs SNECMA M88-2.

Dans le domaine des turboréacteurs, la recherche est un investissement de très longue durée. Mais elle donne finalement une avance indiscutable à l'appareil qui en bénéficie.

Par rapport à la recherche, et en compensation, l'innovation peut procurer des satisfactions plus rapidement, car elle peut être le résultat de l'association de matériels de technologie connue qui, jusque là, étaient utilisés séparément. C'est ainsi que le

missile anti-navire Exocet Mer-Mer 38, associé à une vedette rapide ou à un avion d'attaque Air-Mer, put aboutir rapidement à un système d'armes très efficace contre les navires de surface.

De même, l'association du missile Air-Sol Moyenne Portée à un avion de bombardement, tel que le Mirage 4 ou le Mirage 2 000 N, a pu prolonger la mise en œuvre de la composante aérienne de la Force Nucléaire Stratégique, sans exiger de trop longs délais et avec un rapport efficacité-coût bien supérieur à celui qui aurait été obtenu en cherchant à améliorer seulement l'un de ces deux constituants.

Enfin, l'ensemble du porte-avions à propulsion nucléaire et de ses avions embarqués constitue un système hybride innovant et réussi, comme celui constitué par les sous-marins nucléaires lanceurs de missiles balistiques (SNLE). Dans ces deux cas, il y a parfaite complémentarité entre le véhicule porteur (qui bénéficie d'une grande autonomie) et des avions ou des engins (qui assurent l'action à grande distance, avec la précision nécessaire à la mission).

Ceci amène à réfléchir à l'avenir des systèmes hybrides qui sont conçus pour associer deux appareils ou deux véhicules de natures très différentes, mais qui semblent pouvoir apporter l'avantage de propriétés complémentaires.

Pour ces systèmes, se produira-t-il le même résultat que dans la Nature, où l'on voit des espèces hybrides qui ont proliféré et d'autres qui sont stériles ou en voie d'extinction ?

A cet égard, on peut mentionner les avions à décollage vertical et les convertibles. Certes, l'avion britannique Harrier a obtenu un certain succès, mais son emploi opérationnel a été limité par son faible rayon d'action. Les convertibles qui décollent à la verticale, puis font basculer les axes de leurs hélices-rotors pour le vol à l'horizontale, semblent très limités en performances alors que leur coût est élevé.

De telles innovations peuvent être tentantes, mais elles peuvent aussi être très décevantes. Par contre, d'autres, comme celle du missile mer-mer associé à une vedette, ou encore celle du missile air-sol guidé par laser, tel que celui installé sur l'avion d'appui tactique Jaguar, sont des systèmes hybrides réussis.

Pour la navigation, l'association du GPS avec un système inertiel est, elle aussi, un système hybride réussi, car le GPS permet de recalibrer la position de la centrale inertielle, tandis que celle-ci fournit l'information de la vitesse qui améliore la précision de la position élaborée par le GPS. Ce système hybride a complètement détrôné les systèmes de radionavigation à longue distance qui avaient régné au cours du précédent demi-siècle.

Une innovation majeure, née en Aéronautique, a été la Conception Assistée par Ordinateur (CAO) qui s'est rapidement développée, grâce aux possibilités du dialogue Homme-Ordinateur facilité par la console graphique. Le Dessin assisté par Ordinateur (DAO), la CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur) mis au point par les industriels Dassault-Aviation, Aérospatiale, Matra, SAFRAN, ainsi que par l'ONERA (pour les maquettes en souffleries) ont permis d'accélérer les études et les réalisations, en même temps qu'était facilitée la formation des futurs utilisateurs.

Le logiciel CATIA (Conception Assistée Tridimensionnelle InterActive ou Computer graphic Aided Three-dimensional Interactive Application) mis au point par Dassault-Systèmes a connu un développement mondial dans le domaine aérospatial et dans de très nombreux autres domaines. Son historique remonte à 1968, lorsque le service d'aérodynamique de la société Dassault demande à de jeunes ingénieurs, dont Francis Bernard, de définir des courbes de profils d'ailes à partir d'un nombre limité de points.

La méthode s'étend ensuite à la définition des surfaces de voilure, puis du fuselage tout entier.

Ce logiciel est conçu pour être applicable aux machines à commande numérique pour réaliser des maquettes pour les essais en soufflerie, puis aux avions eux-mêmes. C'est ainsi que l'Alphajet et le Mercure sont, au début des années 1970, les premiers avions au monde dont la paroi est entièrement numérisée. En 1975, la société Dassault achète le logiciel CADAM (Computer Aided Design And Manufacturing) à Lockheed.

Ce logiciel fait découvrir la puissance de l'interactif graphique pour remplacer la planche à dessin. Grâce aux progrès des ordinateurs, le 3 D interactif devient alors possible. Dassault vise d'emblée la fabrication industrielle. Le logiciel DRAPO (Définition et Réalisation d'Avions Par Ordinateur) est mis en service industriel à la fin de 1975. Il s'agissait de réduire le délai de réalisation des maquettes de soufflerie qui était alors de six mois. Grâce à DRAPO, ce délai fut réduit à six semaines.

Le système DRAPO, qui fut ensuite installé dans toutes les usines Dassault, permet de réaliser :

- la définition des formes d'avions ;
- la conception des pièces dérivées des formes,
- l'usinage, en commande numérique, des pièces et des outillages ;
- le contrôle, sur machine à mesurer à commande numérique.

En 1976, le Service CFAO (Conception et Fabrication assistées par Ordinateur) est constitué et dirigé par Francis Bernard. En 1978, ce service de Dassault crée le programme CATIA. La société IBM s'intéresse à CATIA et propose à Dassault de le commercialiser, en complément de CADAM 3 D. C'est le début de la société Dassault Systèmes.

Le système CATIA s'est généralisé à l'ensemble des programmes, militaires et civils, de Dassault. Les avions d'affaires Falcon et le Rafale ont fait l'objet de maquettes numériques où sont intégrées toutes les pièces, avec leurs fixations, à partir d'une base de données unique. Dans celle-ci, chaque constituant élémentaire est décrit avec sa définition, ses processus de fabrication, ses conditions d'approvisionnement et de maintenance. Avec CATIA, les bureaux d'étude sont passés de la planche à dessin aux ordinateurs ainsi que des maquettes physiques aux maquettes virtuelles.

Il en résulte un gain de temps considérable entre le tout premier concept et la sortie du prototype, puis entre celle-ci et la production des appareils de série. Il en découle aussi une révolution dans les relations entre le constructeur et ses clients qui peuvent juger très tôt de l'adéquation du futur avion à leurs besoins et demander des modifications quasi instantanées de la cellule ou des aménagements intérieurs. Les sous-traitants et les autres fournisseurs sont associés au maître d'œuvre dès la phase de conception, d'où une véritable redéfinition des relations entre les industriels concernés : tous les projets d'avions actuels sont traités par « ingénierie concourante ».

Du fait de la puissance de CATIA, la société Dassault Systèmes en assure la promotion pour des applications très variées, en dehors du domaine aérospatial, dans le monde entier.

Dassault Systèmes est devenue leader mondial, possédant une très importante base de CFAO avec des débouchés, pour 40 % dans le secteur automobile et transport, et pour 30 % dans le secteur aérospatial. Les logiciels CATIA et CADAM sont aussi appliqués dans beaucoup d'autres domaines, allant de la construction navale à l'architecture, aux équipements médicaux et aux biens de consommation.

## 5.2. Le calcul et l'expérimentation

L'aviation s'est initialement développée en s'appuyant sur l'expérimentation. A l'époque de Clément Ader, aucune théorie scientifique ne permettait le calcul des caractéristiques aérodynamiques de la voilure de ses appareils, « Eole » et « Avion ». La théorie mathématique de Joukowski ne fut publiée qu'en 1906, bien après les vols d'Otto Lilienthal sur ses planeurs, de 1890 à 1896, et après les vols historiques des frères Wright en décembre 1903.

### La cuve rhéoélectrique de Pérès-Malavard

En 1930, le Professeur Joseph Pérès, directeur de l'Institut de Mécanique des Fluides de Marseille, proposa à son assistant Lucien Malavard d'appliquer, à l'étude des écoulements aérodynamiques, la méthode de « l'analogie électrique » dont Kirchhoff avait, dès 1845, indiqué le principe. La répartition des tensions et des courants électriques dans une cuve remplie d'un liquide conducteur permet de simuler l'écoulement aérodynamique autour d'un profil introduit dans la cuve. C'était le point de départ de la filière du calcul analogique qui s'est ensuite étendu au calcul hybride, à base de réseaux électriques plus commodes et plus puissants que les cuves rhéoélectriques. Cette méthode fut très employée avant 1939. Son emploi se prolongea au cours des années 1950 et 1960, notamment pour le calcul de la portance d'ailes avec spoilers et volets ou de celle d'ailes à flèche variable.

L'époque héroïque de la naissance de l'aviation fut marquée par la prédominance des essais en vol, et, avec des essais en souffleries sur de petites maquettes, sous l'impulsion de Gustave Eiffel. A partir des années 1930, la réalisation de grandes souffleries, telles que celle de Chalais-Meudon permit de dégrossir, au sol, les formules aérodynamiques avant de les essayer en vol. Simultanément Lucien Malavard réalisait la cuve rhéoélectrique qui marquait le début du calcul analogique appliqué à l'aéronautique.

La *deuxième période*, de 1940 à 1970, vit une forte progression des essais au sol (souffleries, bancs d'essais de moteurs et de cellules). Les essais en soufflerie bénéficièrent de progrès importants en instrumentation, tels que ceux appliqués à la grande soufflerie de l'ONERA à Modane-Avrieux. La simulation analogique électrique fut également très utilisée, au cours de la décennie des années 1950, par l'emploi de calculateurs qui permettaient de résoudre les équations de dynamique des fluides ou de mécanique du vol et de coupler aisément les résultats avec l'orientation de plateformes sur lesquelles étaient placés les détecteurs angulaires commandant les servo-moteurs de gouvernes. Ceci permettait d'étudier le comportement de l'ensemble avion- pilote. Mais, en dépit des qualités de la simulation analogique (notamment par la facilité d'interprétation de la sensibilité aux différents paramètres, et par le caractère éducatif qui en résultait), la révolution numérique de la décennie des années 1960 conduisit à sa disparition, au bénéfice de l'emploi des ordinateurs.

La *troisième période*, de 1970 à 1985, fut marquée par l'emploi, de plus en plus intensif, de grands calculateurs scientifiques. Leur croissance en rapidité de calcul et en capacité de mémoire permit de proposer des configurations complètes d'avions, qui étaient ensuite affinées par les essais en soufflerie.

La *quatrième période*, à partir de 1985, vit s'instaurer un dialogue et une synergie entre « le numérique » et « l'expérimental ».

Les modèles représentant les phénomènes physiques autour de configurations réelles furent validés par l'expérience. Les essais en soufflerie firent de grands progrès grâce, notamment, aux techniques d'observation et de mesure non intrusives par laser ou par détection infrarouge. Ceci permit d'extrapoler, aux conditions du vol réel, les modèles que les moyens d'essais au sol ne pouvaient vérifier que dans un domaine plus étroit.

L'accès à l'ypersonique et à la propulsion aérobie à grande vitesse pour les véhicules aérospatiaux devint possible sans exiger des moyens d'essais au sol d'un coût prohibitif.

Les nouveaux projets aérospatiaux font appel à un dialogue permanent entre les numériciens et les expérimentateurs, aussi bien en aérodynamique et en propulsion qu'en résistance des structures. Ce dialogue s'effectue à plusieurs niveaux :

- en amont, l'effet d'un paramètre est étudié, en laboratoire, sur une forme simple, à l'aide d'un dispositif d'instrumentation très fine. C'est le dialogue entre les chercheurs de base des organismes de recherche fondamentale ;
- la validation ainsi obtenue permet de calculer l'effet des phénomènes physiques globaux sur une maquette simplifiée. Les résultats de ces calculs sont confrontés à ceux d'une expérimentation effectuée sur cette maquette, avec une instrumentation fine. C'est le dialogue au niveau de la recherche appliquée ;
- cette validation permet ensuite aux bureaux d'études industriels d'effectuer des calculs détaillés sur des maquettes complexes proches du véhicule prototype. Ceci aboutit à la comparaison expérimentale de maquettes au stade des avant-projets des industriels.

Les progrès du calcul numérique ont été considérables depuis ses premières applications aéronautiques au cours des années 1960. Cependant, l'objectif ultime, qui serait de déterminer, entièrement par le calcul, les performances de la configuration la plus complexe avec la méthode la plus puissante, est encore lointain : la « soufflerie numérique », le « banc d'essai compresseur numérique », la « chambre de combustion numérique » ne sont pas pour demain. A titre d'exemple, prévoir avec précision, uniquement par la CFD (*Computational Fluid Dynamics*) la valeur du Cx de croisière d'un avion de transport est encore très risqué. C'est pourtant essentiel, car le Cx conditionne la consommation de carburant. Il est nécessaire de valider les calculs par des essais en soufflerie.

Les essais en soufflerie restent indispensables dans tous les cas, mais notamment pour les performances à attendre des appareils de configuration nouvelle, tels que ceux utilisant des « *open rotors* » (turbopropulseurs dotés d'une soufflante externe de grand diamètre), pour lesquels l'intégration moteur-cellule est difficile à calculer avec précision.

Le succès réside dans un dialogue permanent entre le calcul et l'expérimentation qui ne cessent de progresser conjointement. En Aéronautique, comme en bien d'autres domaines, le numérique doit constamment dialoguer avec l'analogique, car celui-ci est bien l'aspect fondamental de la réalité. La révolution numérique ne doit pas occulter la nécessité du contact avec le concret physique.

Associer des innovations d'origines diverses peut donc conduire à une véritable mutation au niveau des systèmes. Nous venons de voir des systèmes purement aéronautiques. Mais ceci s'applique aussi et, peut-être plus encore, à des systèmes conçus à la fois pour le milieu marin et pour le milieu aérien. Au départ, on a longtemps considéré ces deux milieux comme étrangers l'un à l'autre. Au milieu naval utilisé dès l'Antiquité, caractérisé par sa densité et son opacité, on pouvait opposer le milieu aérien, fluide et transparent, longtemps inaccessible à l'homme. Inventer un système associant ces deux milieux si différents semblait devoir conduire à une impasse et, pourtant l'hydravion naquit, en 1910, grâce à Henri Fabre et le porte-avions devint possible après les décollages et appontages réussis de l'Américain Eugene Burton Ely, en 1910 et 1911 (voir annexe concernant la Mission pour le développement de l'Innovation participative MIP).

Plus tard, l'association d'une vedette de faible tonnage et d'un missile mer-mer constitua une révolution dans le combat maritime, au détriment des grandes unités navales. De même, le sous-marin lanceur de missiles balistiques constitue un système qui utilise très bien les propriétés si différentes du milieu marin et du milieu aérien et spatial. Innover, c'est, souvent, assembler des sous-ensembles différents, mais complémentaires. Leur association est facilitée par la révolution numérique qui introduit souplesse et facilité d'adaptation. Mais auparavant, il faut réfléchir à ces associations nouvelles et cette réflexion doit s'appuyer sur l'examen des caractéristiques de véhicules et de matériels variés, en tenant compte de leur potentiel d'évolution.

### 5.3. *Biologie et Sciences humaines, les facteurs humains*

Dans ce vaste domaine, la DRME, puis la DRET, ont constamment travaillé en étroite liaison avec la DCSSA (Direction Centrale du Service de Santé des Armées), en lui apportant leurs connaissances de disciplines scientifiques et techniques variées, en rapide évolution, ainsi que leur ouverture à de nombreux milieux universitaires et industriels. La DRME / DRET disposait en son Service des Recherches d'une section comprenant médecins militaires et civils, pharmacien militaires, ingénieurs, dont l'action s'inspirait des avis d'experts de très haut niveau scientifique, tels que le Prix Nobel André Lwoff.

Les problèmes relatifs à la vigilance, à la fatigue, au comportement en ambiance de combat en différents milieux étaient analysés au niveau de la physiologie humaine, en bénéficiant des progrès de l'instrumentation et de l'informatique.

La protection contre les épidémies fut l'objectif de recherches en immunologie, tandis que l'amélioration des connaissances des effets biologiques des agents chimiques et des rayonnements ionisants conduisit à des recherches fondamentales en neurophysiologie et en neuropharmacologie.

Un important programme de recherche fut lancé en ergonomie, science de l'adaptation de l'homme à la machine, qui permit de passer de l'ergonomie de correction à l'ergonomie de conception. Celle-ci analyse d'emblée l'ensemble du système Homme-Machine, dans le contexte opérationnel prévisible. Les techniques de biométrie dynamique, d'anthropométrie ont permis d'optimiser les postes de conduite, de travail ou de combat. Les techniques d'oculométrie ont permis d'analyser les stratégies visuelles du pilotage. La charge mentale du pilote et celle de l'équipage ont été contrôlées par le recueil des paramètres électro physiologiques, de façon à faciliter la décision en opérations, avec l'incidence sur la sélection des personnels et l'entraînement sur simulateur.

En aéronautique, qu'il s'agisse du combat aérien ou du transport commercial, le rôle de l'opérateur humain est primordial. Or, le pilote d'avion de combat et l'équipage aux commandes de l'avion de transport présentent des caractéristiques communes :

- ils réfléchissent et agissent de *façon séquentielle*. Ils ne peuvent, en même temps, lire l'information d'un capteur et agir sur une commande d'un autre appareil. L'entraînement, notamment sur simulateur, et l'expérience leur permettent de réagir rapidement à un signal, mais ils ne peuvent agir simultanément sur des commandes différentes pour faire face à des informations variées ;
- ils sont aptes à toute réaction, à condition qu'elle soit *ni trop rapide ni trop lente* ;
- ils n'aiment pas les situations mal définies où les paramètres essentiels semblent varier de façon erratique, parfois en opposition avec la logique habituelle. C'est le cas lors de la perte d'une commande essentielle de l'avion ou encore lors du comportement de l'appareil au-delà de l'incidence de décrochage ;

- ils ont besoin d'informations, non seulement sur l'état actuel du système constitué par l'avion dans son environnement, mais aussi sur son évolution prévisible ;
- ils doivent pouvoir dialoguer avec le système, même si celui-ci reste au régime normal (souvent appelé « nominal »), pour tester la « robustesse » de la stabilité de ce régime et se préparer ainsi à réagir en cas de défaillance, mineure ou majeure, du système.

Grâce aux progrès de la microélectronique et de l'informatique, les constituants de l'avionique ont acquis une précision, une rapidité et une fiabilité bien au-delà des possibilités humaines. Il faut donc qu'à bord d'avion, soient automatisées :

- toute fonction à variation trop rapide pour que l'homme ait le temps de réagir. Le temps de réponse (caractérisé par un retard et une constante de temps) de l'opérateur humain peut varier de 0,1 à 1 seconde ou même davantage, selon la fatigue, la charge de travail, l'environnement opérationnel et, bien entendu, suivant l'entraînement et la dextérité de l'intéressé ; sur les avions modernes, les fonctions de stabilisation, de pilotage et de navigation sont intégrées dans le calculateur central du système, sans faire appel à des instruments individualisés ; elles sont effectuées d'une façon transparente, de sorte que le pilote peut se consacrer pleinement à la surveillance globale du système ;
- toute fonction qui exige un travail répétitif, tel que la surveillance ou la correction d'un paramètre évoluant très lentement ; c'est l'écart éventuel par rapport à cette évolution naturelle qui doit être signalé au pilote, bien avant que se produise une défaillance grave.

D'autre part, les missions, qu'elles soient militaires ou civiles, font appel à plusieurs hommes, à bord du même appareil ou distants les uns des autres. Les relations entre ces différents agents actifs ont beaucoup évolué en raison des progrès techniques et de l'expérience acquise par le personnel navigant et par le personnel au sol. Au début de l'aviation, le pilote était seul à bord et ne disposait pas de soutien au sol, les transmissions n'existaient pas. Mais, bientôt, se constitua l'équipage, avec mitrailleur, navigateur et viseur-bombardier, pour les avions de bombardement.

Pour les avions de transport, le mécanicien, le navigateur, le radioélectricien apportaient leur concours aux pilotes qui étaient deux ou trois suivant l'importance de l'appareil. Les progrès techniques ont ensuite permis de déléguer à des équipements et à des automatismes les tâches simples ou répétitives et de supprimer des fonctions devenues inutiles, comme celle de la navigation astronomique à bord des avions de transport long-courriers. La fiabilité des moteurs a favorisé le passage à l'équipage à deux : le commandant de bord et le co-pilote assurent eux-mêmes toutes les fonctions de haut niveau nécessaires à l'exécution de la mission.

Les qualités requises étaient, au début, l'habileté manuelle et le « sens de l'air », comme l'illustra Mermoz, puis ce fut l'aptitude à diagnostiquer les problèmes et à bien les communiquer au personnel au sol et à anticiper les événements.

Il en est résulté une intégration de plus en plus forte entre les différents acteurs qui forment les éléments humains de systèmes complexes.

Dans le domaine militaire,

- les avions de combat opèrent, le plus souvent, par groupes (de quatre appareils, par exemple) ;
- les avions de surveillance maritime, tels que le patrouilleur NATO Atlantic, ont, à leur bord, une dizaine de spécialistes qui observent leurs écrans de détection et communiquent en permanence leurs informations aux pilotes ;

- les avions de surveillance aérienne stratégique ou tactique, tels que les AWACS, jouent le rôle de poste de commandement pour coordonner les avions d'attaque d'objectifs, en fonction des radars et des batteries sol-air ennemis ;
- les drones d'observation et les drones de combat prennent une place de plus en plus importante sur les théâtres d'opération. Il importe d'optimiser leur emploi avec celui des autres systèmes d'armes. Le rôle des opérateurs humains est essentiel, mais les exigences sont très différentes selon qu'ils agissent sur le théâtre d'opérations ou à distance ;
- les satellites d'observation et les satellites de télécommunication font, eux aussi, partie intégrante des systèmes stratégiques ou tactiques, tandis que les systèmes de localisation-navigation sont indispensables aux décideurs et aux combattants.

Pour toutes ces missions, l'opérateur humain reste indispensable, notamment pour traiter rapidement tous les cas imprévus résultant d'une défaillance du matériel ou de l'action de l'ennemi.

La formation des équipages est facilitée par l'emploi de simulateurs d'entraînement qui sont de plus en plus perfectionnés, à l'instar des simulateurs de conception réalisés par l'industriel « systémier », en tenant compte des avis des futurs utilisateurs, militaires ou civils.

L'effort entrepris avec rigueur et continuité par les Services officiels, les centres d'essais et les organismes de recherche, tant sur le plan technique que sur celui des facteurs humains, a permis d'optimiser les relations Pilote-Avion et de réduire au maximum les risques d'accident et d'échec de la mission.

Si la communication Homme-Machine reste le point faible de l'univers technique moderne, l'Aéronautique est incontestablement à la pointe du progrès en ce domaine.

Avant de conclure, rappelons les propos de Pierre Aigrain, en l'an 2000 :

*Il est incontestable que l'on va changer d'âge. Ce n'est pas la première fois que cela arrive dans l'histoire de l'humanité, comme le soutiennent certains économistes, comme Kondratieff. Au début du XIXe siècle, la machine à vapeur a été à la base de la révolution industrielle. A la fin du même siècle, ce fut l'automobile qui créa, non seulement l'industrie automobile, mais aussi, développa, en amont, la sidérurgie et, en aval, le génie civil pour la construction des routes. Ce phénomène se déroule aujourd'hui dans le cadre de l'informatique. Les technologies les plus avancées entrent dans les foyers et sont manipulées par des individus non préparés. Il faut les aider et les former. Il faut aussi envisager les problèmes organisationnels, sociaux, humains et même juridiques. Il faut réfléchir aux problèmes d'enseignement et de formation, en un mot, conduire une vaste réflexion sociale et politique.*

*Dans l'avenir, les technologies nouvelles apparaîtront à des intervalles de temps faibles par rapport à la durée normale de leur influence. Ceci pourra limiter les creux entre les cycles de Kondratieff, car l'essoufflement d'un cycle sera immédiatement relayé par l'apparition d'un nouveau.*

*L'intérêt d'une technologie nouvelle réside essentiellement dans la possibilité de rendre des services qui ne correspondent pas à un marché existant. L'apparition de nouvelles techniques serait, selon Kondratieff, une des causes des récessions économiques. Dans le nouvel âge actuel, c'est l'ensemble des technologies de l'information, de son stockage, de son traitement, qui est nouveau.*

*Le rapport Nora-Minc, rédigé en 1979, indique que la révolution en marche n'est pas seulement le fait de l'informatique, mais du développement prodigieux des*

*télécommunications. Ceci conduit au concept de « télématique ». Parmi les utilisations de la télématique, celle des banques de données est la plus prometteuse*

*On peut distinguer deux types principaux de banques de données :*

- celles qui sont essentiellement un archivage, comme celle du gros serveur de Sophia Antipolis. Le rôle de l'ordinateur est d'assurer la fonction d'inversion des fichiers qui permet de trouver toutes les références qui correspondent à une certaine description, indépendamment de la façon dont elles sont classées. Le Professeur J.E.Dubois a développé un système nouveau qui permet d'accéder aux références relatives à des molécules chimiques de forme déterminée : au lieu de poser des questions successives, le chercheur peut dessiner les molécules qui l'intéressent, sur un écran interactif, et le système va chercher les références relatives aux molécules indiquées.*
- celles qui font partie intégrante d'un système informatique.*

*Il existe un cas intermédiaire entre les banques de données documentaires et celles qui sont partie intégrante d'un système informatique. A l'université de Paris V, le Professeur Coblenz a réalisé, avec le soutien de la DRME / DRET, une banque de données biométrique qui contient les dimensions des segments du corps de différentes catégories de la population française et étrangère. On y trouve également des facteurs génétiques, d'environnement, de nourriture en bas âge, etc. On peut aussi se poser la question de savoir où placer les commandes d'un appareil pour qu'elles soient le plus facilement accessibles.*

*Une telle banque de données peut donc, non seulement fournir l'information brute, mais aussi répondre à des questions plus complexes qui se rapprochent du traitement informatique. Ces banques de données interactives sont appelées à un avenir important. La banque de données Thermodata, du Professeur Bonnier à Grenoble, contient les données concernant les niveaux d'énergie des composants d'un gaz de combustion. En y associant un logiciel de calcul, on peut en déduire les propriétés qui résulteront de la combustion de tel type de produit pétrolier.*

*Parmi les évolutions à prévoir, en dehors des progrès en vitesse de calcul, il existe deux directions intéressantes :*

- vers un fonctionnement plus intelligent de l'ordinateur qui deviendrait capable de faire des associations d'idées, comme tout être humain ;*
- vers la mise en place des banques de données sur des supports peu coûteux, chez l'utilisateur lui-même.*

*L'évolution de la plupart des technologies est qu'après une période d'hypercentralisation, une décentralisation puisse être assurée, sans inconvénient pour l'efficacité économique.*

*Ces réflexions de celui qui fut le premier directeur scientifique de la DRME étaient prémonitoires. Il est heureux qu'elles aient soutenu l'effort de rénovation de la recherche qui fut alors entrepris au sein de la Défense.*

*Depuis la création de la DRME, le domaine des disciplines scientifiques et des technologies concernées n'a cessé de s'étendre. C'est ainsi que le traitement du signal, qui est nécessaire à l'ensemble des activités humaines à toutes les échelles, depuis l'étude des astres lointains et la conception des grands systèmes jusqu'à l'analyse fine des organes humains pour les progrès de la médecine, s'appuiera, non seulement sur l'informatique, mais aussi sur les nanotechnologies (nanocapteurs et nanoprocresseurs), sur les sciences cognitives (intelligence artificielle) et sur la biologie (sciences du cerveau). La formation par la recherche prédispose au rapprochement*

entre ces disciplines, en plein essor, dont la convergence sera la source de grands progrès.

## 6. CONCLUSION

La formation par la recherche conduit à des carrières de différents types. Certes, elle permet à un jeune de poursuivre longtemps son activité dans le même laboratoire et de former d'autres jeunes à la recherche, tout en continuant ses propres travaux scientifiques. Elle lui permet aussi d'étendre son domaine de recherche dans un autre laboratoire, en France ou à l'étranger, de façon à favoriser les contacts entre ces deux laboratoires et à créer des synergies entre eux. Il peut également aller dans l'industrie pour développer des produits incorporant les résultats de ses propres recherches ou de celles de son laboratoire.

La formation par la recherche peut aussi conduire à l'affectation dans un service technique d'une Direction de la DGA ou au sein d'un organisme industriel pour y lancer un programme d'étude d'un nouveau matériel. Elle peut également faciliter la participation à l'enseignement dans une école d'ingénieurs, pour y assurer la formation des élèves dans des domaines scientifiques ou techniques nouveaux.

La formation par la recherche, lorsqu'elle est effectuée au sein d'un laboratoire de renom, permet de faciliter les contacts entre les acteurs dans des domaines scientifiques différents, de mieux apprécier les progrès dans d'autres disciplines et de déceler les perspectives dans le monde toujours incertain des technologies.

Travailler en amont, c'est aussi faire grandir un tronc commun de connaissances qui peut ensuite faire jaillir plusieurs branches. C'est ainsi que la Mécanique des Fluides a donné naissance à l'hydrodynamique, puis à l'aérodynamique. De même, la physique des semi-conducteurs a produit la révolution numérique et a ouvert le domaine des applications des techniques de l'infrarouge. Le jeune formé par la recherche peut monter dans ce tronc commun pour acquérir une notoriété scientifique internationale, ou bifurquer dans une branche où il irriguera une panoplie de productions techniques novatrices.

Le tronc commun de connaissances est généralement à caractère dual. Il engendre des applications militaires aussi bien que des applications civiles, parfois dans des domaines apparemment éloignés. Nombreuses sont les retombées civiles des recherches militaires en électronique, en radar et en optique moderne. De même, le « tout-électrique » trouvera de multiples applications, militaires ou civiles. La robotique développée pour les drones aériens s'étend au monde du quotidien. Le spatial est totalement dual, comme le montrent les satellites de télécommunication, de navigation, d'observation ou de météorologie. Citons aussi les matériaux composites, mis au point pour l'aéronautique et pour les lanceurs spatiaux, qui se retrouvent dans nombre de produits « grand public ».

La formation par la recherche peut présenter des aspects différents selon les laboratoires où elle s'effectue. Les exemples cités en annexe qui portent sur les organismes de recherche en aérodynamique montrent qu'un grand chercheur peut et, même, doit être un grand formateur. D'autre part, pour un bon chercheur, enseigner est aussi un moyen, pour lui-même, d'approfondir ses connaissances et d'élargir l'horizon de ses travaux. Dialoguer, c'est échanger ; de ces échanges avec les collègues, les doctorants et les étudiants, peut naître des perspectives nouvelles. Ainsi la formation par la recherche est non seulement indispensable pour celui qui la reçoit, mais elle est aussi très bénéfique pour celui qui la procure.

Ces constatations ont un caractère général, comme nous l'avons vu en analysant la carrière exemplaire de Christian Bordé qui contribua à la création de laboratoires de recherche avec ses propres étudiants et qui fit, lors de ses échanges avec eux, de remarquables découvertes.

La prospective aérospatiale doit être entreprise par des équipes associant :

- des experts sachant approfondir les perspectives offertes par les progrès scientifiques et les avancées techniques, grâce à une analyse déductive rigoureuse de la progression du front d'avancement des connaissances dans un domaine sans cesse en expansion ; ces experts doivent parfaitement maîtriser la première dimension (progrès scientifiques et techniques) de la matrice tridimensionnelle du futur ;
- des généralistes sachant effectuer, par un processus inductif faisant largement appel à l'imagination et à l'esprit de créativité, la synthèse des possibilités des systèmes existants ou en projet, de façon à imaginer des associations nouvelles ayant des performances supérieures ; ces généralistes doivent dominer les constituants de la deuxième dimension (systèmes) de la matrice du futur ;
- des créateurs d'ensembles optimisés, sachant dégager les perspectives offertes, à la fois par les progrès scientifiques et techniques et par les nouveaux systèmes, en tenant compte de l'évolution, à long terme, du contexte général, grâce à un pouvoir d'intégration de données dans des domaines variés. Ces innovateurs intégrateurs opéreront dans la troisième dimension (nouveaux concepts) de la matrice du futur. Ils aboutiront, de plus en plus, à la réalisation de « familles » de systèmes ayant, en commun, des matériels, dont, seul, le logiciel doit être adapté au débouché spécifique. La durée du passage du stade du système virtuel initial à celui des systèmes réels pourra ainsi être notablement raccourcie. Ce concept de « familles » est très bénéfique, tant pour l'industriel que pour l'utilisateur.

Les drones sont à la charnière entre l'aéronautique et l'automatique, avec un large tronc commun s'appuyant sur la microélectronique numérique, l'optronique et le traitement de l'information. Les spécifications très rigoureuses dues à leur emploi aérien conduiront à leur réserver un rôle d'avant-garde analogue à celui que l'aéronautique a déjà exercé dans de nombreux domaines, tels que la CAO, la CFAO et CATIA, techniques qui se sont largement répandues dans de nombreux secteurs industriels.

Comme il a été signalé au début de ce document, le chercheur-type et l'innovateur-type sont, a priori, très différents et il est difficile de travailler à la fois « à la verticale » pour creuser de plus en plus profond dans la même voie, comme cela se fait souvent en recherche fondamentale, et aussi de balayer « à l'horizontale » le panorama des disciplines nouvelles, pour aboutir à des innovations.

Mais n'est-il pas concevable que le chercheur soit ensuite affecté dans un organisme de réflexion stratégique comme le fut le Centre de Prospective et d'Évaluations (CPE) du Ministère de la Défense, créé sous la direction de l'ICA Hughes de l'Estoile ? Il pourrait ainsi faire le point de disciplines autres que celle dont il est spécialiste. Ce temps consacré à une large analyse, faite avec un profond souci d'ouverture, pourrait aboutir à de réelles innovations, grâce à des contacts fréquents avec les opérationnels. Ce serait une sorte de formation par l'innovation qui compléterait la formation par la recherche.

L'innovation vient très souvent du contact direct « sur le terrain », comme c'est le cas avec l'innovation participative encouragée par la MIP. Ces innovateurs, souvent plus proches des réalisations que des activités de recherche, sont cependant dans la lignée

des grands pionniers, tels que Charles Renard, Albert Caquot ou encore Paul Dumanois, comme nous le verrons ci-après.

Associer davantage Recherche et Innovation pourrait dégager de nouvelles perspectives d'avenir, profitables aussi bien à la communauté scientifique qu'aux services officiels et aux industriels. L'évolution de l'aéronautique au cours du XXe siècle a été profondément marquée par des innovations majeures, tant sur le plan scientifique et technique que sur celui des structures industrielles et des organismes de coopération internationale. Ces innovations furent dues à des esprits prospectifs sachant deviner les perspectives offertes par les progrès techniques dans des secteurs variés. A la globalisation des techniques s'ajoute la nécessité de tenir compte de la compétition et de l'impact environnemental au plan mondial.

Quelle que soit la voie parcourue ensuite, la formation par la recherche est particulièrement féconde dans les disciplines en évolution rapide, notamment dans les domaines de l'Aéronautique et de la Défense. Nous présenterons, en annexes, des exemples d'Ingénieurs de l'Armement formés par la recherche qui ont suivi ces différentes voies, avec un succès incontestable.

## 7. ANNEXES

### 7.1. Précurseurs et pionniers français en recherche aéronautique

#### 7.1.1. Un grand précurseur : Charles Renard

Le capitaine du Génie Charles Renard (1847-1905) fut chargé, par la Commission des communications aériennes, d'étudier les possibilités d'emploi des aérostats. Il convainquit ses supérieurs de créer un établissement en dehors de Paris pour bénéficier de davantage d'espace et pour limiter les conséquences d'éventuels accidents.

En 1877, l'Etablissement central de l'aérostation militaire est créé dans une partie de l'ancien parc du château de Meudon dessiné vers 1690 par André Le Nôtre. Charles Renard en est nommé directeur. Il obtient de Léon Gambetta 200 000 francs-or, pour la première tranche des travaux.

Charles Renard s'attache à rendre les ballons plus opérationnels, en les perfectionnant et en facilitant la fabrication de l'hydrogène en campagne. En quelques années, est ainsi réalisé un matériel d'aérostation qui démontre ses qualités au cours des campagnes du Tonkin (1884), de Madagascar (1895), de Chine (1900) et du Maroc (1907).

Tout en dotant la France d'un parc de ballons captifs sphériques, Charles Renard étudia un dirigeable, « *La France* », long de 50 m. Celui-ci effectua son premier vol le 9 août 1884 : il parcourut un circuit de 7,6 km (aller-retour Meudon-Villacoublay) en 23 minutes. Equipé de gouvernes pour la profondeur et la direction, il était propulsé par une hélice entraînée par un moteur électrique de 8,5 CV. Charles Renard et Arthur Krebs avaient réussi le premier vol contrôlé de l'histoire de l'humanité. Les journaux se firent l'écho de cette prouesse et le *Moniteur universel* proclama :

*« C'est une grande gloire pour la nation française d'avoir complété la découverte de Montgolfier, en transformant la bouée aérienne en un navire dirigeable. Nous sommes à la veille d'une révolution complète de la locomotion aérienne ».*

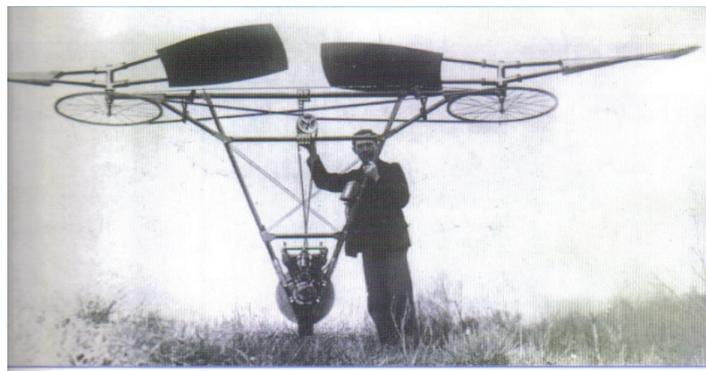
La percée technologique créée est telle qu'il faudra attendre vingt ans pour retrouver un dirigeable capable des mêmes performances.

Cependant Charles Renard reste convaincu de la supériorité des « plus lourds que l'air ». Il disait :

*« dès ma sortie de l'Ecole Polytechnique, j'étais partisan de l'aviation et j'avais le plus grand mépris pour les ballons ». Le 8 avril 1886, il prophétisa : « Les appareils plus lourds que l'air, qui auront nécessairement une vitesse bien plus grande que les ballons dirigeables, permettront de grands voyages avec une rapidité incroyable ».*

Charles Renard s'orienta alors vers les hélicoptères, en étudiant des hélices sustentatrices qu'il évalua avec une balance dynamométrique. En 1904, le Colonel Charles Renard essaya un modèle ayant deux rotors latéraux bipales, mus par un moteur à explosion, mais la sustentation était insuffisante pour permettre le décollage.

En 1904, également, il proposa un appareil combiné qui lui paraissait être une formule d'avenir : l'hélico-aéroplane qui permettrait les décollages et les atterrissages à la verticale.



*Charles Renard et son hélicoptère expérimental (1904)*

Associant constamment l'étude théorique, l'expérimentation au sol et les essais en vol, Charles Renard fut le grand fondateur de l'aérostation et un artisan majeur de la transition vers l'aviation. Il sut communiquer sa compétence, son enthousiasme et sa créativité à ses collaborateurs qui, à tous les niveaux, lui étaient très attachés. En ce qui concerne les essais au sol, il faut aussi citer les installations d'étude et de réception des moteurs et des hélices.

En France, les premières furent celles de Chalais-Meudon qui faisaient suite à celles du colonel Charles Renard. En 1916 y avait été édifiée la Station d'essais de moteurs. Une autre installation fut ensuite réalisée à Issy-les-Moulineaux, avant que soit entreprise, en 1937, la construction, à Orléans-Bricy, du Centre d'Essais des Moteurs (CEMO).

Grâce à Charles Renard et aux équipes qu'il a formées, le centre de Chalais-Meudon fut le premier organisme de recherche aérostatique, puis aéronautique, au monde.

### 7.1.2. Un grand pionnier en aérodynamique : Gustave Eiffel

En 1892, Gustave Eiffel (1832-1923) met fin à sa brillante carrière dans le génie civil. A 60 ans, il se passionne pour l'aérodynamique. Dans ce domaine, tout nouveau pour lui, Eiffel fait preuve d'un vaste esprit de synthèse et d'une remarquable intuition.

#### *Les essais à la Tour*

En 1904, Eiffel commence une série de travaux purement expérimentaux, en faisant tomber, depuis le deuxième étage de la Tour, des objets de formes variées, afin de déterminer la résistance de l'air. L'appareil de chute est fait d'un câble d'acier, le long duquel glisse un cylindre, comportant, fixé, par des ressorts étalonnés, l'objet à

essayer. En 1906, Eiffel vérifie la formule de Newton ( $R = KSV^2$ ), pour différents profils ou volumes. Il constate l'intérêt des corps élancés et met en évidence l'existence d'une dépression sur la face externe (extrados) et d'une surpression sur la face interne (intrados) des profils d'ailes.

En 1907, Gustave Eiffel est prêt pour effectuer des essais destinés à l'aviation naissante. Le choix était à faire entre des essais de profils d'ailes, montés sur un véhicule mobile, des essais sur des profils fixés sur une plateforme le long d'un câble oblique, ou encore des essais sur des profils placés dans une veine de soufflerie.

Gustave Eiffel considéra, tout d'abord, la deuxième solution, en envisageant de tendre un câble de 500 m de long, depuis le premier étage de la Tour jusqu'à un mât de 20 m de haut fixé au milieu du Champ de Mars. Il était encouragé, dans cette voie, par Ferdinand Ferber, qui, au Centre de Chalais-Meudon, utilisait un dispositif analogue pour déterminer les caractéristiques aérodynamiques de maquettes d'aéroplanes.

Mais la municipalité de Paris s'opposa à ce projet qui, selon elle, dénaturait la perspective du Champ de Mars. En conséquence, Eiffel opta pour la solution « soufflerie ». Elle présentait, à ses yeux, l'avantage de fournir des résultats plus répétitifs et moins sujets aux aléas atmosphériques.

### *Les souffleries*

A cette époque, les souffleries, installées, pour la plupart, dans des universités, consistaient en des tunnels, en anglais « *wind-tunnels* », cylindriques où l'air était soufflé par un ventilateur placé en amont de la maquette à essayer. La vitesse de l'écoulement ne dépassait pas 10 m/s et le diamètre de la veine était inférieur à 1 m. Gustave Eiffel estima que ces caractéristiques étaient insuffisantes pour évaluer les possibilités des aéroplanes qui dépassaient déjà largement les 20 m/s.

Eiffel conçut donc un dispositif comprenant une veine cylindrique de 1,5 m de diamètre, où l'air, au lieu d'être soufflé, était aspiré par un ventilateur très puissant qui permettait d'atteindre une vitesse de 20 m/s. Du fait que le ventilateur était placé en aval de la veine d'essai, l'écoulement dans celle-ci n'était pas perturbé par les irrégularités dues aux pales. Cette disposition était bénéfique pour l'uniformité de l'écoulement sur la maquette. Gustave Eiffel installa cette « soufflerie » (vocabulaire incorrect, car il s'agit d'un aspirateur, le terme anglais *wind-tunnel* est plus correct) au pied de la Tour, pour bénéficier de l'énergie électrique qui lui était fournie. Avec l'aide de Léon Rith,

Eiffel réalisa, de 1907 à 1911, plus de 5 000 essais sur la résistance de l'air et sur les applications à l'aviation. Parmi ces essais, nombreux sont ceux qui furent consacrés aux ailes définies par les constructeurs, et, à partir de 1910, à des modèles d'aéroplanes complets qu'Eiffel se procurait auprès des constructeurs et des inventeurs. Les valeurs de la portance et de la traînée étaient portées, en fonction de l'incidence, sur un diagramme que Léon Rith baptisa de « polaire ». Eiffel découvrit ainsi la valeur de l'incidence au-delà de laquelle l'aile perd sa portance : c'est le phénomène de décrochage qui était alors mal connu.

Tous ces résultats furent publiés en 1910 dans un ouvrage intitulé : « *Recherches sur la résistance de l'air et l'aviation, effectuées au Laboratoire du Champ de Mars* ». Ceci lui donna rapidement une notoriété internationale. En 1912, la Ville de Paris demande à Gustave Eiffel de libérer le terrain qu'il occupe depuis cinq années au Champ de Mars. Eiffel décide alors de créer un autre laboratoire à Auteuil et de l'équiper avec une soufflerie plus puissante et plus grande, avec, pour objectif, d'obtenir des vitesses de 30 à 40 m/s, dans une veine de 2 m de diamètre.

Ceci exigerait une puissance de 400 CV pour le ventilateur, si l'écoulement s'effectuait totalement dans une veine cylindrique, comme c'était le cas dans la première soufflerie. Pour éviter cela, Eiffel met au point un dispositif avec un collecteur d'entrée en forme d'entonnoir, le convergent, qui accroît la vitesse de l'air, et un cône divergent qui ralentit l'air avant le ventilateur. La maquette est placée dans la veine d'essais proprement dite qui est cylindrique.

Grâce à ce dispositif, la puissance nécessaire n'est plus que de 50 CV. La nouvelle soufflerie ainsi installée à Auteuil est, en 1912, la plus puissante au monde. Eiffel, assisté de Léon Rith et d'Antonin Lapresle réalise près de 10 000 expériences. Les résultats publiés à la veille de la Première Guerre mondiale sont considérables et Eiffel obtient la consécration, notamment par la médaille d'or Langley que lui décerne, en 1913, la *Smithsonian Institution*. D'autre part, le dispositif conçu par Eiffel pour la soufflerie d'Auteuil est bientôt adopté dans les services et instituts étrangers, à Moscou, à Rome, aux Etats-Unis et au Japon. Eiffel a pris soin de le protéger par un brevet qui dégagera vite de gros bénéfices. Jusqu'en 1920, seule la soufflerie de Göttingen, mise au point par Ludwig Prandtl, connaît un succès commercial équivalent à celle d'Eiffel.

Pendant cette période initiale, la qualité des résultats en soufflerie ne semblait liée qu'à celle de l'écoulement, dont la régularité et l'uniformité dans la section de la veine constituaient les critères essentiels. Mais, en 1912, intervint un nouveau critère, le « nombre de Reynolds ». L'intérêt du nombre de Reynolds pour l'aviation apparut, lors d'une controverse entre Gustave Eiffel et Ludwig Prandtl. Cette controverse, qui aboutissait au triomphe d'Eiffel sur Prandtl, eut un retentissement immédiat : à partir de 1912, tous les laboratoires aérodynamiques se sont dotés de souffleries dont la veine était suffisamment large pour permettre les essais sur des maquettes de l'ordre du mètre (au lieu du décimètre) et à des vitesses beaucoup plus élevées.

Au déclenchement de la guerre, en 1914, le laboratoire d'Auteuil est mis au service de la Défense nationale. Il confirme rapidement ses performances. Ses études sur la stabilité, ainsi que ses résultats concernant les caractéristiques aérodynamiques des modèles d'avions militaires, tels que le SPAD ou le Breguet XIV, sont du plus haut intérêt. En 1917, Gustave Eiffel propose au Service technique aéronautique militaire la construction d'une soufflerie encore plus puissante (800 CV, diamètre 4 m, vitesse 64 m/s). Celle-ci sera édifée à Issy-les-Moulineaux.

Ainsi, la deuxième carrière de Gustave Eiffel, moins connue du grand public que celle qu'il avait consacrée au génie civil, fut aussi prestigieuse et aussi porteuse d'avenir. Nous évoquerons ci-dessous la synergie qu'on peut souligner entre ces deux carrières, comme ce fut le cas pour Albert Caquot.

### 7.1.3. Grands visionnaires

#### *Paul Painlevé (1863-1933)*

Cet éminent mathématicien est très tôt un ardent défenseur de l'aviation. Il est le premier passager français de Wilbur Wright, le 10 octobre 1908, au camp d'Auvours, lors d'un vol au cours duquel est battu le record de distance en circuit fermé (58 km en 1 h 9 mn 45 s). Paul Painlevé enseigne la Mécanique à l'Ecole supérieure d'aéronautique et de construction mécanique, dès sa création en 1909 par le Colonel Jean-Baptiste Roche.

Elu député, Paul Painlevé se spécialise dans les questions militaires et devient, pendant la Grande Guerre, Ministre de la Guerre et Président du Conseil. Il double l'importance de l'artillerie lourde, lance la production de 3 000 chars et crée de nouvelles escadrilles aériennes. Paul Painlevé achève sa carrière politique comme

Ministre de l'Air en 1930-1931 et en 1932-1933 et pose la première pierre du Ministère de l'Air, en bordure de l'historique terrain d'Issy-les-Moulineaux, berceau de l'aviation française.

### *Robert Esnault-Pelterie (1881-1957)*

Après avoir essayé un planeur de type Wright, Robert Esnault-Pelterie propose de remplacer le gauchissement des ailes par de petites surfaces indépendantes placées aux extrémités de la voilure. Le 22 janvier 1907, il dépose un brevet concernant le « manche à balai ». Le 10 octobre 1907, Robert Esnault-Pelterie effectue un vol avec un monoplane de sa conception, équipé de ce dispositif de commande et d'un amortisseur hydropneumatique pour le train d'atterrissage.

Avec le REP n° 2, il vole, le 18 juin 1908, sur 1 200 m à l'altitude de 50 mètres. La même année, il fonde l'« Union nationale des industries aéronautiques » et devient le commissaire général des premiers « Salons de la locomotion aérienne ». Il obtient le brevet de pilote n° 4 (après Louis Blériot, Glenn H. Curtiss et Léon Delagrangé). En 1914, il fournit à l'Armée française deux escadrilles de ses monoplans.

En outre, dès 1907, Robert Esnault-Pelterie s'intéresse à la propulsion par réaction et envisage les voyages interplanétaires par fusées. Il crée le Prix REP-Hirsch pour récompenser les meilleurs travaux sur les fusées et la navigation spatiale. Le premier lauréat de ce prix sera l'Allemand Herman Oberth. Robert Esnault-Pelterie se consacre ensuite principalement sur la propulsion par réaction et envisage la réalisation de fusées à essence-oxygène, avec un projet de moteur développant une poussée de 300 daN pendant 55 secondes. Robert Esnault-Pelterie est l'un des pères de l'Astronautique.

### *Albert Caquot (1881-1976)*

Albert Caquot fut, à la fois, un remarquable expert des ouvrages de génie civil en béton armé et un visionnaire de l'aérostation et de l'aéronautique. Il sort de l'Ecole Polytechnique dans le corps des Ponts et Chaussées et effectue son service militaire dans un bataillon d'aérostiers du Génie. Ce choix sera décisif pour sa carrière qui se déroulera, de façon alternée, d'une part dans le génie civil, d'autre part dans l'aéronautique.



Au cours de son année de service militaire (1901-1902), il étudie la stabilité des dirigeables et analyse la résistance des étoffes et des membranes. Il assiste à une conférence du Colonel Charles Renard sur l'avenir de l'aviation, à une époque où le moteur d'avion n'existait pas encore.

A l'Ecole des Ponts et Chaussées, il fait partie de la même promotion que Eugène Freyssinet. Tous deux feront beaucoup progresser le béton armé. Cependant Albert Caquot reste passionné par la locomotion aérienne et présente, en janvier 1911, à la Société Académique de l'Aube, un mémoire dans lequel il prophétise sur l'avenir de l'aviation, en disant :

« Là où la route et le chemin de fer n'existent pas ou ne peuvent être utilisés, l'aéroplane est supérieur aux autres modes de transport. Son application s'impose comme avant-coureur de la civilisation ». Il souligne également les possibilités militaires : « Le navire aérien sera l'œil de l'armée et jouera un rôle immense ».

Le 1<sup>er</sup> août 1914, Albert Caquot est mobilisé comme lieutenant d'aérostiers, à Toul. Il constate bientôt la fragilité des témoignages des observateurs sur ballons sphériques qui sont atteints de nausées, même par vents faibles. Il conçoit un ballon fuselé doté d'empennages, dont il envoie, en octobre 1914, les plans à l'Établissement de Chalais-Meudon. Le Général Hirschauer, directeur de l'aviation au Ministère de la Guerre, fait effectuer des essais comparatifs de ballons sphériques, de copies de ballons allongés allemands type Drachen et du ballon fuselé Caquot. Celui-ci restait stable par vent de 25 m/s, alors que le Drachen ne le restait que jusqu'à 15 m/s et le ballon sphérique qu'à 10 m/s. Ces bonnes performances du ballon Caquot étaient dues à sa conception : allongement de 3 (pour optimiser l'écoulement et la tenue de l'étoffe) et empennage souple à trois lobes.

Les performances du ballon Caquot étaient telles que l'Amirauté britannique l'acheta et le fit développer en France, en vue de protéger ses navires. En effet, la *Royal Navy* avait gagné la bataille du Jutland, parce que sa flotte était plus importante et plus puissante que la flotte allemande, mais elle avait eu des pertes supérieures, car l'artillerie de la flotte allemande était guidée par des Zeppelins. Il fallait trouver une parade avec le ballon Caquot. Pour cela, il devait être utilisable jusqu'à 35 m/s (pour tenir compte de la vitesse du navire) et être relié au navire par un câble à tension constante.

Albert Caquot optimisa la forme de son ballon, à partir d'essais dans la soufflerie Eiffel. Les ballons Caquot furent utilisés par la *Royal Navy* sur des cuirassés, puis sur des torpilleurs, non seulement pour régler les tirs d'artillerie, mais aussi pour repérer les sous-marins allemands en Mer du Nord, peu profonde. Comme les pertes, par torpillage, de la Marine Nationale étaient devenues supérieures à celles de la *Royal Navy*, une mission française fut envoyée à Londres pour élucider ce mystère. Elle en découvrit la raison : c'était le ballon Caquot, avec son treuil.

Albert Caquot fut envoyé à Brest, en 1917, pour y reproduire son action de 1916 en Angleterre. Les résultats des ballons Caquot furent tels que Hindenburg déclara, en juillet 1918, que « l'attaque des convois alliés par des sous-marins allemands équivalait à un suicide ». Pendant ce temps, sur le front français, le rôle des ballons d'observation était devenu très important, notamment au cours de la bataille de Verdun. En France, la production mensuelle de ballons passa de 7 en 1915, à 320 à la fin des hostilités. Les ballons Caquot furent aussi utilisés par les Britanniques pour protéger Londres contre les bombardiers allemands.

Chaque barrage consistait en trois ballons captifs Caquot, séparés d'environ 500 m, reliés par un câble horizontal auquel étaient suspendus verticalement des câbles d'acier de 300 m de long à 25 m d'intervalle. A la fin de la guerre, il y avait, en France, dix barrages de ce genre. Albert Caquot, promu Chef de Bataillon le 14 octobre 1917, fut nommé Directeur Technique de l'Aviation, par Georges Clemenceau, Chef du Gouvernement, le 11 janvier 1918.

Remarquable ingénieur et excellent organisateur, Albert Caquot eut une action décisive pour placer, en 1918, l'aviation française au premier rang mondial. Le 13 février 1919, il reçut de Georges Clemenceau, une lettre qui disait :

« Grâce à vos qualités d'Ingénieur et de Chef, vous avez su, malgré des difficultés matérielles sans cesse renaissantes, donner à notre armée aérienne les outils de sa victoire. La France vous doit beaucoup ; en son nom, je vous remercie ».

Avant de dire adieu à l'Aéronautique (adieu qu'il croyait définitif), Albert Caquot proposa au gouvernement de créer un « Conservatoire de l'Aéronautique, pour garder à la France ces richesses inestimables constitués par les premiers appareils, sauvés ainsi de la destruction prochaine ». Telle fut l'origine du Musée de l'Air (une innovation, car c'était le premier musée aéronautique au monde) qui est devenu le Musée de l'Air et de l'Espace, installé au Bourget.

En 1919, Albert Caquot revient à sa carrière de constructeur de grands ouvrages en béton armé. Pendant neuf années, il mène, de pair, cette activité de réalisateur de ponts et de barrages et celle de chercheur et de professeur. Cependant, Albert Caquot n'oublie pas l'aéronautique.

En 1927, au cours d'un dîner-débat, organisé par le comité de propagande aéronautique constitué par le Maréchal Lyautey, il expose un programme détaillé des progrès souhaitables et des moyens pour y parvenir. En 1928, le mouvement d'opinion ainsi suscité aboutit à créer un « Ministère de l'Air » qui fut confié à André Laurent-Eynac, parlementaire et ancien aviateur de 1914-1918. Celui-ci crée, pour Albert Caquot, le poste de Directeur Général Technique, où il œuvrera jusqu'en 1933. Toujours soucieux de l'avenir à long terme, il transforme l'Ecole Supérieure d'Aéronautique et de Construction mécanique, qui avait été fondée en 1909 par le Colonel Jean-Baptiste Roche, en Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique (actuellement Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace).

Albert Caquot crée, au sein de sa Direction Générale Technique, un Service des Recherches. Il suscite la fondation d'Instituts de Mécanique des Fluides et provoque la coopération entre l'Université et l'Industrie. Il décide la réalisation d'une grande soufflerie de type Eiffel à Chalais-Meudon. Son activité de Directeur Général Technique s'exerce dans tous les domaines, depuis l'amont jusqu'aux applications. Il fait développer la suralimentation des moteurs pour élever le « plafond » des avions. Il organise la production en série et les essais en vol. Il décide un soutien industriel pour laisser aux bureaux d'études l'entière liberté de conceptions nouvelles.

Cette « Politique des prototypes » aurait pu conduire à une véritable renaissance de l'aéronautique française si on avait donné à Albert Caquot le temps nécessaire pour rénover les structures industrielles. Mais l'instabilité ministérielle de la III<sup>ème</sup> République ne le permit pas et les ministres de l'Air qui succédèrent à Laurent-Eynac supprimèrent les recherches et réduisirent les crédits pour les prototypes.

Albert Caquot se retire en 1933 pour reprendre ses études d'ingénieur-conseil en ouvrages d'art. L'ensemble de son activité scientifique est couronné par son élection à l'Académie des Sciences en 1934. Il établit les projets de nombreux ponts, ainsi que celui de la forme « Jean Bart » à Saint-Nazaire. Celle-ci marque un tournant dans la construction navale, car elle permet la réalisation de grands navires en bassin de radoub et non plus sur plan incliné. C'est dans cette forme que fut construit le cuirassé « Jean Bart » qui put s'échapper, en juin 1940, juste avant l'arrivée des Allemands.

En 1937, Albert Caquot est élu "Honorary fellow" de l'*Institute of Aeronautical Sciences*, des Etats-Unis ; cette haute distinction n'avait été conférée qu'à cinq membres étrangers.

Au lendemain de la Conférence de Munich, en septembre 1938, Edouard Daladier, Président du Conseil, demande à Albert Caquot de prendre la direction des six

sociétés nationales d'aviation, dont la production n'est pas à la hauteur des espoirs engendrés par leur nationalisation.

En juillet 1939, le Ministre de l'Air, Guy la Chambre, nomme Albert Caquot Directeur Général Technique et Industriel. Il reprend ainsi le poste qu'il avait eu en 1928, mais il conserve la présidence des sociétés nationales. Il veut entreprendre un programme de fabrications en grande série pour rétablir l'équilibre avec l'industrie aéronautique allemande qui a cinq ans d'avance, mais, ne se sentant pas soutenu par l'Etat-Major de l'Air dans ses demandes de crédits, il quitte, en mars 1940, son poste de Directeur Général Technique et Industriel. Cependant, en tant que Président des six sociétés nationales, il a la satisfaction de voir s'accélérer la production, mais c'est trop tard pour empêcher la Luftwaffe d'avoir la maîtrise de l'air en mai-juin 1940.

Après 1945, Albert Caquot établit le projet de nombreux ouvrages de génie civil et apporte son concours à EDF pour la fermeture du barrage de l'usine marémotrice de la Rance. Albert Caquot a réalisé, au cours de sa carrière, plus de 300 ponts en béton armé, dont plusieurs furent des records mondiaux de portée.

Albert Caquot fut aussi l'apôtre de la normalisation industrielle : il développa et normalisa les « séries Renard », présida l'AFNOR et, de 1949 à 1952, l'Association Internationale de Normalisation (ISO). Il présida, de 1949 à 1962, le Comité scientifique de l'ONERA. Excellent professeur, il enseigna à l'Ecole Nationale des Mines, à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées et à Sup'Aéro. Avec le Professeur Robert Debré, il considérait que le travail est l'élément principal d'une retraite heureuse : « *Le cerveau est comme un muscle qu'il faut constamment exercer* ».

L'analyse des carrières de Gustave Eiffel et d'Albert Caquot conduit à étudier la synergie entre des activités dans des domaines très différents, qui sont, dans ces deux exemples, l'Aéronautique et le Génie civil.

- Pour Gustave Eiffel, il n'est pas douteux que la sensibilité, aux vents, des ponts et de la Tour fut, pour lui, une préoccupation constante au cours de sa carrière dans le génie civil. L'idée d'utiliser la Tour elle-même, au début de ses essais d'aérodynamique, conduisit Eiffel à élaborer des méthodes instrumentales qu'il perfectionna ensuite dans ses souffleries. Comme ces essais intervenaient au début de l'aviation, Gustave Eiffel devint ainsi le pionnier de l'aérodynamique expérimentale. Il est intéressant de noter que, par la suite, les ponts suspendus et les avions eurent, en commun, des problèmes d'aéroélasticité que le professeur Yves Rocard analysa d'une façon détaillée. Ces phénomènes de vibrations dues à l'aéroélasticité, nommées « flottement » ou « *flutter* », nécessitèrent des essais en soufflerie aussi bien pour les ponts suspendus que pour les avions. Ainsi, deux domaines, qui étaient a priori éloignés, pouvaient avoir des problèmes communs et bénéficier de recherches communes.
- Pour Albert Caquot, le fait d'avoir mené, en alternance, deux carrières dans des domaines très différents fut aussi une grande chance. Cela lui permit de reprendre, à la base, l'étude de problèmes communs en ce qui concerne la résistance des matériaux et la normalisation, mais, surtout, cela le conduisit à approfondir les voies de la recherche et les méthodes d'enseignement dans ces deux domaines, à une époque où ils subissaient de grandes transformations. Pendant les périodes de sa carrière consacrées au Génie civil, Albert Caquot ne perdait pas de vue l'Aéronautique. Bien au contraire, il prenait le recul nécessaire pour envisager l'avenir, en étant dégagé des contingences du quotidien. Il pouvait ainsi reprendre, au pied levé, d'importantes fonctions dans l'aviation et dégager immédiatement des perspectives nouvelles.

Les carrières qu'accomplirent Gustave Eiffel et Albert Caquot ont eu, toutes deux, un impact considérable dans les deux domaines, le Génie civil et l'Aéronautique. Deux ingénieurs hors du commun, ayant tous deux la volonté de réalisations techniques parfaites, avec le souci de la sécurité et une grande vision de l'avenir. Deux vies aussi fructueuses que longues (92 ans et 95 ans), à cinquante années d'intervalle !

#### 7.1.4. Grands scientifiques

##### *Louis Néel (1904-2000), un « Prix Nobel » très ouvert à la Défense*

Admis à l'Ecole Normale Supérieure en 1924, Louis Néel fut reçu premier à l'agrégation de physique en 1928. La même année, le Professeur Pierre Weiss lui demanda d'être son assistant à la Faculté des Sciences de Strasbourg. A cette époque, les corps étaient classés, en ce qui concerne le magnétisme en trois catégories : les diamagnétiques, les paramagnétiques et les ferromagnétiques. Cette classification résultait des travaux de grands savants français, Curie, Langevin, Weiss.

La théorie de Weiss permettait d'interpréter les propriétés de ferromagnétiques tels que le fer, le cobalt et le nickel. Mais un grand nombre de métaux n'obéissent pas à la loi de Curie-Weiss. Louis Néel entreprit une étude systématique des métaux et de leurs alliages, à l'aide de modèles de chaînes d'atomes, dont le moment magnétique pouvait être parallèle ou antiparallèle à la direction du champ magnétique appliqué. Il expliqua ainsi l'existence de deux points de Curie et interpréta le paramagnétisme constant du manganèse et du chrome dans des solutions solides étendues. Ces résultats lui permirent de soutenir brillamment sa thèse de Docteur ès Sciences en 1932.

Poursuivant ses études sur les corps à interactions magnétiques complexes, Louis Néel envisagea l'existence de sous-réseaux avec deux ferromagnétiques entrelacés ayant des aimantations égales et opposées. Lorsqu'elles sont soumises à un champ magnétique, elles se réorientent en acquérant une aimantation résultante parallèle, proportionnelle au champ. Louis Néel prévoyait ainsi l'existence d'une nouvelle catégorie de corps magnétiques. Ceux-ci furent effectivement découverts, en 1938, au laboratoire du CNRS-Bellevue et furent dénommés « antiferromagnétiques ».

Mobilisé en 1939, Louis Néel fut chargé par le Directeur du CNRS de l'assister dans sa mission de coordination des recherches des universités avec les services techniques des Armées. Louis Néel s'intéressa à la détection infrarouge qui correspondait à des besoins militaires. Il installa, à Meudon-Bellevue, un laboratoire de photoélectricité qui prit un grand essor, avec, notamment, les photocathodes de Lallemand.

Mais c'est dans son domaine principal de compétence, le magnétisme, que Louis Néel eut ensuite à intervenir. A la demande de l'Etat-Major de la Marine, il fut envoyé à Toulon pour améliorer la protection des navires contre les mines magnétiques allemandes qui avaient infligé de grosses pertes à la Royal Navy. Il importait de se prémunir contre le mouillage de mines allemandes à proximité de nos bases navales. Louis Néel mit rapidement au point une méthode de neutralisation grâce à des courants électriques réglés à une valeur telle que l'aimantation rémanente soit la même que celle due à la composante verticale du champ magnétique terrestre. Cette méthode permit de neutraliser, vis-à-vis des mines magnétiques, 520 navires, à Brest, Cherbourg, Dunkerque, le Havre et Toulon.

En octobre 1940, Louis Néel fut affecté à l'Institut Polytechnique de Grenoble où il s'intéressa aux alliages très perméables, tels que les permalloys et aux alliages très durs pour aimants permanents, tels que les alnicos. Il s'attacha à l'étude des champs démagnétisants internes.

L'étude des grains très fins, monodomaines le conduisit à mettre en évidence l'existence de « phases », au sein desquelles tous les domaines possèdent des aimantations spontanées de même direction. En 1946, Louis Néel développa une théorie générale du champ coercitif, tenant compte des tensions internes et des champs de dispersion des inclusions.

Mais ce sont surtout ses travaux sur les ferrites spinelles qui eurent les conséquences pratiques les plus importantes. Leurs propriétés magnétique se rapprochent de celles des antiferromagnétiques par leur subdivision en deux sous-réseaux, à aimantations spontanées opposées. Louis Néel leur donna le nom de « ferrimagnétiques ». , dont les grenats de terres rares sont le plus bel exemple. En 1970, le Prix Nobel de Physique fut attribué à Louis Néel pour « *ses recherches et découvertes fondamentales concernant l'antiferromagnétisme et le ferrimagnétisme qui ont des applications importantes dans la physique du solide* ».

Parallèlement à cette intense activité scientifique, Louis Néel créa des organismes de recherche et d'enseignement supérieur. Sous son impulsion, le CNRS et l'Université de Grenoble créèrent en 1946 le Laboratoire d'Electrostatique et de Physique du Metal (LEPM). Louis Néel en assura la direction, de 1946 à 1971, date à laquelle cet organisme très fécond fut scindé en quatre laboratoires distincts, s'occupant respectivement d'électrostatique, de rayons X, de lames minces, de magnétisme. La direction de ce dernier fut confiée à Louis Néel. En outre, il exerça, à partir de 1954, la direction de l'Institut Polytechnique de Grenoble (IPG), puis, de 1969 à 1975, la présidence de l'Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG).

En France, la très haute qualité des travaux théoriques et expérimentaux de Louis Néel dut reconnue, dès 1953, par son élection à l'Académie des Sciences. En outre, le 1<sup>er</sup> janvier 1956, une décision conjointe de Pierre Guillaumat et de Francis Perrin, respectivement Administrateur général et Haut Commissaire du CEA, créa le Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble (CENG) et en confia la direction à Louis Néel. Cette très importante fonction, jointe à celle de directeur de l'IPG, lui permit d'établir des rapports très étroits entre les chercheurs, les enseignants et les ingénieurs, ainsi qu'avec les industriels grenoblois.

Le magnifique essor du CENG doit beaucoup à Louis Néel et à la brillante équipe dont il s'entoura. Parmi ceux-ci, il faut citer Bernard Delapalme, ingénieur du Génie Maritime, qui seconda, avec beaucoup d'efficacité, Louis Néel, dans la construction, l'organisation et la gestion du CENG. Pour animer les services techniques du CENG, Delapalme fit appel à des officiers de Marine de grande valeur, tels que Hubert Dubedout, futur maire de Grenoble, Guy Deniérou qui fonda, par la suite, l'Université Technologique de Compiègne et Michel Cordelle qui fut chargé de diriger le laboratoire d'électronique.

Ce laboratoire devint, en 1967, le Laboratoire d'Electronique et de Technologie de l'Informatique (LETI) . Sous la direction de Cordelle, puis de Lacour, et ensuite de Randet, le LETI obtint de nombreux succès dans les composants, les mémoires, l'imagerie médicale, la détection infrarouge, l'instrumentation et la conception de systèmes. Le CENG, dont la croissance fut rapide, devint bientôt un fleuron, aussi bien du CEA que de la ville de Grenoble.

En outre, Louis Néel, conscient de l'intérêt de sources puissantes de neutrons pour des applications variées, allant de la physique à la biologie, proposa aux ministres de la Recherche français et allemand, de créer un Institut franco-allemand équipé d'un réacteur à haut flux qui serait implanté à Grenoble.

Ce fut l'Institut Laue-Langevin (ILL), inauguré en 1969. Dirigé par un Allemand, assisté d'un sous-directeur français, l'ILL était au service des physiciens des deux pays. Son succès fut très rapide, de sorte que le Royaume-Uni y adhéra en 1979.

Cette réussite de la coopération franco-allemande fut un argument majeur pour la décision, en 1985, d'implanter, à Grenoble, le Laboratoire européen de rayonnement synchrotron (ESRF). Du fait de sa vaste compétence et de sa large ouverture d'esprit, Louis Néel fut sollicité pour faire partie de nombreux conseils et commissions.

Ce fut le cas, notamment, au CNRS, à l'Ecole Polytechnique et à l'Institut Français du Pétrole. En 1973, le gouvernement lui demanda de présider le Conseil Supérieur de la Sécurité Nucléaire qu'il venait de créer. Dans cette fonction, il s'attacha à entreprendre une analyse approfondie du fonctionnement des centrales nucléaires en cours de réalisation. Ce fut l'occasion, pour Louis Néel, de démontrer, une nouvelle fois, l'ampleur de ses qualités humaines et de ses facultés de dialogue avec des interlocuteurs d'origine et de formation variées, en étant toujours soucieux aussi bien de la sécurité que de l'efficacité.

Ses multiples responsabilités n'empêchèrent pas Louis Néel de s'intéresser aux relations entre la Science et la Défense. Il avait gardé un excellent souvenir de sa collaboration avec la Marine Nationale en 1940. Aussi accepta-t-il volontiers, en 1949, de superviser, à la demande de l'Ingénieur général Schennberg, les circuits d'immunisation magnétique du futur porte-avions Clemenceau. Cette opération fit l'objet d'un contrat entre la Marine et la Faculté des Sciences de Grenoble qui créa le Laboratoire de Magnétisme du Navire (LMN) dont Louis Néel exerça la direction jusqu'en 1956. Toute cette activité lui valut, en 1952, le titre de Conseiller scientifique de la Marine Nationale. D'autre part, pendant vingt ans, à partir de 1960, il représenta la France au comité scientifique de l'OTAN. Il participa ainsi aux réunions pour l'attribution de bourses aux jeunes chercheurs voulant se perfectionner à l'étranger et à celles octroyant des subventions pour organiser des cours d'été, sur le modèle de l'école de physique théorique des Houches.

Pendant une quinzaine d'années, à partir de 1965, Louis Néel fit partie du Comité d'Action Scientifique de la Défense (CASD) où étaient exposés les principaux problèmes posés à la Défense par les nouvelles découvertes scientifiques.

En 1983, André Rousset, conseiller scientifique de Charles Hernu, Ministre de la Défense, consulta Louis Néel pour l'organisation du Prix Science et Défense. La présidence du jury lui fut confiée. Louis Néel attachait une grande importance à la qualité des travaux soumis au jury et aux retombées civiles éventuelles. Pour Louis Néel, il n'était pas question de cloisonnement, ni de séparer recherche fondamentale et les applications. Ses relations avec les industriels étaient nombreuses et fécondes. Il était attentif aux problèmes rencontrés, aussi bien au stade de l'étude qu'à celui de la fabrication. C'est ainsi qu'Ugine put remplacer la fabrication d'aimants au cobalt (non disponible sur le marché) par celle d'aimants à grains de fer dispersés dans une matrice amagnétique.

Comme il l'écrit dans son livre « Un siècle de physique », la liaison entre la recherche fondamentale et la recherche appliquée, la coopération entre l'Université et les entreprises, la coopération CEA-CNRS, le développement de la recherche dans les écoles d'ingénieurs furent les idées forces de sa vie professionnelle. A cela, il faut ajouter son souci de coopérer avec les services de la Défense, notamment avec la Marine Nationale, dont il fut l'un des conseillers scientifiques. Louis Néel assura, en outre, la présidence du jury du prix Science et Défense, dès sa création en 1983.

Eminent scientifique, reconnu au plan mondial par le jury du Prix Nobel et par de nombreuses universités qui l'ont nommé « Docteur honoris causa », Louis Néel est un des grands physiciens du XXème siècle.

### ***Robert Fortet (1912-1998)***

**Témoignage du Professeur Maurice Bouix, ancien directeur du CETHEDDEC (1998),**

Robert Fortet, ancien élève de l'Ecole Normale Supérieure, fut professeur à l'Université de Paris VI, dans la chaire de probabilités et dirigea le Laboratoire de Probabilités. Le calcul des probabilités avait été développé en France par Henri Poincaré, puis par Emile Borel. Il suscita un certain intérêt chez les chercheurs français, mais la statistique théorique, qui emploie son formalisme et qui a de nombreuses applications pratiques, avait intéressé les scientifiques à l'étranger, en particulier au Royaume-Uni, mais peu en France.

On doit son développement en France à Georges Darmais qui créa, pour en traiter les applications, un laboratoire de calcul numérique, bien avant l'apparition des ordinateurs. Robert Fortet fut l'un de ses élèves et lui succéda dans sa chaire et poursuivit ses travaux en probabilités et en statistique. Un ouvrage important intitulé « Théorie des fonctions aléatoires » rédigé par A.Blanc-Lapierre et R.Fortet fit le point des connaissances sur ces questions en 1956. En 1957, le Colonel Paul Chanson organisa une réunion, à laquelle je participais avec Robert Fortet et d'autres scientifiques, sur les problèmes militaires de la communication, de la détection et du signal. A la suite de cette réunion, Robert Fortet fut sollicité pour être conseiller de la DRME. Celle-ci, comme la DRET qui lui succéda, incluait le CETHEDDEC (Centre d'Etudes Théoriques de la Détection et des Communications).

Des groupes d'études furent constitués avec des professeurs, des chercheurs et des ingénieurs militaires et civils. Ils se tinrent en liaison constante avec l'ETCA (Etablissement Technique Central de l'Armement), qui relevait de la DRET, et avec les services techniques de l'Aéronautique, des Constructions navales, des Fabrications d'Armement, ainsi qu'avec le Centre National d'Etudes des Télécommunications (CNET), l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA), le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) et ses sociétés comme Thomson, Dassault, Aérospatiale et MATRA.

Ces groupes d'études travaillaient aussi avec le Groupe de Recherches et d'Etudes du Traitement du Signal (GRETSI) pour les recherches sur la détection sous-marine. Le domaine d'étude couvrait le radar, le sonar, les communications, le traitement numérique du signal, ainsi que la vision nocturne, la propagation, l'interférence électromagnétique et s'étendait aussi aux applications médicales. La plupart de ces travaux ont fait l'objet d'articles parus dans le Revue du CETHEDDEC.

Les recherches théoriques et appliquées avaient pour finalité d'assurer un outil permettant une communication fluide et fiable sur le champ de bataille. A titre d'exemple, on peut citer le RITA qui est un réseau de transmission sur le champ de bataille terrestre.

Robert Fortet fut, à la suite de Brillouin, Gabor et Von Neumann, un des plus éminents penseurs dans le vaste domaine du traitement de l'information et du signal. Par ses propres recherches et par la qualité de la formation qu'il a assurée à de nombreux jeunes chercheurs, dont ceux parrainés par la DMA /DGA, Robert Fortet figure parmi les grands scientifiques français qui ont contribué avec efficacité à la modernisation de la Défense Nationale.

### *Joseph Pérès (1890-1962)*

Normalien et agrégé de Mathématiques, Joseph Pérès s'intéresse fortement à la Mécanique. Il est chargé par Albert Caquot de créer l'Institut de Mécanique des Fluides de Marseille et en est nommé Directeur en 1930. Il met en œuvre les procédés de l'analogie électrique pour étudier les écoulements de fluides. Il met au point, avec son collaborateur Lucien Malavard, la cuve rhéoelectrique qui devient, en 1932, le premier calculateur analogique d'ailes d'avion.

L'année 1932 est aussi celle de l'installation du laboratoire Pérès-Malavard dans la Cité de l'Air, à Paris. Elu membre de l'Académie des Sciences en 1942, Joseph Pérès est nommé, en 1945, Directeur adjoint du CNRS. Administrateur du GRA (Groupe de Recherches Aéronautiques), il est à l'origine de la création de l'ONERA. Elu Doyen de la Faculté des Sciences de Paris, Joseph Pérès, remarquable enseignant, a communiqué son enthousiasme à des générations de chercheurs et d'étudiants. Il a grandement contribué au développement de la recherche scientifique française et à ses applications en Aéronautique.

### *Maurice Roy (1899-1985)*

Sorti major de l'Ecole Polytechnique, Maurice Roy choisit le Corps des Mines. Il collabore avec Louis Breguet et prédit, dès 1928, le développement de la propulsion à réaction et devient président de l'ATTAG (Association Technique pour la Turbine à Gaz). Il est nommé, en 1949, Directeur Général de l'ONERA et lance un programme cohérent de recherches en souffleries subsoniques et supersoniques, dont l'aérodynamique du Concorde bénéficia grandement.

Co-fondateur, avec Théodore Von Karman, de l'AGARD (Groupe consultatif pour les recherches et développements aéronautiques) et de l'ICAS (Conseil international des sciences aéronautiques), Maurice Roy fut un éminent scientifique et un grand ingénieur auquel la recherche et l'industrie du domaine aéronautique et spatial français doivent beaucoup.

### *Lucien Malavard (1910-1990)*

En 1930, le Professeur Joseph Pérès, qui vient d'être nommé Directeur de l'Institut de Mécanique des fluides de Marseille, propose à son jeune assistant Lucien Malavard, comme sujet de thèse, l'application, aux problèmes d'aérodynamique, des procédés d'analogie électrique. Lucien Malavard conçoit la cuve rhéoelectrique qui s'avère être un puissant moyen de calcul de la vitesse et de la pression aux différents points de l'écoulement.

En 1932, Lucien Malavard est admis à l'Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique (Sup'Aéro) et poursuit ses recherches à l'Institut de Mécanique des Fluides de Paris, dans les locaux du Ministère de l'Air. En 1945, ce laboratoire est rattaché au CNRS et devient le LCEA (Laboratoire de Calcul Expérimental Analogique), sous la direction de Lucien Malavard. Celui-ci dirige également le laboratoire de calcul analogique de l'ONERA.

Le LCEA devient, en 1962, le Centre de Calcul Analogique (CCA) du CNRS, puis, en 1972, le LIMSI (Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur). D'autre part, le Professeur Malavard contribue activement à la création, au sein de l'OTAN, de l'AGARD (Advisory Group for Aerospace Research and Development) initiée par Theodore von Karman en 1951. Il devient ensuite Délégué national auprès du Conseil de l'Institut von Karman constitué près de Bruxelles, pour la formation et la recherche en Aéronautique.

La vaste compétence du Professeur Lucien Malavard et son souci de favoriser le transfert des recherches à l'industrie lui valurent d'être nommé, en 1961, à la tête de la DRME (Direction des Recherches et des Moyens d'Essais) qui venait d'être créée au sein de la Délégation Ministérielle pour l'Armement. Lucien Malavard assura également, en 1962, l'intérim de la direction générale de l'ONERA, organisme de recherche auquel il apporta son concours scientifique jusqu'à sa mort, en 1990.

### *Pierre Aigrain (1924-2002)*

Admis, à l'âge de 18 ans à l'Ecole Navale, Pierre Aigrain est envoyé par la Marine Nationale aux Etats-Unis, en 1945, il étudie pendant trois ans au Carnegie Institute of Technology de Pittsburgh (Electrical engineering Department). Très vite il fait preuve d'un esprit créatif, avec des inventions majeures, concernant les télécommunications. Il s'y familiarise avec une science en plein essor, la Physique des semi-conducteurs.

De retour en France, il poursuit ses travaux, en qualité d'attaché au Centre d'études et recherches de la Marine, dans les laboratoires de l'Ecole Normale Supérieure, dirigés par le Professeur Yves Rocard. Pierre Aigrain crée, en 1950, le Laboratoire de Physique des solides de l'ENS et devient le grand spécialiste français des semi-conducteurs, domaine dans lequel il acquiert rapidement une notoriété internationale.

Après avoir soutenu sa thèse de doctorat d'Etat, il apporte sa contribution au Commissariat à l'Energie Atomique. Nommé Professeur à la Faculté des Sciences de Paris en 1958, Pierre Aigrain ouvre à ses étudiants des voies toutes nouvelles, telles que l'optoélectronique, la détection infrarouge, les transistors à effet de champ. En particulier, on doit à Pierre Aigrain la découverte, en 1968, du laser à semi-conducteur qui a permis les transmissions par fibre optique et les disques laser CCD et DVD. Cette découverte, effectuée sur le laser AsGa, aurait pu valoir à Pierre Aigrain le Prix Nobel de Physique s'il avait alimenté les revues scientifiques en articles détaillant la progression de ses travaux, mais il ne cherchait pas la notoriété et n'acceptait d'être cité parmi les auteurs d'articles des membres de son équipe que s'il avait lui-même manipulé les instruments ! De même, il lui arrivait fréquemment de faire une invention, en discutant avec un de ses collaborateurs et il lui disait de déposer un brevet, sans qu'il soit lui-même mentionné !

Bouillonnant d'idées, Pierre Aigrain distingue l'essentiel dans tous les grands domaines de la physique des solides et passe, avec un égal succès, de la recherche fondamentale aux applications industrielles. En 1961, lors de la création de la Direction des Recherches et Moyens d'Essais, il en est nommé Directeur scientifique. Sa vaste compétence, sa large ouverture d'esprit et ses qualités humaines le font immédiatement apprécié par tous ses interlocuteurs, aussi bien au sein du Ministère des Armées que parmi les universitaires et les industriels.

En 1965, Pierre Aigrain est appelé à la tête de la Direction des Enseignements supérieurs, au Ministère de l'Education nationale. En 1968, il est nommé Délégué Général à la Recherche Scientifique et Technique, fonction qu'il exerce jusqu'en 1973. De 1974 à 1978, il est chargé de la direction technique du groupe Thomson. Parallèlement, il devient en 1976 président du comité scientifique et technologique de l'OCDE, puis président du conseil d'administration de l'Institut des hautes études scientifiques.

De 1978 à 1981, Pierre Aigrain fait partie du gouvernement de M. Raymond Barre, en tant que Secrétaire d'Etat chargé de la Recherche. De 1981 à 1982, Pierre Aigrain, tout en étant conseiller du groupe Thomson, contribue plus largement à l'essaimage industriel.

Il est ensuite chargé de nombreuses missions qui témoignent de son éclectisme : président du Comité de direction de la source européenne de rayonnement synchrotron de Grenoble, président du comité des grands équipements scientifiques, président d'une commission pour la qualité de l'air, responsable d'une étude sur la formation des archéologues, etc...

Membre de l'Académie des sciences depuis 1988 et de nombreuses académies étrangères, Pierre Aigrain continue à intervenir, publiquement en faveur de la Science et de la Recherche auxquelles il ne cesse de se passionner, et ceci jusqu'à son décès, le 30 octobre 2002. Son confrère de l'Institut, Philippe Nozière, souligna "sa *générosité hors du commun et ses idées, souvent profondes, semées à tout vent et dont il laissait si fréquemment le bénéfice aux autres*".

Pierre Aigrain, dans son livre "*Simple propos d'un homme de science*". disait :

*"Mon métier a un nom: la Science. Pure, appliquée ou industrielle, c'est toujours de science que je me suis occupé, tant en chercheur qu'en administrateur", et précisait ensuite : "la Science n'est pas un absolu, elle est, en fait, une approche en vue d'une meilleure compréhension du monde"*.

Pierre Aigrain était, avant tout, un très grand pionnier qui savait discerner les perspectives d'avenir et les voies nouvelles. Mais aussi et surtout, il n'avait pas son pareil pour repérer les chercheurs les plus créatifs, partager leur enthousiasme et faciliter leurs travaux. Il attribuait le mérite du succès à ceux qu'il avait conseillés et encouragés, sans revendiquer la part essentielle qui lui revenait.

Grand scientifique et remarquable visionnaire, Pierre Aigrain était aussi un homme de cœur, dont le souvenir restera gravé chez tous ceux qui ont travaillé sous ses ordres ou avec ses conseils.

Leur carrière et même leur vie en furent profondément marquées, pour le plus grand profit de la recherche scientifique et technique française.

### *Pierre Carrière (1912-1999)*

Diplômé de l'Ecole Polytechnique, en 1934, Pierre Carrière est affecté dans l'Artillerie coloniale. En 1942, il est nommé professeur de Balistique, au Cours supérieur technique organisé par la Section technique de l'Armée. Il poursuit alors des études approfondies en Aérodynamique qui devient son domaine d'excellence.

De 1951 à 1956, Pierre Carrière dirige le service Aérodynamique du LRBA (Laboratoire de Recherches Balistiques et Aérodynamiques) à Vernon où il développe la soufflerie C 4, première soufflerie supersonique française industrielle.

En 1956, il crée, à Sup'Aéro, le cours sur les statoréacteurs et participe à la formation de la plupart des ingénieurs aérodynamiciens français. La même année, il est affecté à l'ONERA pour y prendre la direction de l'Aérodynamique, poste qu'il occupe jusqu'en 1973, quand il est nommé Directeur scientifique central. Il se consacre aux recherches fondamentales sur le décollement, aux problèmes des entrées d'air de Concorde, à la conception du statoréacteur du missile ASMP, à la compréhension des phénomènes de la rentrée dans l'atmosphère.

On lui doit aussi la création de nouvelles souffleries, telles que la soufflerie T 2 à induction, installée au Centre d'études et de recherches de l'ONERA à Toulouse (CERT), et la soufflerie hypersonique à haute enthalpie F 4, installée au Centre du Fauga-Mauzac (Haute-Garonne). Eminent scientifique, Pierre Carrière fut plusieurs fois lauréat de l'Académie des Sciences.

### ***Raimond Castaing (1921-1998)***

A sa sortie de l'Ecole Normale Supérieure, Raimond Castaing s'oriente vers la recherche sur les matériaux. Il effectue sa thèse de Doctorat, à l'ONERA, en consacrant à la mise au point d'une sonde d'analyse du rayonnement X des atomes superficiels irradiés par un pinceau électronique.

La « sonde de Castaing » obtient une renommée mondiale, en raison de ses performances et des progrès qu'elle permet d'accomplir dans les alliages légers en Aéronautique. Directeur général de l'ONERA, de 1968 à 1973, et membre de l'Académie des Sciences, Raimond Castaing fut un grand scientifique sachant mettre sa vaste compétence au profit d'avancées techniques considérables dans de nombreux secteurs de l'Aéronautique.

### ***Paul Germain (1920-2009)***

Diplômé de l'Ecole Normale Supérieure, docteur ès-sciences, agrégé de Mécanique, professeur à la Faculté des sciences et à l'Ecole Polytechnique, Paul Germain a mené de pair les carrières d'enseignant et de chercheur.

Ses recherches en aérodynamique transsonique et supersonique, effectuées au sein de l'Université ainsi qu'à l'ONERA qu'il dirigea de 1963 à 1968, lui donnèrent une renommée internationale dans la communauté aéronautique.

Paul Germain suscita un important effort de recherche fondamentale en Mécanique des Fluides et organisa une fructueuse coopération avec les centres de recherche aéronautique étrangers. Il joua un rôle de tout premier plan à l'Académie des Sciences dont il fut un éminent Secrétaire perpétuel.

### ***Robert Legendre (1907-1994)***

L'Ingénieur général du Génie Maritime Robert Legendre fit une carrière scientifique de très haut niveau, d'abord au Bassin d'essais des carènes, de la Direction Technique des Constructions Navales, puis à l'ONERA, dont il fut, de 1950 à 1971, le Directeur scientifique central.

Ses méthodes de calcul des profils d'ailes (méthodes inverses par utilisation de l'hodographie) ont permis d'optimiser la voilure de Concorde et les aubes de turbomachines. La très vaste compétence de Robert Legendre, en aérodynamique, propulsion et structures, fut reconnue par son élection à l'Académie des Sciences en 1968.

### ***Robert Mazet (1903-1991)***

Diplômé de l'Ecole Normale Supérieure (1921) et Docteur ès sciences, Robert Mazet enseigne, en Faculté des Sciences, la Mécanique rationnelle. Il est recteur de l'Académie de Caen (1944-1946), puis de celle de Poitiers (1946-1948).

Robert Mazet s'investit dans la recherche en entrant à l'ONERA, où il exerce la direction des études de résistance des matériaux. Ses travaux en analyse modale des vibrations des avions font autorité et confèrent à l'ONERA un rôle pilote pour la maîtrise des phénomènes de flottement (*flutter*).

### ***Pierre Faurre (1942-2001)***

Major de la promotion 1960 de l'Ecole Polytechnique, Pierre Faurre s'oriente, après l'Ecole des Mines, vers la recherche et soutient brillamment, à Stanford en 1967, une thèse de Ph. D. sur le filtrage statistique auprès du Professeur R. E. Kalman. De retour en France, il passe une thèse de Doctorat d'Etat et crée le Centre d'Automatique de

l'Ecole des Mines. Dans les années qui suivent, il concilie avec succès ses activités de chercheur à l'INRIA, de professeur à l'X et à l'Ecole des Mines, et d'industriel à Sagem.

En 1972, il devient Secrétaire Général de Sagem. En même temps il forme à Sagem des équipes d'ingénieurs qui, sous sa direction, réalisent en 1975 la première application de grande envergure du filtrage de Kalman : l'alignement opérationnel des systèmes inertiels des Super Etendards sur porte-avions.

Ce succès sera suivi par d'autres premières mondiales, dont la Navigation hybride Inertie-Corrélation d'altitude du Mirage 2000-N et la Navigation Inertie GPS. En 1985, à 43 ans, il est élu à l'Académie des Sciences, et est le seul industriel dans cette assemblée. Directeur Général de Sagem en 1983, il devient Président en 1987.

Sous son impulsion, le Groupe Sagem est devenu un des grands acteurs européens de l'électronique de pointe, utilisant efficacement les synergies entre l'électronique de Défense et la nouvelle électronique des Télécoms et de l'Automobile. Les multiples activités de Pierre Faure, industriel et membre de Conseils d'Administration prestigieux, n'ont jamais nuit à ses engagements de professeur et de pédagogue.

Président du Conseil d'Administration de l'Ecole Polytechnique à partir de 1993, il mène à bien une réforme des études et l'ouverture à l'international de l'Ecole. Le 6 février 2001, il décède brutalement à l'âge de 59 ans, laissant une œuvre considérable dans tous les domaines qu'il a marqués de sa personnalité.

#### 7.1.5. Grands ingénieurs

##### *Clément Ader (1841-1925)*

Dès le 20 août 1870, Clément Ader écrit au ministre de la Guerre pour lui proposer de réaliser un cerf-volant capable de sustenter un observateur au-dessus du champ de bataille. A la place du ballon captif, il imagine un cerf-volant à voilure triangulaire et à profil creux, comme celui des ailes des oiseaux. Toute sa vie, Clément Ader ne songe qu'à la revanche sur les Allemands et croit à la nécessité de la maîtrise de l'air.



*Clément Ader, peint par lui-même, à l'âge de vingt-cinq ans*

Sa situation financière étant assurée grâce à ses inventions et à ses réalisations dans le domaine du téléphone, Clément Ader retourne à sa passion : l'aviation. En 1873, il construit un planeur de 9 mètres d'envergure, à profil courbe, en bois creux recouvert de plumes d'oies. Il l'essaie face au vent et en détermine la portance et la traînée.

En 1890, il dépose un brevet d'invention pour un « appareil ailé destiné à la navigation aérienne ». Le 9 octobre 1890, il réalise le premier décollage d'un appareil motorisé, avec « Eole ». Sa voilure est calquée sur les ailes des chauves-souris. Il est doté d'un moteur à vapeur de 10 à 12 CV ne pesant que 60 kg.

Cette envolée a lieu à Armainvilliers sur une distance de 50 m, à une hauteur de 15 cm. En août 1891, à Satory, sur une piste longue de 800 m, l'Eole aurait décollé sur une centaine de mètres, mais ayant été déporté par le vent, il se heurte à un matériel de terrassement et est détruit.

Le 3 février 1892, Clément Ader obtient un contrat du ministère de la Guerre, comportant des clauses draconiennes : avec un passager, s'élever à plusieurs centaines de mètres pendant six heures ! En mars 1892, il lance la fabrication de l'« Avion n° 2 », doté d'un moteur de 30 CV, mais il l'abandonne, fin 1893, pour réaliser l'« Avion n° 3 », avec deux hélices.

Terminé en juillet 1897, cet appareil est installé à Satory, pour y être essayé sur une piste circulaire, large de 40 m et de 450 m de diamètre. L'essai a lieu le 14 octobre 1897, par mauvais temps. L'appareil, qui s'était soulevé sur 200 mètres, est déporté par le vent et se brise.

Clément Ader perd l'appui des militaires et abandonne l'aviation en 1902. En 1907, il publie un ouvrage intitulé : « *La première étape de l'aviation militaire* » et énonce sa formule devenue célèbre : « *Qui sera maître de l'air sera maître du monde* ». L'Avion n° 3 est exposé au Salon de l'automobile et de l'aviation en 1908. Le Général Roques, Inspecteur de l'aviation décide, en 1911, que tout aéroplane militaire sera appelé « avion », en hommage à Clément Ader.

### ***Auguste Rateau (1863-1930)***

Diplômé de l'Ecole Polytechnique, professeur à l'Ecole des mines de Saint-Etienne, Auguste Rateau pose les bases de la théorie des turbomachines dont il publie un traité en 1901. Il met au point un ventilateur à turbine dont l'emploi se généralise dans les mines.

Il fonde, en 1903, la Société pour l'exploitation des procédés Rateau. Il améliore les pompes centrifuges, étudie les hélices puis se spécialise dans les turbomachines.

En 1917, Auguste Rateau réalise le premier turbocompresseur pour moteur d'avion (taux de compression dépassant 4,5, avec un rotor tournant à 53 000 tours/minute). Ce grand pionnier fut un membre éminent de l'Académie des Sciences.

### ***Camille Martinot-Lagarde (1877-1953)***

Officier du Génie, Camille Martinot-Lagarde est affecté, en 1910, à Chalais-Meudon, pour organiser l'aviation militaire, à la suite des réalisations de Charles Renard et de Ferdinand Ferber. Il y crée le service d'essai, de réparation et d'entretien des moteurs.

En 1914, il conçoit une station d'essais de moteurs en altitude. Devenu chef de la section Moteurs du Service technique aéronautique, il contribue à l'élaboration du turbocompresseur Rateau et joue un rôle primordial dans la production des moteurs d'avions durant la Grande Guerre.

Après avoir été affecté à l'Inspection de l'aéronautique, il est rappelé au Service technique par Albert Caquot pour diriger la section Moteurs. En 1942, le Général Martinot-Lagarde prend la direction de l'usine Turboméca à Bordes. Ses publications sur les moteurs à explosion, puis sur les turbines à gaz, ont fait autorité.

### ***Georges Darrieus (1888-1979)***

A la Compagnie Electromécanique (CEM), Georges Darrieus développe les premières turbines à gaz avec compresseur axial et dispositif de refroidissement. En 1941, il conçoit, avec René Bidard et Pierre Destival, un prototype de turboréacteur, le TGAR 1008 qui tourne au banc en 1949, avec une poussée de 2 100 daN.

Georges Darrieus, grand ingénieur, était aussi un scientifique éminent, élu membre de l'Académie des Sciences en 1946.

### *Ferdinand Ferber (1862-1909).*

Cet officier d'artillerie, sorti de l'Ecole Polytechnique en 1884, avait découvert, en 1896, les expérimentations de l'Allemand Otto Lilienthal et sa méthode progressive pour parvenir au vol humain. Dès 1898, Ferdinand Ferber construit des modèles réduits de planeurs, puis des appareils plus grands, à bord desquels il tente de se lancer. En 1901, il entre en relation avec Octave Chanute qui a perfectionné le planeur de Lilienthal en le dotant d'une queue pour le stabiliser.

En 1902, Ferber construit et essaie, à Nice, un planeur biplan, avec gouverne de profondeur à l'avant, selon la disposition adoptée par les frères Wright, avec lesquels il a été mis en rapport grâce à Octave Chanute.

En juillet 1904, ayant obtenu l'affectation du capitaine Ferber à Chalais-Meudon, Charles Renard lui confie la direction du laboratoire aéronautique. Ferber peut ainsi bénéficier de l'acquis technique du centre de Chalais. Il adopte, comme matériau de base pour ses futurs avions, le bambou retenu pour la nacelle du dirigeable « La France ». Ferber conçoit un dispositif de lancement comprenant un chariot glissant le long d'un câble qui libère le planeur à la vitesse de 10 m/s. 260 vols permettent de parvenir à une définition du planeur qui se montre très stable, grâce aux valeurs correctes :

- du dièdre, dont Ferber a découvert l'intérêt pour la stabilité latérale. La valeur retenue est 3 degrés ;
- du centrage, vers 30 % de la corde ;
- du plan horizontal fixe de queue ;
- de la dérive arrière.

Sur tous ces points, ainsi que pour l'emploi des roues, Ferber est en avance sur les frères Wright. Il est aussi le premier à avoir mesuré la trajectoire et l'orientation du planeur au cours du vol.

Le 27 mai 1905, Ferber réalise un vol sur un appareil équipé d'un groupe motopropulseur constitué par un moteur Buchet de 6 CV entraînant deux hélices contrarotatives. C'est le premier vol, en France, d'un avion à moteur parfaitement stable et contrôlé.

Les progrès se poursuivent et, en juillet 1908, Ferber traverse le terrain d'Issy-les-Moulineaux (vol de 700 m), avec son n° 9, équipé d'un moteur Levavasseur de 50 CV, réalisé par la société Antoinette.

Ferber se dépense sans compter pour promouvoir l'aviation et ceci sans rechercher son propre intérêt (dès 1906, il avait recommandé au Ministre de la Guerre d'acheter la licence des frères Wright). Pour se procurer les fonds nécessaires à ses propres travaux, Ferber se produit dans des meetings aériens. C'est au cours de l'un d'eux qu'il trouve la mort le 22 septembre 1909. Avec lui disparaissait un acteur essentiel de la naissance de l'aviation en France.

### *Louis Blériot (1872-1936)*

Diplômé de l'Ecole Centrale en 1895, Louis Blériot commence sa carrière dans l'industrie de l'automobile pour laquelle il réalise, avec profit, des phares de sa conception. Il se consacre bientôt à l'aviation naissante. Dès 1899, il aborde les recherches aéronautiques en mettant au point un ornithoptère à ailes battantes, équipé d'un moteur à gaz carbonique comprimé.

Il comprend rapidement que cette voie est sans issue et s'oriente vers la formule des appareils cellulaires de type Hargrave.

En association avec Gabriel Voisin, il conçoit un planeur muni de flotteurs qui, remorqué par un canot automobile sur la Seine, effectue des essais peu probants.

Très favorable au monoplan, Louis Blériot rompt avec Voisin, fidèle au biplan, et fonde sa propre entreprise. Il crée son premier monoplan, le Blériot V, doté d'un moteur Antoinette de 24 CV, puis, en 1907, le Blériot VI, sorte de libellule avec deux paires d'ailes en tandem, avec lequel il parcourt des distances de 150 à 184 m.

Blériot perfectionne ses systèmes de commande et accomplit, avec le Blériot VII, en octobre 1908, le premier voyage aérien aller et retour Toury-Santilly-Toury. Le 13 juillet 1909, il remporte le prix du Voyage décerné par l'Aéro-Club de France, à l'issue d'un vol d'Etampes à Orléans, avec escale à Arbouville.

Le grand exploit survient avec la traversée de la Manche, le 25 juillet 1909, sur le Blériot XI, capable d'une vitesse de 60 km /h, avec un moteur Anzani de 24 CV. Louis Blériot remporte ainsi le prix du Daily Mail de 25 000 francs-or. Aussitôt la France lui passe commande de cent exemplaires du Blériot XI qui est également retenu par de nombreuses écoles de pilotage

En août 1909, Louis Blériot participe à la Grande Semaine de l'Aviation en Champagne et devient l'homme le plus rapide au monde, avec 75 km /h. Titulaire du brevet de pilote de l'Aéro-club de France n° 1, Louis Blériot se consacre à la construction d'avions et d'hydravions. Au total, il réalisera une quarantaine de prototypes. Pendant la première guerre mondiale, il reprend la société SPAD et s'assure le concours d'ingénieurs de grand talent : André Herbemont, Maurice Blanchard, Léon Kirst et Philippe Zappato.

### *Louis Breguet (1880-1955)*

Après avoir obtenu son diplôme d'ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Electricité, dont il sort major de sa promotion, Louis Breguet commence sa carrière, en 1905, à l'usine Breguet de Douai. En 1906, il met au point une balance aérodynamique pour mesurer la résistance de l'air d'un profil et détermine la loi de variation de la portance d'une aile avec l'incidence.

Il en conclut que la voilure tournante est plus efficace que la voilure fixe et construit, avec les conseils du professeur Charles Richet et l'aide de son frère Jacques Breguet, un hélicoptère, le Gyroplane que le pilote Volumard fait décoller le 24 août 1907. L'appareil reste en vol stationnaire, à 60 cm du sol, pendant une minute. Louis Breguet dépose un brevet sur le concept du gyroplane et sur les dispositifs nécessaires pour assurer le bon fonctionnement des rotors, ainsi que sur la nécessité d'articuler les pales.

Cependant, le gyroplane, qui comporte quatre rotors à huit pales, ne dispose pas d'une puissance motrice suffisante (son moteur Antoinette ne délivre que 40 CV) et n'a pas de moyens de contrôle. Au cours de l'hiver 1908-1909, les frères Breguet améliorent leur appareil, en le dotant de deux systèmes de pales de 8 mètres de diamètre, inclinées par rapport à la verticale, de façon à pouvoir assurer une propulsion en même temps que la sustentation, et de gouvernes dans la queue, pour en procurer le contrôle. Un troisième prototype est doté d'hélices de 4,5 m de diamètre.

Le 28 octobre 1908, les frères Breguet déposent un brevet concernant un appareil hybride hélicoptère-avion. Mais Louis Breguet se rend compte que la technologie n'est pas mûre pour les appareils à voilure tournante et il se consacre, à partir de 1909, entièrement aux avions. Il ne reviendra aux hélicoptères qu'au début des années 1930.

La société des Ateliers d'aviation Louis Breguet réalise un aéroplane avec des ailes souples et repliables, mû par une hélice tractrice. Louis Breguet obtient son brevet de pilote le 19 avril 1910 et collectionne ensuite les records. Le 23 mars 1911, il transporte onze passagers dans un de ses biplans.

Engagé, comme sergent, en 1914, Louis Breguet accomplit des missions d'observation, dont celle du 2 septembre 1914 qui joue un rôle capital pour déclencher la bataille victorieuse de la Marne. Il n'abandonne pas son activité de constructeur et réalise, en son usine de Villacoublay, le Breguet XIV qui est fabriqué en 17 versions, en plus de 6 000 exemplaires.

C'est ensuite le Breguet XIX qui établit plusieurs records, dont le 1<sup>er</sup> Saint-Louis-du-Sénégal – Natal, par Costes et Le Brix (14 octobre 1927) et le 1<sup>er</sup> Paris-New-York, par Costes et Bellonte (1-2 septembre 1930). De 1923 à 1927, Louis Breguet préside la Chambre syndicale des industriels de l'Aéronautique.

En 1931, il estime que les progrès des moteurs et de la mécanique permettent de reprendre l'étude des appareils à voilure tournante, en tenant aussi compte des avancées de La Cierva concernant le mouvement cyclique des pales des rotors. En 1932, assisté de René Dorand et de Maurice Claisse, il crée le « Syndicat français du Gyroplane », dont le premier appareil, avec un bi-rotor coaxial et plateau cyclique, commence ses essais en 1933.

Le 24 novembre 1936, cet appareil vole à plus de 100 km/h, sur une distance de 44 km. En 1938, la Marine Nationale passe commande d'un gyroplane birotor coaxial, G 20, d'une vitesse maximale de 250 km / h et d'une distance maximale de 800 km, pouvant rentrer dans un hangar du sous-marin Surcouf. Ces spécifications étaient irréalistes pour cette époque et les travaux sur le G 20, qui s'étaient poursuivis pendant la guerre, furent abandonnés en 1947.

Cependant, la coopération avec la Professeur Toussaint, de l'Institut Aérotechnique de Saint-Cyr, se prolongea pour réaliser le gyroplane G 10, doté d'un moteur de 240 CV et le G 111, équipé d'un moteur Pratt & Whitney de 450 CV. Le G 111 effectua son premier vol le 25 mai 1949, mais il fut accidenté le 25 juin 1951. Trop complexe et trop coûteux, il fut abandonné et la Société française du Gyroplane déposa son bilan en 1952.

Louis Breguet revint alors aux avions, en gardant une prédilection pour les appareils à décollage court. Le Breguet 940, à aile soufflée, fut l'exemple d'un concept technique innovant, mais qui ne parvint pas à trouver un débouché malgré ses remarquables capacités de décollage et d'atterrissage très courts. Louis Breguet put voir se réaliser le Br 761 Deux-Ponts, le Br 1050 Alizé, le Br 1 001 Taon et le Br 1150 Atlantic, avant son décès en 1955.

### *Jean-Baptiste Dorand (1866-1922)*

Reçu à l'Ecole Polytechnique en 1886, Jean-Baptiste Dorand en sort comme officier du Génie. Il est affecté à l'Etablissement de Chalais-Meudon en 1894 et prend part, en 1895, à la campagne de Madagascar, avec les troupes d'aérostation. En 1904, il établit, à Chalais-Meudon, une théorie de l'aéroplane et de l'hélicoptère. En 1907, il expérimente un « cerf-volant dirigeable ». Libre, propulsé par une hélice mue par un moteur à explosion, c'est l'ancêtre des ULM actuels.

Poursuivant les travaux de Charles Renard sur les hélices, il en étudie les lois de similitude qu'il vérifie sur un wagon circulant sur une voie ferrée installée à cet effet à Chalais-Meudon.

Il poursuit ses recherches sur les avions et les hélicoptères jusqu'en 1916. De 1916 à 1918, Jean-Baptiste Dorand dirige la Section technique à la Direction de l'Aéronautique. Il enseigne la Mécanique du Vol à Sup'Aéro en 1918

### *Raymond Saulnier (1881-1964)*

Diplômé de l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures en 1905, Raymond Saulnier commence sa carrière chez Blériot en 1908. C'est lui qui choisit le moteur Anzani pour la traversée historique de la Manche. En 1910, il fonde sa propre société, construit son premier appareil et en assure lui-même les essais. Le 10 octobre 1911, il s'associe à Léon Morane pour créer la société Morane-Saulnier, dont le premier appareil vole dès 1912.

Il emploie de plus en plus le métal et adopte, à partir de 1913, la formule de l'aile « parasol ». C'est aux commandes d'un Morane-Saulnier que Roland Garros traverse la Méditerranée, en septembre 1913. Raymond Saulnier dépose, en avril 1914, le brevet du système de tir à travers l'hélice qu'il a inventé.

De 1919 à 1945, la société Morane-Saulnier s'impose avec les monoplans Parasol 230, 315 et 225, à bord desquels s'illustre Michel Détroyat, as de la voltige, puis avec le chasseur à aile basse MS 406, commandé à 1 000 exemplaires à la veille de la Seconde Guerre mondiale.

Après les hostilités, Raymond Saulnier développe des avions de tourisme et des appareils d'entraînement militaire. Son biplace d'entraînement à réaction, le MS 755 Fleuret, vole le 29 janvier 1953, mais se voit préférer son concurrent, le Fouga Magister, en raison de la disposition des pilotes, côte à côte sur le Fleuret, en tandem sur le Magister.

Raymond Saulnier lance une version quadriplace du Fleuret, le MS 760 Paris, premier avion d'affaires à réaction au monde, qui sera exporté dans onze pays, mais qui sera surtout utilisé comme avion de liaison militaire.

Le MS 1500 Epervier, biplace en tandem, mono-turbopropulseur Bastan de 700 CV, vole le 12 mai 1958. L'ultime appareil Morane-Saulnier est le MS 880 Rallye qui aura un grand succès dans ses versions Rallye-Club de 100 CV et Super- Rallye de 145 CV.

### *Henri Fabre (1882-1984)*

Henri Fabre est, dès son enfance, passionné par l'aviation et veut en faire son métier. Son père, riche armateur à Marseille, l'oblige à décrocher, au préalable, un diplôme d'ingénieur, ce qui conduit Henri Fabre à suivre, en 1906, les cours de l'Ecole Supérieure d'Electricité.

De retour en Provence, il multiplie les expériences en vue de réaliser un appareil qui puisse décoller de la surface de l'eau. Il étudie l'aérodynamique en fixant des ailes sur un remorqueur à vapeur qu'il lance à près de 100 km/h. Puis il étudie l'hydrodynamique des flotteurs ainsi que l'aérodynamique des hélices aériennes. Il réalise plusieurs aéroplanes équipés de ces flotteurs « Fabre » en 1908 et 1909, et, le 28 mars 1910, il réussit à faire décoller un appareil canard avec trois flotteurs, deux à l'avant et un à l'arrière, qui déterminent l'incidence au décollage.

Avec cet hydravion, propulsé par un moteur rotatif Gnome de 50 CV, Henri Fabre effectue un vol de 500 mètres, à quelques mètres au-dessus de la surface de l'étang de Berre. Il poursuit ses vols et parvient à parcourir, quelques semaines plus tard, six kilomètres.

Henri Fabre se consacre ensuite à l'amélioration des flotteurs en vue d'accroître leur résistance aux chocs de l'eau et se lance, entre 1914 et 1918, dans la fabrication d'hydravions Tellier.

### ***Robert Alkan (1891-1957)***

Diplômé de l'Ecole Violet, Robert Alkan entre à l'Alsacienne de Constructions Mécaniques de Belfort, puis, en 1914, sert dans l'Arme nouvelle, l'Aviation. En 1915, il conçoit et réalise un dispositif de synchronisation du tir à travers l'hélice. Les essais sur Nieuport sont concluants, bientôt des milliers d'appareils en sont équipés.



En 1917, une poignée d'ingénieurs est envoyée aux Etats-Unis pour organiser la fabrication, en grande série, des appareils qui gagneront bientôt la maîtrise de l'Air. Robert Alkan assume là-bas toute la responsabilité de l'armement, des armes, des lance-bombes, des viseurs, et celle de l'aménagement électrique.

« L'entre-deux-guerres », de 1918 à 1940, fut, pour Robert Alkan et pour ses entreprises, une brillante époque de prospérité. Ce furent les multiples brevets et les réalisations successives d'équipements inédits, vite classés parmi les meilleurs : contrôleurs de vol, horizons, stabilisateurs de cap, pilotes automatiques Alkan.

En 1940, pour la deuxième fois, Robert Alkan, partit en Amérique. Un bureau d'études dépendant de Pioneer lui fut confié. Quand il quitta les Etats-Unis, en 1945, pour rentrer dans la France libérée, il emportait les souvenirs émouvants des 200 techniciens qu'il avait dirigés pendant quatre ans et avec lesquels il avait créé l'armement efficace dont purent être dotés tous les bombardiers américains.

Revenu en France, Robert Alkan prit la charge du GERIA, petite société où étaient réunis la plupart de ses meilleurs techniciens. Avec eux, il passa, en 1947, à la SFENA, nouvellement constituée en société nationale, et se consacra à sa filiale d'études et de recherches : le Groupe Technique Aéronautique. Le GTA créa des horizons gyroscopiques, un gyroscope directionnel, une référence baro-altimétrique, et un compas magnétique à distance. A noter que l'horizon gyroscopique de secours SFENA-GTA, a été très largement exporté ou fabriqué sous licence, jusqu'à équiper l'avion présidentiel américain « *Air Force One* » !

### ***Henri Potez (1891-1981)***

Diplômé de l'Ecole supérieure d'aéronautique et de construction mécanique en 1911, Henri Potez entre chez René Caudron, où il met au point le Caudron G 3. Il réalise, avec Marcel Bloch, l'hélice Eclair qui équipera, notamment, le Spad de Guynemer et fonde avec lui la Société d'études aéronautiques (SEA) qui conçoit le SEA 4, biplace de reconnaissance, dont la production commence en 1918.

Alors que Marcel Bloch abandonne l'aviation après l'Armistice, Henri Potez fonde sa propre société et réalise de nombreux appareils qui rencontrent de beaux succès : le Potez 25 se vend à plus de 7 000 exemplaires dans 18 pays. En 1936, Potez dispose de cinq usines : Méaulte, Courbevoie (moteurs), les ateliers de Berre (hydravions),

Sartrouville, Saint-Denis. Parmi leurs productions, il faut citer le Potez 63 qui sera utilisé par l'armée de l'air pour le bombardement et la reconnaissance en 1939-1940.

Lors des nationalisations, Henri Potez devient président de la Société nationale de construction aéronautique du Nord (SNCAN). Henri Potez reprend son activité aéronautique en 1945, avec la production de moteurs pour avions légers, puis avec le biplace d'attaque Potez 75. Il s'exprime pleinement avec le Fouga Magister, appareil d'entraînement militaire, qui sort en près de 900 exemplaires et équipe la Patrouille de France jusqu'en 1981. La carrière d'Henri Potez est comparable à celle de son ami Marcel Bloch, par la qualité, la diversité et l'originalité de ses créations, mais elle s'achève beaucoup plus tôt, en 1967.

### *Marcel Dassault (1892-1986)*

Marcel Ferdinand Bloch découvre sa passion pour l'aviation en voyant passer, le 18 octobre 1909, un biplan Wright, piloté par le comte Charles de Lambert, qui réalisait un des premiers survols de Paris. Il assiste ensuite aux essais de Farman à Issy-les-Moulineaux et aux vols de Santos-Dumont à Bagatelle.

Diplômé de l'Ecole Breguet, Marcel Bloch fait partie de la promotion 1913 de l'Ecole Supérieure d'Aéronautique et de Construction Mécanique, avec Mikhail Gourevitch (le futur créateur, avec Artem Mikoyan, des avions soviétiques MiG).

Marcel Bloch devient l'ami intime d'Henri Potez, avec lequel il crée, en 1915, la Société des hélices Eclair. Bloch et Potez créent ensuite la Société d'Etudes Aéronautiques (SEA) et, avec l'aide de Louis Coroller, camarade de promotion Sup'Aéro de Marcel Bloch, ils conçoivent le SEA 1, avion d'observation monomoteur, le SEA 2 biplace de reconnaissance et de chasse, le SEA 3 trimoteur de reconnaissance.

Mais ces appareils ne disposent pas d'une puissance suffisante et ne sont pas fabriqués. L'apparition du moteur Lorraine, de 370 CV permet enfin de réaliser le biplace de combat SEA 4 qui effectue son premier vol en 1917 et est commandé en 1 000 exemplaires. Le 1<sup>er</sup> modèle de série vole le 11 novembre 1918. Du fait de l'Armistice, le marché de 1 000 exemplaires est résilié. Seule une centaine d'appareils, en cours de fabrication, est livrée.

Après l'Armistice, Marcel Bloch s'éloigne de l'aviation pendant onze ans, mais il y revient en 1930 à l'occasion d'un concours lancé par le ministère de l'Air pour réaliser un trimoteur postal. Marcel Bloch constitue alors le noyau d'une équipe d'élite, avec Henri Deplante et Benno-Claude Vallières.

Il conçoit le MB 60, premier avion postal entièrement métallique. Puis ce sont, en 1932, le MB 80, premier avion sanitaire entièrement métallique, et le MB 120, premier avion de transport de passagers construit par Marcel Bloch. Ce sont ensuite, en 1933 le MB 200, premier avion de bombardement construit en série par Marcel Bloch, en 1935 le MB 210, avion de bombardement à train rentrant et hélice à pas variable, en 1936 le MB 220, avion de transport commercial, utilisé par Air France, en 1937 le MB 160, quadrimoteur de transport commercial, en 1938, le MB 152, avion de chasse produit en grande série et, en 1939, le MB 174, avion de reconnaissance (piloté par Antoine de Saint-Exupéry en 1939-1940).

Après la guerre 1939-1945 qu'il finit en déportation au camp de concentration de Buchenwald, Marcel Bloch reprend ses activités aéronautiques, sous le nom de Marcel Dassault. Cette nouvelle société se distingue très vite par son dynamisme qui se traduit par de nombreuses réalisations.

En 1947, le MD 315 Flamant est le premier avion de Marcel Dassault construit en série après 1945. En 1949, le MD 450 Ouragan est le premier chasseur à réaction de Marcel Dassault. En 1951, le MD 452 Mystère II est le premier avion Dassault à avoir franchi Mach 1 (en piqué).

En 1952, le Mystère IV est le premier avion Dassault supersonique produit en grande série. En 1956, le Super Mystère B2 est le premier avion Dassault supersonique en vol horizontal. En 1956, l'Etendard IV est le premier chasseur à réaction Dassault embarqué sur porte-avions et le Mirage III est le premier avion Dassault à passer Mach 2. En 1959, Dassault sort le Mirage IV, bombardier des Forces aériennes stratégiques. En 1962, il produit le Balzac V 001, seul avion à décollage vertical ayant atteint Mach 2. Le Mystère Falcon 20, est, en 1963, le premier avion d'affaires à réaction.

Puis, en 1966, Dassault sort le Mirage F1, avion de combat avec système d'armes intégré. Il est suivi, en 1967, par le Mirage G, avion à flèche variable (le G8 atteindra Mach 2,34). En 1968, Dassault-Breguet produit le Jaguar, avion de combat en coopération franco-britannique.

En 1970, le Falcon 10, avion d'affaires, est réalisé avec aile conçue par logiciel 3 D. En 1971, sort le Mercure, avion de transport à réaction. En 1973, c'est l'Alphajet, avion d'entraînement, en coopération franco-allemande. En 1974 c'est le Super Etendard, avion de combat embarqué, avec un système d'armes moderne. En 1978, Dassault produit le Mirage 2 000, à stabilité artificielle, et, en 1979, le Mirage 4 000, à empennage composite contenant du kérosène.

En 1981, l'Atlantique 2, avion de patrouille maritime, est réalisé en coopération multinationale, pour l'Alliance atlantique. En 1983, le Mirage 2 000 N, comporte le suivi de terrain automatique. Le Falcon 900, avion d'affaires conçu en modèle numérique 3D, est réalisé en 1984. Le Rafale A, démonstrateur d'avion de combat polyvalent, sort en 1986.

Cette liste est arrêtée à l'année 1986, date du décès de Marcel Dassault, génial créateur de l'aéronautique française tout au long des trois-quarts de siècle de son activité si féconde. Il avait su s'entourer d'éminents ingénieurs et de techniciens très compétents, qui mirent à profit les résultats des recherches dans des domaines variés et introduisirent, eux-mêmes, de véritables innovations..

### *René Leduc (1898-1968)*

Engagé en 1914, René Leduc est admis à l'école d'artillerie de Fontainebleau et sort major de sa promotion en 1917. En 1919, il entre à l'Ecole supérieure d'électricité. En 1923, René Leduc est chef du Bureau de calcul chez Breguet et participe à des réalisations originales, telles que l'avion « tout acier » Breguet 27 ou la voilure de l'hydravion Breguet 730 qui sera adaptée au Breguet Deux-Ponts.

En 1930, il dépose son premier brevet sur les pulsoréacteurs et réinvente la « tuyère thermopropulsive » (statoréacteur), dont René Lorin avait établi le principe en 1910. Mais les possibilités techniques de l'époque ne permettent pas sa réalisation. Cependant les Allemands s'intéressent à cette invention et produisent, en 1942, le Do 217 à statoréacteur.

A la Libération, le marché, conclu en 1937 et interrompu du fait de la guerre, est confirmé et porte sur la réalisation de deux prototypes de Leduc 010. Largué d'un Languedoc, le Leduc 010 effectue son premier vol propulsé le 21 avril 1949 et grimpe à Mach 0,84. Plusieurs prototypes se succèdent ensuite, pour aboutir au Leduc 022 qui dispose, dans son axe, d'un turboréacteur ATAR de 2 800 daN de poussée et d'une tuyère thermopropulsive de deux mètres de diamètre.

Cet appareil aurait été capable de Mach 2 et avoir un plafond de 21 000 mètres, mais René Leduc se heurta à une traînée trop importante en transsonique et à des problèmes de combustion à haute altitude. En outre, à cette époque, les missiles air-air faisaient leur apparition et paraissaient mieux à même de remplir les missions d'interception.

René Leduc fut aussi un précurseur pour les servocommandes, les cabines éjectables, ainsi que pour les fraiseuses géantes permettant de tailler, dans la masse, des ailes d'avions d'armes.

### *Maurice Ponte (1902-1983)*

Diplômé de l'Ecole Normale Supérieure, Maurice Ponte est nommé, à l'âge de 27 ans, directeur du laboratoire de recherches de la CSF. Il y développe les composants électroniques pour les télécommunications et la détection électromagnétique et contribue fortement à la course à la puissance et aux hautes fréquences (ondes décimétriques et centimétriques).

Il réalise ainsi en 1932, un magnétron à cathode à oxyde et à anode à segments imbriqués : le magnétron M 16, aboutissant en 1940 à des puissances de crête de plusieurs kW.

Le 8 mai 1940, Maurice Ponte remet deux exemplaires du M 16, aux équipes britanniques. Le 26 juin 1940, en associant les principes de la cathode à oxydes et d'une anode à cavités multiples, les britanniques réalisaient le magnétron E - 1189 qui atteignait la centaine de kilowatts crête ! Dès lors, le principal problème du radar centimétrique, celui de l'émission de puissance, était résolu.

### *Louis Bonte (1908-1971)*

Après l'Ecole Polytechnique (1927) et Sup'Aéro (1932), Louis Bonte dirige la Section Avions du Centre d'Essais en Vol, alors à Villacoublay, puis est nommé adjoint au Directeur technique et Industriel de l'Aéronautique (1945).

En 1948, Louis Bonte est nommé Directeur du Centre d'Essais en Vol de Brétigny, auquel il assure un développement remarquable. Le CEV acquiert, grâce à lui, une notoriété internationale.

L'ingénieur Général Louis Bonte devient Directeur Technique et Industriel de l'Aéronautique en 1958 et Inspecteur Technique de l'Aéronautique en 1962. Il est nommé Directeur des Affaires Internationales de la Délégation Ministérielle pour l'Armement (DMA), en 1966. Dans toutes ses fonctions, la personnalité de Louis Bonte a fait de lui un des acteurs essentiels de la renaissance de l'aéronautique française après 1945.

### *Pierre Satre (1909-1980)*

Diplômé de l'Ecole Polytechnique et de Sup'Aéro, Pierre Satre est chargé, en 1934, des essais des avions légers et des avions commerciaux, au Centre d'expériences aériennes militaires de Villacoublay.

Il est ensuite affecté au Service technique aéronautique, comme ingénieur de marque des avions de chasse de la dernière génération d'avant 1939 : Morane-Saulnier 406, Bloch 152, Dewoitine 520, Arsenal VG 33.

En 1941, Pierre Satre entre à la SNCASE, en qualité de chef du bureau d'études. C'est le début d'une carrière très créative. On lui doit, notamment, une aile volante de tourisme, le SE 2100, qui effectue son premier vol le 4 octobre 1945 et le quadrimoteur de transport Armagnac qui vole le 2 avril 1949.

Il conçoit ensuite le SE 2410 Grognard, prototype d'avion de combat qui se caractérise par la disposition de ses deux réacteurs superposés.

Mais le vrai titre de gloire de Pierre Satre est la Caravelle qui devient le symbole de la renaissance de l'aéronautique française dans le transport aérien. Caractérisée par la disposition de ses deux réacteurs à l'arrière du fuselage et par l'excellence de l'aérodynamique de sa voilure, Caravelle réalise son premier vol le 27 mai 1955 et se révèle comme un remarquable succès technique.

Pierre Satre revient ensuite au domaine militaire, avec le SE 212 Durandal, à aile delta, qui accomplit son premier vol le 20 avril 1956, mais se voit préférer le Mirage III de Dassault. En tant que Directeur technique de la division Avions de l'Aérospatiale, Pierre Satre apporte son concours à la réalisation du supersonique Concorde, autre fleuron de l'aéronautique française.

### *Lucien Servanty (1909-1973)*

Ingénieur des Arts et Métiers, Lucien Servanty débute chez Breguet en 1931. Il rejoint la SNCASO en 1937, chez laquelle il met au point le Bloch 155. Il réalise, en 1941, le SO P1, premier planeur métallique français.

Lucien Servanty réalise ensuite le SO 6 000 Triton, premier avion à réaction français, conçu dans la clandestinité et qui fit son premier vol en 1946, le SO 6020 Espadon à voilure en flèche, en 1948, et le SO 9000 Trident, à ailes droites, en 1953. Le Trident II fut le premier avion européen à atteindre Mach 2, en 1957, et à s'octroyer des records mondiaux de vitesse ascensionnelle et d'altitude.

A Sud-Aviation en 1959, Lucien Servanty se voit bientôt confier la direction du bureau d'études qui est chargé du programme Concorde, en coopération avec *British Aircraft Corporation*. Lucien Servanty est le véritable auteur de ce brillant succès technique qui se caractérise par de remarquables innovations.

### *Benno-Claude Vallières (1910-1989)*

Bention Grebelsky, né en Roumanie, diplômé de Sup'Aéro, accomplit son service militaire, en entrant en 1932, à la Direction des constructions aéronautiques, dans le Groupe des avions nouveaux, ancêtre du Centre d'Essais en Vol.

Dès 1934, après avoir commencé sa carrière chez Dewoitine, il entre chez Marcel Bloch où il constitue une équipe qui va jouer un rôle de premier plan dans le développement des avions de combat.

A partir de 1945, Benno-Claude Vallières dirige l'usine de Saint-Cloud, des Avions Marcel Dassault, et la dote des moyens et des compétences qui créent l'Ouragan, premier avion de chasse à réaction à être produit en série et exporté. En 1954, il devient Président-Directeur général des Avions Marcel Dassault. On lui doit la famille Mirage, l'initiation du programme des avions d'affaires Falcon, ainsi que la création de la société Electronique Marcel Dassault.

### *Jean Blancard (1914-2008)*

A sa sortie de l'Ecole Polytechnique en 1936, Jean Blancard choisit le Corps des Ingénieurs des Mines et se consacre à l'enseignement qu'il professe à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne, de 1941 à 1943. Il est nommé Directeur des Carburants en 1951, fonction qui le rapproche de l'Aéronautique.

Jean Blancard devient Délégué Ministériel à l'Air (1959-1961), puis Vice-Président de la Régie Renault (1961-1964) et Président de la SNECMA (1964-1968). Il est nommé Délégué ministériel pour l'Armement (1968-1973), puis Délégué général à l'Energie (1973-1975).

Jean Blancard a fortement soutenu la recherche à la SNECMA, en la rapprochant du Centre de recherches de l'Ecole des Mines, à Corbeil, ainsi qu'à la DMA, en facilitant les échanges entre les chercheurs et les industriels. Les brillants succès des matériaux pour aubes et disques de turbines (appliqués pour le moteur M 88 du Rafale) obtenus par la coopération entre SNECMA, ONERA, Imphy et l'Ecole des Mines sont une conséquence des rapprochements suscités par Jean Blancard, très attentif à la prise en compte des besoins futurs pour orienter les recherches amont.

### *Jean Stauff (1916-1999)*

Diplômé de l'Ecole Polytechnique et de Sup'Aéro, Jean Stauff se spécialise dans les missiles tactiques et dirige la division « Engins spéciaux » à Nord-Aviation, puis à l'Aérospatiale. On lui doit la conception des missiles anti-char et des missiles anti-aériens qui, avec les missiles mer-mer Exocet, firent la gloire de cette société.

### *Jean Bertin (1917-1975)*

Jean Bertin met au point, à la SNECMA, en 1952, le premier déviateur de jet qui permet l'inversion de poussée, ce qui réduit la distance de roulage à l'atterrissage des avions à réaction. Cet inverseur de poussée est immédiatement adopté par Bristol en France et par Aerojet, aux Etats-Unis.

Il fonde en 1956 la société d'innovations Bertin qui réalise les véhicules à coussin d'air selon la formule dite de « la jupe souple », le Naviplane, le Terraplane et l'Aérottrain (qui pulvérise, en 1974, le record mondial de vitesse sur rail, avec 425 km/h), ainsi que des dispositifs de déneigement de pistes et de dénébulisation des aéroports. Depuis lors, la société d'ingénierie pluridisciplinaire Bertin n'a cessé d'accroître les retombées des techniques aérospatiales dans de nombreux secteurs industriels.

### *Jean-Charles Gille (1924-1995)*

Dès 1956, l'Ingénieur militaire de l'Air Jean-Charles Gille crée, à Sup'Aéro, le premier enseignement de l'Automatique en France. Par cet enseignement d'une grande clarté et très prospectif, il forme des générations d'ingénieurs de l'Aéronautique où les servo-mécanismes prennent une place prépondérante.

Jean-Charles Gille entreprend aussi un effort de recherche de longue haleine, en créant, avec Marc Pélegrin, le CERA (Centre d'Etudes et de Recherches en Automatique) qui donne ensuite naissance au CERT (Centre d'Etudes et de Recherches de Toulouse) de l'ONERA.

Ses ouvrages sur les asservissements, rédigés avec Marc Pélegrin et Paul Decaulne, ont été traduits en plusieurs langues et font encore autorité actuellement. Jean-Charles Gille termina sa carrière comme Professeur à l'Université Laval (Québec). Il est le père fondateur de l'Automatique moderne française.

### *Alain Queinec (1935-1990)*

Diplômé de l'Ecole Polytechnique, de Sup'Aéro et de Stanford University, Alain Queinec a, pendant toute sa carrière au sein de la DTIAé et de la DRET, fait aboutir d'importantes activités de recherche et d'expérimentation.

L'Ingénieur en chef Alain Queinec, alors chef de la Section Etudes Générales du Service Technique des Programmes Aéronautiques, lance des développements exploratoires pour l'emploi des profils supercritiques, ainsi que pour la réalisation de voilures en composite carbone. Ceci conduit à de nombreuses applications pour les avions de transport Airbus et les avions d'affaires Falcon. Alain Queinec donne aussi une impulsion décisive à la réalisation de la grande soufflerie européenne cryogénique ETW implantée à Cologne.

## 7.1.6. Grands expérimentateurs en soufflerie

### *Antonin Lapresle*

A sa sortie de l'Ecole Supérieure d'Electricité, Antonin Lapresle participe à la construction de la soufflerie Eiffel du Champ de Mars (1909), puis à celle d'Auteuil (1912). Entré ensuite dans le corps des Ingénieurs de l'Aéronautique, il dirige cette dernière soufflerie qui fait alors partie de la Section technique de l'aéronautique.

En 1929, il dirige les travaux de conception et de réalisation de la grande soufflerie de Chalais-Meudon, selon les spécifications d'Albert Caquot. Il apporte une attention particulière aux équipements de mesure.

### *Pierre Rebuffet (1903-1987)*

Diplômé de l'Ecole Supérieure d'Electricité et licencié es-sciences, Pierre Rebuffet entre, en 1928, au Service des recherches aéronautiques et est affecté à la soufflerie d'Issy-les-Moulineaux. De 1932 à 1934, il assiste Antonin Lapresles dans la construction de la grande soufflerie de Chalais-Meudon dont il assure ensuite la mise au point et l'exploitation.

De 1946 à 1969, Pierre Rebuffet met en place de nouveaux moyens d'essais à l'ONERA, en étant le chef du centre de Chalais-Meudon. Pionnier des techniques nouvelles en aérodynamique expérimentale, il forme de nombreux chercheurs et ingénieurs, notamment par son enseignement magistral à Sup'Aéro.

### *Marcel Pierre (1912-2005)*

Ingénieur des Arts et Métiers et de l'Ecole Spéciale des Travaux Aéronautiques, Marcel Pierre fut chargé, aux Avions Marcel Bloch, puis à la SNCASO (Société Nationale de Constructions Aéronautiques du Sud-Ouest) des études aérodynamiques en soufflerie.

En 1946, il lui incombait de construire, à Modane (Savoie), une grande soufflerie, à partir des éléments d'une soufflerie en construction en France. Il en résulta la soufflerie S 1 MA de l'ONERA qui est encore actuellement, avec sa veine de 8 mètres de diamètre, la plus grande soufflerie sonique au monde.

Marcel Pierre fut directeur des grandes souffleries de l'ONERA jusqu'à son départ en retraite en 1977. En tant que Haut Conseiller il continua à apporter à l'ONERA sa remarquable compétence en aérodynamique expérimentale et à valoriser le patrimoine de cet organisme dans ce domaine essentiel pour l'aéronautique.

### *Philippe Poisson-Quinton (1919-2006)*

Licencié es-sciences et diplômé de Sup'Aéro, Philippe Poisson-Quinton crée, à la Sorbonne, un groupe d'études qui publie les « Cahiers d'aérodynamique », à partir de mai 1945.

Il effectue ensuite toute sa carrière à l'ONERA, où il débute comme ingénieur à la Direction de l'Aérodynamique. Il contribue notablement aux progrès de l'aérodynamique des voilures, en particulier de celle de Concorde. Il joue ensuite un grand rôle dans les activités de l'ONERA en coopération, notamment dans le cadre de l'AGARD et du GARTEUR.

Sa compétence et son aisance dans les relations avec les organismes de recherche étrangers lui valent une renommée internationale. La médaille von Karman lui est décernée en 1981. Il préside l'Académie Nationale de l'Air et de l'Espace en 1993-1994.

### 7.1.7. Grands expérimentateurs en vol

#### *François Hussenot (1912-1951)*

Polytechnicien et pilote d'essai au Centre d'Essais en Vol de Brétigny, François Hussenot y dirige le Service Méthodes et Moyens d'essais. Il met au point, avec les Etablissements Charles Beaudouin, l'enregistreur HB ou « Hussenographe », Cet instrument, qui fournit, sur bande photographique, les principales données du vol, est très en avance par rapport aux autres procédés alors en usage dans le monde.

Cette véritable innovation fait faire un réel progrès aux essais en vol français. L'hussenographe est le pionnier des « boîtes noires » de l'aviation moderne. François Hussenot participe à la fondation, en 1946, de l'Ecole du personnel navigant d'essais et de réception (EPNER), puis, en 1947, de la Société de fabrication d'instruments de mesure (SFIM). Il meurt, en 1951, au cours d'un vol d'essai d'un avion militaire.

#### *Gilbert Klopstein (1932-2009)*

Diplômé de Sup'Aéro et de Sup'Elec, Gilbert Klopstein effectue la majeure partie de sa carrière au Centre d'Essais en Vol (CEV). Excellent pilote (premier de sa promotion à l'école de pilote de chasse de Meknès), il acquiert rapidement une parfaite connaissance du comportement dynamique des avions de combat et des avions de transport.

Lors du lancement du programme Concorde, il met au point le Mirage III à stabilité variable, lancé par Pierre Lecomte au STAé, pour aider au développement du transport supersonique. Ceci le conduit à définir des concepts d'utilisation du vecteur-vitesse, de l'incidence et de l'énergie totale. Il les applique à l'avion de démonstration Nord 262 que Jean Forestier utilise pour présenter, aux élèves de Sup'Aéro, les divers aspects de la Mécanique du vol.

Le Nord 262, ainsi équipé, est présenté, avec succès, à l'Etat-Major de l'US Air Force à Wright Patterson et au Massachusetts Institute of Technology, à Boston. Ces concepts innovants sont maintenant appliqués sur des avions d'armes, sur les Airbus et sur de nombreux avions de transport américains, ainsi que sur des navettes spatiales.

### 7.1.8. Grands inventeurs

#### *Yves Le Prieur (1885-1963)*

Officier de Marine, Yves Le Prieur sert en Extrême-Orient, où il effectue, en 1909, le premier vol officiel jamais accompli au Japon, d'un planeur de son invention. Précurseur de la plongée sous-marine, il s'intéresse aussi à la conduite des tirs d'artillerie.

En 1915, il est chargé, à Paris, de définir les méthodes de tir contre avions. On lui doit alors des appareils de correction pour les canons antiaériens, des fusées incendiaires contre les dirigeables, ainsi que des bombes contre les sous-marins. En 1916, il invente un système de quatre fusées déclenchées électriquement qui, monté sur un Nieuport, sera très efficace contre les ballons d'observation allemands.

Détaché, en 1917, au Service de l'aéronautique militaire, Yves Le Prieur améliore la précision des viseurs pour le largage des bombes. En 1922, il rejoint la société Breguet, puis « La Précision moderne ». Son expérience de marin, alliée à celle d'aviateur, lui permet de réaliser le « Navigraphe », dérivomètre destiné aux avions. Il continue à améliorer les correcteurs de tir des canons antiaériens et conçoit une tourelle de tir multitube pour la défense antiaérienne.

Mais, fidèle à son milieu d'origine, il invente le premier scaphandre autonome, le fusil marin Nautilus et une caméra sous-marine. Yves Le Prieur a été, durant toute sa vie, un remarquable innovateur, pour l'Aviation comme pour la Marine.

### *Etienne Oehmichen (1884-1955)*

Diplômé de l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures de Lyon (1908), Etienne Oehmichen débute comme ingénieur à la SACM, puis chez Peugeot. Il est mobilisé en 1914, dans l'artillerie. Il est affecté, en 1916, à l'Etat-Major du Général Estienne et devient l'adjoint de ce créateur du char d'assaut français. Il participe activement au perfectionnement des blindés.

Etienne Oehmichen construit, en 1920, un hélicoptère, doté d'un ballonnet à hydrogène, qui s'élève pendant plus d'une minute, le 15 janvier 1921. C'est le premier vol soutenu d'un hélicoptère, alors appelé « hélicosphère ». En 1922, Oehmichen réalise un deuxième appareil, cette fois sans ballon, équipé de quatre rotors tournant deux à deux en sens inverse et de cinq hélices horizontales pour évoluer, de deux hélices propulsives et d'une hélice directionnelle.

Avec cet appareil, Oehmichen effectue 500 vols, en 1923 et 1924. Le 4 mai 1924, il accomplit officiellement le premier vol en circuit fermé, puis le premier vol avec deux passagers. Il conçoit ensuite un appareil comportant quatre rotors aux sommets d'un bâti cruciforme et un ballonnet central. Cet « hélicostat » effectue, au début des années 1930, des vols d'une demi-heure à 300 m d'altitude.

Oehmichen fait aussi progresser des techniques d'autres secteurs (dynamos, démarreurs, stroboscopes, projecteurs cinématographiques, caméras à haute fréquence). De 1938 à 1955, il occupe la chaire au Collège de France d'E.-J. Marey et de Claude Bernard.

Etienne Oehmichen figure, avec Louis Breguet et Paul Cornu, parmi les grands créateurs de l'hélicoptère.

## *7.2. Ingénieurs qui ont innové dans plusieurs domaines différents*

### *Paul Dumanois (1885-1964)*

Paul Dumanois commença sa carrière d'Ingénieur du Génie Maritime, en 1908, à Cherbourg, où il fut affecté aux travaux sur les sous-marins. Il fut chargé de la construction d'un sous-marin de 55 t, à moteur Diesel, ce qui était alors très nouveau. A Toulon, il contribua puissamment à la mise au point des moteurs Diesel pour des sous-marins de plus grand tonnage. Ce fut pour lui le début de ses études personnelles sur les moteurs à combustion interne. En 1913, il publia un mémoire original sur l'application du moteur Diesel aux navires de guerre, qui lui valut un prix de l'Académie des Sciences.

Lors de la guerre 1914-1918, les avions eurent de sérieux problèmes de moteurs. En novembre 1916, fut créée la Section Technique de l'Aéronautique Maritime. Paul Dumanois y fut affecté comme chef de la section des moteurs.

A partir de 1919, un Service Technique unique a la charge de l'ensemble des constructions aéronautiques. En son sein, est créé, en novembre 1920, un Service des Essais, dont la direction est confiée à Paul Dumanois. En quelques années, celui-ci dote la France d'un véritable aérodrome d'essais, à Villacoublay, tandis que les essais de moteurs se développent à Chalais-Meudon. A Villacoublay, tout était à créer : l'infrastructure, l'organisation, les méthodes d'essais, les instruments de mesures. Paul Dumanois joue un rôle essentiel dans cette création de ce qui est devenu le Centre d'Essais en Vol (CEV) de Villacoublay, puis de Brétigny et d'Istres.

Cette intense et féconde activité n'empêche pas Paul Dumanois de poursuivre ses recherches sur les moteurs, notamment sur les phénomènes de combustion et de détonation. Ses travaux sont récompensés par plusieurs prix de l'Académie des Sciences.

En janvier 1923, il est affecté à la Direction des Essences et des Pétroles, au Ministère du Commerce et de l'Industrie. Lorsque l'Office National des Combustibles liquides est fondé, il y prend la direction des services techniques. Pendant quelque temps, Paul Dumanois cumule cette fonction avec celle qu'il exerce au Service Technique Aéronautique. Puis, en août 1927, il se fait affecter entièrement à l'Office National des Combustibles liquides. Il crée la Station nationale d'essais des moteurs de Bellevue. Entre-temps, il est intégré, en 1925, dans le corps des Ingénieurs de l'Aéronautique qui vient d'être créé.

En mars 1934, Paul Dumanois revient au Ministère de l'Air où il est nommé Directeur des constructions aériennes. Ses prises de position catégoriques se heurtant à de fortes oppositions au sein du Ministère, il est affecté, en mai 1935, à l'Inspection Générale. Il y prend alors de nombreuses initiatives, notamment pour la recherche et l'enseignement.

C'est ainsi qu'il crée, en 1938, avec les ingénieurs Leroux et Poincaré, le Groupe de Recherches Aéronautiques (GRA). Il veut ainsi constituer un organisme de recherche analogue au NACA, aux Etats-Unis. Le GRA réussit à subsister sous l'Occupation et constitue un des premiers éléments de l'ONERA qui est créé en 1946. Paul Dumanois fait transférer en France les constituants d'une soufflerie géante qui était, en 1945, en cours de construction dans les Alpes autrichiennes, de façon à être alimentée par l'énergie hydraulique d'un barrage à haute altitude. La construction de cette grande soufflerie et sa mise au point furent à l'origine du Centre de l'ONERA à Modane-Avrieux, centre auquel on a donné le nom de Paul Dumanois.

La limite d'âge qui l'atteint en 1947 permet à Paul Dumanois de se consacrer entièrement à l'enseignement et à la recherche dans le milieu pétrolier. Il parraine la fondation de l'Institut Français du Pétrole (IFP) qu'il préside en 1951 et 1952.

Remarquable ingénieur de la Marine et de l'Air (vice-président de l'Association Technique Maritime et Aéronautique), éminent spécialiste des moteurs et des carburants (on lui doit l'adoption de l'indice d'octane, comme critère d'emploi de carburants dans les moteurs à combustion interne), il a aussi une audience considérable dans l'ensemble du domaine de la Mécanique (il est Président-fondateur de la Société Française des Mécaniciens).

Dans tous les domaines où Paul Dumanois a exercé son activité, avec compétence, clairvoyance et efficacité, son nom restera attaché à des organismes, tels que le CEV, le GRA et Sup'Aéro en Aéronautique, l'IFP pour les carburants, la SFM en Mécanique. Il fut un remarquable innovateur, tant pour les techniques aéronautiques et pétrolières que pour l'enseignement et la recherche. Il conserva toute sa vie une étonnante jeunesse d'esprit, sachant encourager les vocations, orienter les travaux des ingénieurs débutants et dégager des perspectives nouvelles aux organismes de formation, de recherche et d'essais.

### *Marcel Wanner (1905-1972)*

A sa sortie de l'Ecole Polytechnique en 1927, Marcel Wanner choisit le Corps du Génie Maritime. En 1931, le Corps des Ingénieurs militaires de l'Air, récemment créé, fait appel à lui pour apporter son concours à la Section des hydravions, dont il devient le chef, de 1939 à 1945.

Marcel Wanner étend alors ses connaissances en aéronautique. Il devient en 1945 Sous-Directeur du Service Technique Aéronautique, puis il en est nommé Directeur en 1948. En 1954, il dirige le Bureau de coordination des recherches de la Direction technique des constructions aéronautiques.

Parallèlement à l'exercice de ses fonctions étatiques, Marcel Wanner fait une large place à la recherche et à l'enseignement. Dans ses « *Leçons sur les hydravions et les flotteurs* » enseignées à Sup'Aéro, il transpose les techniques de construction navale à l'hydravion dont il étudie le comportement au décollage et à l'amerrissage. A partir de 1944, il sort du domaine de l'hydravion, pour aborder celui des nouveaux modes de propulsion aéronautique.

En 1948, il approfondit la Mécanique du Vol de l'avion et des missiles et analyse les différents régimes de fonctionnement des statoréacteurs. L'ingénieur général Marcel Wanner termine sa carrière à Sud Aviation. Il a, tout au long de sa carrière, fait le pont entre la science et la technique, en partant du domaine naval pour s'épanouir dans le domaine aéronautique.

### *Pierre Contensou (1914-1987)*

Entré à l'Ecole Polytechnique à l'âge de 18 ans, il est ensuite admis dans le corps des ingénieurs du Génie Maritime, puis complète sa formation à Sup'Aéro. Cette double formation a marqué toute sa carrière qui s'est déroulée en deux grandes phases, la première jusqu'en 1958 dans les constructions navales, la seconde dans la recherche aérospatiale.

Affecté en 1938 à la Direction des constructions navales de Brest, il est chargé de la réparation des hydravions, puis, à Dakar, de 1941 à 1945, de la réparation des bâtiments de surface et des sous-marins. De 1945 à 1958, il participe activement aux études et aux réalisations de la Direction centrale des constructions et armes navales dans le domaine, alors nouveau des engins spéciaux (appelés depuis « missiles »). Il contribue très largement au succès du missile antiaérien Masurca et du missile Malafon à torpille anti-sous-marine. Il mène aussi une action décisive pour la création du futur Centre d'essais de la Méditerranée.

En 1958, le professeur Maurice Roy, alors Directeur général de l'ONERA, et son adjoint, l'ingénieur général Robert Legendre invitent Pierre Contensou à les rejoindre pour développer l'effort de l'ONERA dans le domaine des missiles. Les succès des tirs des missiles supersoniques et hypersoniques Stalaltex, Antarès, Bérénice, Tibère, ainsi que celui du satellite Castor, équipé du microaccéléromètre Cactus, sont largement dus à Pierre Contensou et à son équipe de la Direction des études de synthèse, à laquelle il a su transmettre sa compétence et communiquer son enthousiasme et son dynamisme.

C'est à Pierre Contensou que l'on doit le remarquable essor des travaux de l'ONERA concernant la propulsion par statoréacteur. A l'époque, l'objectif est l'étude de l'hypersonique. L'engin expérimental Stalaltex franchit Mach 5 à plusieurs reprises et établit ainsi des records mondiaux. Puis Antarès permet d'atteindre Mach 7. Bérénice et Tibère parviennent à Mach 12 et Mach 15. Cette expérience des statoréacteurs est ensuite exploitée pour contribuer à l'étude et à la mise au point du missile Air-Sol Moyenne Portée (ASMP) de la société Aérospatiale.

Mais c'est dans la mécanique spatiale que Pierre Contensou s'illustre tout particulièrement. Passionné par les problèmes d'optimisation, il propose d'élégantes méthodes géométriques pour la topologie des espaces à grand nombre de dimensions, avant même que Pontryagine en effectue l'étude analytique.

Ces méthodes sont parfaitement adaptées à la mécanique spatiale, où la recherche de l'économie d'énergie de propulsion est essentielle, mais elles sont aussi utilisables dans bien d'autres domaines. Nommé Directeur général de l'ONERA en 1973, Pierre Contensou continue à mener également une activité d'enseignement à l'Ecole Polytechnique, à l'Ecole Nationale supérieure du Génie Maritime, à Sup'Aéro et à l'Ecole Centrale.

Dès 1963, il crée, à Sup'Aéro, l'année de spécialisation en mécanique aérospatiale. La qualité de ses publications, en particulier sur la mécanique spatiale, lui vaut d'obtenir trois prix de l'Académie des Sciences où il est admis comme membre en 1982. Sa réputation dépasse largement nos frontières. Il est membre de l'Académie internationale d'Astronautique. Son esprit, toujours très curieux, s'intéresse à des domaines variés. Il applique sa théorie générale d'optimisation au mouvement des navires, au vol des oiseaux et à celui des insectes. Il s'enflamme pour le renouveau du dirigeable qui lui rappelle les premières années de sa carrière quand il avait souligné l'analogie entre le mouvement de ce vaisseau aérien avec celui d'un navire en mer.

Pierre Contensou savait aussi trouver la citation adéquate : il avait, par exemple, découvert, pour rédiger la préface du livre de Jean-Pierre Marec « *Trajectoires spatiales optimales* », ce texte emprunté au *Micromégas* de Voltaire :

*« Notre voyageur connaissait merveilleusement les lois de la gravitation et toutes les forces attractives et répulsives. Il s'en servait si à propos que, tantôt à l'aide d'un rayon de soleil, tantôt par la commodité d'une comète, il allait de globe en globe, lui et les siens, comme un oiseau voltige de branche en branche ». Comment mieux évoquer le concept des rendez-vous multiples interplanétaires ?*

La brillante carrière de Pierre Contensou, caractérisée par un harmonieux équilibre entre la recherche, les réalisations et l'enseignement, fait honneur au corps des ingénieurs de l'Armement. Eminent scientifique, brillant ingénieur, excellent professeur, aux qualités humaines remarquables, l'ingénieur général Pierre Contensou a profondément mérité la reconnaissance de la communauté aérospatiale française et internationale.

### *Jean Friberg (1925-1992)*

Reçu à l'Ecole Polytechnique en 1945, Jean Friberg en sort dans le Corps des Ingénieurs militaires de l'Air. De 1952 à 1958, en tant qu'ingénieur au Centre d'essais des moteurs et hélices (CEMH, qui devint ensuite le CEPr, Centre d'Essais des Propulseurs), il apporte une solution aux problèmes de régulation du réacteur Nene qui équipait l'intercepteur Ouragan de Dassault.

Fin 1958, Jean Friberg quitte le CEMH pour entrer à la SACM (Société Alsacienne de Constructions Mécaniques) où il est chargé de l'étude des compresseurs pour l'usine de séparation isotopique de Pierrelatte. Il propose une solution originale d'étanchéité, basée sur le principe de la pompe à vide de Holweg. Puis il aborde l'étude aérodynamique du compresseur, en liaison étroite avec l'ONERA.

Le choix d'un compresseur supersonique est retenu, ainsi que l'emploi de paliers à gaz. La qualité de ces travaux et de ceux entrepris par la société Rateau conduit à regrouper les équipes des deux sociétés, sous la direction de Jean Friberg. Les machines construites utiliseront le compresseur Friberg et la pivoterie Rateau. Depuis leur mise en service, à partir de 1967, à Pierrelatte, un millier de compresseurs d'hexafluorures d'uranium sont en fonctionnement continu, jour et nuit, sans incidents notoires.

En 1967, Jean Friberg est chargé de la rénovation de la gamme de machines-outils de l'usine de Graffenstaden d'Alcatel. Son expérience des systèmes asservis, acquise dès son affectation au CEMH, permet à Jean Friberg moderniser complètement les machines-outils. Il est ensuite nommé directeur des études aérodynamiques d'Alcatel, en son centre de recherches de Bruyères-le-Chatel. Les compresseurs supersoniques, centrifuges et axiaux, sont l'objet d'études, en liaison avec l'ONERA, la SNECMA et Turboméca, en vue d'applications aéronautiques, ainsi que d'études destinée à l'usine civile d'enrichissement de l'uranium du Tricastin.

La DRET voit alors une application intéressante de ces recherches dans le domaine des petites turbomachines et met en œuvre un projet de compresseur à deux étages : le CASTOR (Compresseur Axial Supersonique Turboméca ONERA Rateau). Cette collaboration entre des équipes orientées vers des applications très différentes, mais avec des techniques voisines, est très fructueuse, elle permet d'atteindre les objectifs ambitieux, tels qu'un taux de compression, par étage, de 3, avec un rendement de 84 %.

A la fin de sa carrière dans l'industrie, Jean Friberg est nommé professeur titulaire au CNAM, à la chaire de Machines hydrauliques et thermiques, à la suite de Marcel Sédille. Avec Peugeot SA, il étudie une petite turbine à géométrie variable destinée aux turbocompresseurs d'automobiles. Il réalise un banc d'essai moteur reproduisant les accélérations d'un véhicule de tourisme, en vue d'étudier le temps de réponse d'un moteur suralimenté. Il entreprend également des études hydrodynamiques et thermodynamiques de pompes à vide à anneau liquide, pour la société GEC Alsthom Bergeron.

Jean Friberg eut ainsi trois carrières, celles de chercheur, d'ingénieur et de professeur, dans trois domaines : l'Aéronautique, l'Energie atomique, l'Industrie mécanique. Entre ces trois domaines, des synergies eurent lieu grâce à lui. Elles conduisirent à de remarquables succès qui donnèrent à la France une position de premier plan sur la scène internationale.

### *7.3. Trois grands Poudriers scientifiques*

#### *Paul Vieille (1854-1934)*

**Par l'Ingénieur Général René Amiable, organisateur des Journées scientifiques Paul Vieille**

Paul Vieille commença sa carrière d'ingénieur des poudres en 1875, au Laboratoire Central des Poudres, aux côtés d'Emile Sarrau. Sous la direction de celui-ci, il réalisa de remarquables travaux de thermochimie appliquée aux substances explosives. Il perfectionna la bombe calorimétrique en 1878 et, en 1881, il établit une nouvelle méthode de calorimétrie chimique, en utilisant la combustion de la substance étudiée en présence d'oxygène en excès et sous pression.

En outre, en collaboration avec Emile Sarrau, Paul Vieille effectua des études approfondies de balistique intérieure :

- étude approfondie, en 1879, du fonctionnement du Crusher équipant la bombe manométrique de Schultz ;
- perfectionnement de la bombe manométrique (résolution du problème de l'étanchéité, invention du manomètre enregistreur) ;
- mesure de l'évolution de la pression dans la bombe, en 1881, en fonction du temps et établissement, en 1882, de la loi de combustion des poudres noires.

Ces travaux le conduisirent à la célèbre invention de la poudre B, en 1884. Il avait constaté que la loi de développement de la pression, en fonction du temps, d'une poudre noire de composition chimique donnée, brûlant à une densité de chargement

donnée, dépend fortement de sa compacité. Il eut l'idée de mettre le coton-poudre fibreux sous la forme de plaquettes compactes afin d'en maîtriser la combustion. Pour cela, il eut recours à un mélange d'alcool et d'éther qui a la propriété de gélatiser la nitrocellulose.

Dès 1885, il mit au point le procédé industriel de fabrication de la poudre B, dans l'enceinte de la poudrerie nationale de Sevran-Livry. Cette nouvelle poudre propulsive très performante et sans fumée conféra à la France une grande supériorité pendant de nombreuses années. Par ailleurs, Paul Vieille étudia, dès 1880, l'explosion dans les gaz. Il mit en évidence les vitesses très élevées de propagation de la réaction explosive et, dès 1882, il reconnut les principaux caractères du passage de la déflagration à la détonation, passage qu'il nomma « transition ». Il faut citer encore :

- l'étude de la propagation d'onde dans les milieux gazeux non explosifs (invention du tube à choc et mise en évidence des ondes de choc) ;
- l'étude de la nitration du coton, de la stabilité chimique des poudres B, des propriétés explosives de l'acétylène.

Entré, comme simple ingénieur, en 1875, au Laboratoire Central des Poudres, il en devint le directeur en 1897 et y poursuivit toute sa carrière qui se termina en 1918. En 1904, il avait été promu au grade d'Inspecteur Général des Poudres et avait été admis à l'Académie des Sciences.

Scientifique de premier plan et très habile expérimentateur, Paul Vieille fut un des plus grands savants français de la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle.

### *Claude Fréjacques (1924-1994)*

**Par Jacques Friedel, ancien Président de l'Académie des Sciences et Emmanuel Grison, Professeur honoraire à l'Ecole Polytechnique**

Reçu à l'Ecole Polytechnique au concours de 1943, Claude Fréjacques partit aux armées après la Libération et se trouva artilleur en Autriche lors de l'armistice. Sa seconde année à l'X devait être décisive pour son orientation.

Sans doute par atavisme familial s'intéressait-il à la chimie – son père, chimiste, fut directeur des recherches à la compagnie Péchiney -, mais cette vocation fut révélée par la rencontre qu'il fit alors de Jean Ullmo et d'Edmond Bauer. Ullmo, répétiteur d'analyse à l'Ecole, était très au fait des derniers progrès de la physique ; il en parlait aux élèves et avait fait venir à ses réunions à l'Ecole Edmond Bauer, dont l'enseignement à l'Université, résolument moderne, suivait les développements de la chimie physique.

Claude Fréjacques, conquis par ce dernier contact, choisit de sortir dans le Corps des Poudres pour entreprendre une thèse de doctorat en chimie physique. Le Service des Poudres connaissait alors un remarquable éveil à la recherche scientifique : dès avant la guerre, et quelque peu à contre-courant d'une opinion traditionaliste, Jean Desmaroux, directeur du Laboratoire Central des Poudres, avait incité plusieurs ingénieurs à faire une thèse et avait favorisé l'essor, dans son établissement, d'une recherche fondamentale qu'il estimait indispensable pour soutenir, à terme, l'innovation technique.

Cette orientation avait été reprise et amplifiée après la guerre par ses successeurs, tant au Laboratoire Central (Jean Fauveau) qu'à la Direction des Poudres (Georges Fleury). Ce fut donc dans un milieu particulièrement favorable que purent s'épanouir les débuts scientifiques de Claude Fréjacques.

Le titre de sa thèse avait une connotation poudrière : « Nitration, en phase vapeur, du méthane » ; le sous-titre « structure de l'acide nitrique en phase vapeur » révélait

l'orientation physico-chimique. Le travail avait été fait au laboratoire d'Edmond Bauer, à l'Institut de chimie physique de la Sorbonne et c'est celui-ci qui fut, au jury, le rapporteur de la thèse.

A côté d'une étude fondamentale qui aboutissait, entre autres, au calcul des constantes thermodynamiques de la molécule  $\text{NO}_3\text{H}$ , cette thèse avait permis de découvrir un procédé de préparation de « l'oléum nitrique » (acide surdosé en anhydride), produit non encore utilisé dans les nitrations. Claude Fréjacques fit prendre par le Service des Poudres un brevet sur cette fabrication, montrant déjà son souci de prévoir et de protéger l'application pratique.

Peu après, le Service des Poudres, estimant qu'il était de sa mission d'étudier l'explosif atomique, engageait de premiers travaux sur la séparation de l'isotope 235 de l'uranium. Mais, étant donné les importants moyens du CEA, il fut bientôt convenu entre Georges Fleury et Pierre Guillaumat que la poursuite de ces recherches serait confiée au CEA, bien que celui-ci n'eut pas encore à son programme les applications militaires de l'atome.

Le Service des Poudres encouragea alors le détachement au CEA d'un certain nombre de ses ingénieurs, dont Claude Fréjacques qui y entra en 1956, comme adjoint au chef du département de chimie physique, Jules Guéron. Il y fut spécialement chargé des études de séparation isotopique de l'uranium par diffusion gazeuse. Ce furent alors des années de recherche en tous domaines : théorie thermodynamique, théorie de la diffusion gazeuse, étude de barrières poreuses, chimie de l'hexafluorure d'uranium, etc..., qui conduisirent à la construction de l'usine de Pierrelatte (1967).

Si Georges Besse en fut le constructeur, c'est Claude Fréjacques qui définit et garantit le procédé et les spécifications des appareils. Immense et ambitieux projet dont la réalisation, sans l'aide de l'étranger, dota la France de l'indépendance nucléaire, tant pour la production d'énergie que pour la Défense. La poursuite des recherches après Pierrelatte sous l'impulsion de Claude Fréjacques permit à la France, avec l'édification d'Eurodif à Tricastin (1973-1983) de se hisser au meilleur niveau international, tant pour les barrières de diffusion que pour les compresseurs.

Au CEA, les responsabilités de Claude Fréjacques s'étaient étendues : directeur de la direction de chimie physique, il continuait les recherches sur l'autre grand procédé de séparation de l'uranium 235, la centrifugation ; il découvrit aussi et mit au point, au niveau semi-industriel, un procédé nouveau basé sur des échanges chimiques en phase liquide.

En marge des recherches sur la séparation des isotopes de l'uranium, les chimistes de la division de Claude Fréjacques firent, en 1972, une découverte surprenante appelée à un retentissement certain dans le domaine des sciences de la Terre, comme dans l'étude de l'impact de l'énergie nucléaire sur l'environnement terrestre : le « réacteur nucléaire naturel » d'Oklo, au Gabon. Ayant constaté des irrégularités dans la teneur en isotope 235 de l'uranium naturel, ils réussirent à remonter à leur origine qu'ils trouvèrent dans la mine d'uranium d'Oklo.

A la suite d'un considérable programme de recherches, ils purent établir que cette mine avait été, dans les âges géologiques, le siège de création en chaîne de fissions, entretenues pendant des milliers de siècles ; les preuves chimiques et isotopiques purent en être réunies de manière irréfutable. Dans cette période, Claude Fréjacques s'était particulièrement intéressé à l'évolution, dans le temps, de la répartition des éléments radioactifs, importante dans le contexte du stockage des matériaux fissiles.

Portée par l'expansion des « Trente glorieuses », cette carrière d'une exceptionnelle fécondité était restée constamment sous le signe de la camaraderie chaleureuse, de

l'ouverture cordiale et simple, de la gaïté communicative qui étaient la marque du caractère de Claude Fréjacques. Sa vocation de chercheur n'empêcha pas Claude Fréjacques de se consacrer à l'enseignement de la chimie à l'X. Nommé maître de conférences en 1955, il resta en fonction jusqu'en 1971. Ses élèves se souviennent de son style direct et du tutoiement qu'il pratiquait naturellement (comme Monge !), bien que ce ne fut pas encore commun.

A partir de 1976, la carrière de Claude Fréjacques déborda le cadre de la recherche au CEA et de l'enseignement à l'X, pour aborder l'administration nationale de la recherche. Nommé président du Comité consultatif de la Recherche scientifique et technique (« les Sages »), il y resta, comme membre, jusqu'en 1980. Pierre Aigrain, alors ministre de la Recherche, le nomma ensuite à la tête de la Délégation générale à la recherche scientifique et technique. Puis, à partir de 1982, Claude Fréjacques assura, pendant une dizaine d'années, la présidence du CNRS. Dans cette période, il fut aussi Conseiller des ministres de la recherche successifs et Délégué à Bruxelles dans des conseils scientifiques.

Claude Fréjacques a dû faire face, dans ses diverses activités scientifiques, à des situations difficiles. Chaque fois, son calme souriant et son entregent ont permis d'arranger bien des choses. Elu à l'Académie des Sciences à la fin des années 70, il y laissa fortement sa marque dès avant son élection comme vice-président en fin de 1992. Claude Fréjacques créa et présida le Comité de l'Environnement, responsable de rapports de l'Académie, où il sut faire la part des connaissances tirées de ses activités au CEA, sans se laisser enfermer dans une défense systématique d'intérêts nucléaires ou industriels. Elu au Comité des applications de l'Académie des Sciences (CADAS), il en devint le vice-président et contribua largement à en faire l'équivalent reconnu des académies d'ingénieurs étrangères.

Une action originale entreprise dans ce cadre a été la création de « Science contact », une organisation très légère qui, à partir de La Villette, répond à toutes les questions techniques des journalistes scientifiques. Claude Fréjacques en assura la direction du Conseil scientifique et, par le choix des consultants, le succès qui est maintenant bien établi. Intéressé de longue date à la gestion de la complexité, il était persuadé de l'importance d'une formation pour aborder utilement ces problèmes et il persuada les membres de l'Académie des Sciences morales et politiques de réfléchir sur la notion du risque dans le contexte du droit. Ce thème fut repris, en 1995, par un colloque inter-académique pour le Bicentenaire de l'Institut.

Claude Fréjacques avait un rayonnement exceptionnel, fondé sur une carrière et une intelligence hors du commun, ainsi que sur ses qualités humaines et une vie personnelle profonde et équilibrée où surtout une vie familiale intense et heureuse jouait le rôle essentiel.

### *André Rousset (1930-2001)*

Entré à l'Ecole Polytechnique avec la promotion 1951, André Rousset y passe deux années studieuses. Son professeur de physique Louis Leprince-Ringuet lui donne l'envie d'en savoir davantage. Il découvre ainsi sa vocation qui est de faire de la recherche scientifique. C'est pourquoi il choisit, à la sortie, de faire partie du Corps des Poudres, réputé pour être très ouvert à la recherche. Il avait alors l'intention de se consacrer à la recherche en chimie. Cependant, il prend contact avec les physiciens du laboratoire de Louis Leprince-Ringuet à l'Ecole Polytechnique, ce qui le conduit à faire un stage à l'observatoire du Pic du Midi, dans les Pyrénées, où fonctionnent deux chambres de Wilson. Ce stage détermine l'orientation de la carrière scientifique d'André Rousset qui trouve plus d'attrait dans le rayonnement cosmique que dans les tubes à essais. Mais il continue à suivre l'enseignement de l'Ecole des Poudres où il

apprécie particulièrement le cours de chimie quantique professé par Claude Fréjacques. Voilà enfin, dit-il : « *Un enseignement qui tire profit des dernières avancées de la science !* ».

En octobre 1955, André Rousset entre au laboratoire de physique de l'Ecole Polytechnique, dans l'équipe du Pic du Midi, dirigée par Bernard Grégory. Il trouve une atmosphère exaltante, au sein d'une communauté d'astronomes, de physiciens et de météorologues. André Rousset perfectionne les dispositifs de mesure des chambres de Wilson, ce qui facilite beaucoup leur exploitation.

Cependant, les perspectives offertes par les accélérateurs de particules, alors en construction à Saclay et à Genève, apparaissent plus prometteuses que celles fournies par les rayons cosmiques. Sur les conseils d'André Lagarrigue, il étudie, en chambre de Wilson, l'ionisation d'une particule chargée. En octobre 1958, il présente ses résultats devant un jury de thèse comprenant Francis Perrin et Alfred Kastler.

Cet éminent jury lui décerne le titre de Docteur d'Etat. Cependant, aux Etats-Unis, un autre type de détecteur a été inventé : la chambre à bulles, dont le principe est l'inverse de celui de la chambre de Wilson. Le passage d'une particule chargée provoque, dans un liquide surchauffé, une ébullition tout le long de sa trajectoire. André Rousset fait donc construire une grande chambre à bulles qu'il expérimente avec les faisceaux de neutrinos du Centre Européen de Recherche Nucléaire (CERN), à Genève.

C'est alors que commence l'aventure « Gargamelle ». Il s'agit d'une chambre à bulles géante, conçue par le laboratoire de l'Ecole Polytechnique pour accumuler les réactions du neutrino et pour analyser ces réactions. En 1969, André Rousset est recruté par le CERN pour assumer la responsabilité du programme des chambres à bulles à liquide lourd, tel que le fréon. Ceci permet à André Rousset de découvrir, en 1973, les courants neutres faibles. Cette découverte conduit à unifier l'interaction électromagnétique et l'interaction faible. Les expérimentateurs du CERN ont précédé leurs homologues américains et pourtant c'est à ceux-ci que fut décerné, en 1979, le Prix Nobel de physique. André Rousset a rendu un vibrant hommage à André Lagarrigue, décédé en 1975, qui aurait pleinement mérité cette distinction.

En 1974, André Rousset revient au laboratoire de l'Ecole Polytechnique pour y étudier les interactions de protons. Quelques mois plus tard, Hubert Curien, alors Délégué général à la recherche scientifique et technique (DGRST), lui demande d'occuper un poste de conseiller pour la physique et les relations avec le CEA. A la DGRST, André Rousset est ainsi chargé de suivre les programmes européens et particulièrement ceux d'Euratom. Il contribue ainsi à la décision de lancer le programme communautaire JET pour l'étude de la fusion thermonucléaire.

En 1979, Pierre Aigrain, alors sous-secrétaire d'Etat à la recherche demande à André Rousset de mettre en place la programmation des très grands équipements de la science. Il s'agit d'équipements tels que les accélérateurs de particules, de navires océanographiques, de gros instruments de biologie, aussi bien que de grands calculateurs scientifiques.

Ceci conduit André Rousset à faire décider d'installer, à l'Ecole Polytechnique, un Cray 1, destiné aux chercheurs de l'Ecole, mais aussi à ceux du CNRS, de la Météorologie nationale et de l'ONERA. D'autre part, à l'initiative d'André Rousset, un laboratoire souterrain est construit dans les Alpes, près de Modane, pour tenter de mettre en évidence la désintégration du proton.

Sur proposition de Pierre Aigrain, André Rousset est nommé membre du Comité de la recherche scientifique et technique, plus connu sous le nom de « Comité des Sages ».

L'expérience acquise par André Rousset à la DGRST conduit Henri Martre, délégué général pour l'Armement, à proposer, en 1981, au ministre de la Défense Charles Hernu de lui confier le poste de conseiller scientifique du ministre et d'être chargé de la Mission Recherche à la DGA. Dans ses nouvelles fonctions, André Rousset peut avoir une vue d'ensemble des études amont du ministère de la Défense. Avec Emile Blanc, conseiller du ministre, il est à l'origine des Journées Science et Défense, du Prix Science et Défense, dont le jury est présidé par Louis Néel, prix Nobel de physique. et du Conseil scientifique de la Défense.

André Rousset attache une grande importance à la formation des jeunes à la recherche. C'est pourquoi il propose au Ministre de porter à 2 000, au lieu de 1 500, le nombre annuel de scientifiques du contingent et de porter à 7, au lieu de 4, le nombre d'Ingénieurs de l'Armement option Recherche recrutés chaque année.

En 1983, André Rousset fait partie des membres fondateurs de l'Académie nationale de l'air et de l'espace, créée à l'initiative d'André Turcat. En 1986, Henri Martre, alors Président de l'Aérospatiale, l'appelle auprès de lui pour être son conseiller scientifique et lui demande de faire un tour du monde des laboratoires et des industriels travaillant dans les disciplines de pointe. André Rousset crée, à l'Aérospatiale, un comité de prospective qui traite de tous les sujets en évolution rapide, furtivité radar, détection infrarouge, lasers, intelligence artificielle, calculateurs parallèles, optique adaptative, etc...

D'autres thèmes, tels que la sécurité aérienne, l'impact du trafic aérien sur l'atmosphère et les problèmes posés par l'Homme dans l'Espace, sont examinés. André Rousset fait créer, par la Direction générale de l'aviation civile, le Comité Avion-Ozone qui analyse les effets, sur l'atmosphère, des divers effluents des moteurs d'avions. Pendant de nombreuses années, André Rousset est membre du Haut Conseil scientifique de l'ONERA auquel il apporte sa grande connaissance de la recherche expérimentale.

André Rousset quitte l'Aérospatiale en 1995, le jour de ses soixante-cinq ans. Hubert Curien et Louis Leprince-Ringuet assistent à la cérémonie d'adieux, au cours de laquelle Louis Gallois, président de la société, insiste sur la volonté d'André Rousset de tout expliquer de manière rationnelle, ainsi que sur ses talents de vulgarisateur. Ces talents, André Rousset n'a cessé de les développer, notamment au cours de son enseignement de la physique à l'Ecole des Mines, où il a succédé, en 1960, comme professeur, à Bernard Grégory. Il poursuit cet enseignement jusqu'en 1998. Sa nouvelle situation de retraité, à part entière, lui permet de rédiger un excellent livre de vulgarisation scientifique intitulé « *Les nouvelles frontières de la connaissance* »..

André Rousset était, avant tout, un homme de dialogue, animé d'un vif esprit de concertation qui créait une ambiance de franche cordialité. Chercheur passionné, il était toujours désireux de faire partager son goût pour la science et ses applications, surtout parmi les jeunes, comme il l'avait fait dans les différentes étapes de sa carrière si brillante et si féconde. Celle-ci montre combien la formation par la recherche est une excellente voie d'ouverture sur les métiers d'avenir, dans le large éventail des disciplines modernes.

## **7.4. La DRME et ses successeurs**

### **7.4.1. La DRME.**

Le 24 janvier 2001, le Professeur Aigrain fut convié, par l'Ingénieur Général Alain Crémieux, alors directeur du département Histoire de l'Armement au Centre des Hautes Etudes de l'Armement, à retracer la création de la Direction des Recherches et

Moyens d'Essais en 1961. Pierre Aigrain fut, en effet, l'un des fondateurs et en exerça la direction scientifique de 1961 à 1965.

Nous avons recueilli les principaux points abordés lors de cet entretien et nous les avons complétés par des éléments tirés du témoignage de Pierre Aigrain exprimé lors de la cérémonie d'hommage au Professeur Malavard, tenue le 13 mars 1991, au Ministère de la Recherche et de la Technologie, rue Descartes à Paris.

En préambule, Pierre Aigrain souligne que la création de la DRME en 1961 avait été préparée par une petite commission de trois personnes, présidée par Maurice Ponte, alors PDG de CSF et Président du CCRST (Comité Consultatif de la Recherche Scientifique et Technique). Cette commission avait été constituée en 1960 par M. Pierre Messmer, Ministre des Armées, pour proposer des mesures en vue d'améliorer les recherches scientifiques et techniques à finalité militaire.



*Pierre Aigrain, Directeur scientifique de la DRME, de 1961 à 1965*

La recherche technique, plus encore que la recherche scientifique, avait pris, du fait de l'Occupation, un grand retard, en France pendant la 2<sup>ème</sup> guerre mondiale. Certes, des travaux avaient été poursuivis dans certains domaines, tels que ceux des télécommunications, dans la suite des études françaises qui avaient conduit à réaliser un magnétron M 16 à cathode à oxyde. Deux exemplaires du M16 furent apportés en Grande-Bretagne par Maurice Ponte en 1940.

Remarquablement utilisé par les Britanniques dans une structure nouvelle, ce dispositif améliora considérablement les performances des radars aéroportés qui donnèrent aux avions alliés des performances remarquables dans la lutte anti-sous-marine et air-air.

En 1945, dans quelques domaines, tels que le radar, les télécommunications, et aussi l'aéronautique, la recherche technique française ne partait pas de zéro. Derrière les travaux qui s'étaient poursuivis clandestinement durant l'Occupation, il y avait les hommes qui étaient prêts à se mettre rapidement au niveau des Américains et des Britanniques. La création du CEA et du CNET en fut fortement facilitée.

Cependant, en 1958, force était de constater que le système français n'était pas encore à la hauteur, notamment pour la recherche pouvant avoir des applications militaires. A cet égard, Pierre Aigrain rend hommage au Général de Gaulle qui *"n'était pas un scientifique, mais se révéla être un prodigieux accélérateur de science"*.

Deux des piliers sur lesquels reposait l'action du Général de Gaulle furent, sans conteste, la défense nationale et la recherche scientifique. En ce qui concerne la recherche civile, l'une des premières actions de celui qui n'était encore que le dernier Président du Conseil de la IV<sup>ème</sup> République avait été de créer le CCRST pour conseiller le Gouvernement sur les orientations à donner à l'effort de recherche national. Mais le Chef de l'Etat souhaitait aussi qu'un effort particulier soit fait pour la recherche pouvant avoir un impact notable sur la Défense et c'est dans ce but que fut créée la Commission évoquée plus haut. Celle-ci constata immédiatement que, pour

résorber le retard dû à l'Occupation, il fallait que scientifiques et militaires se rencontrent et discutent des perspectives dans leurs domaines propres.

Il apparut très vite qu'il fallait constituer, au sein du Ministère de la Défense, un organisme, modeste par la taille, mais ambitieux par son dessein. Y travailleraient ensemble scientifiques, militaires et ingénieurs, avec pour mission de "*suivre et soutenir les recherches susceptibles d'orienter à terme la politique de défense de la nation*".

Ces termes du décret de création de la DRME, en 1961, montraient qu'il ne s'agissait pas seulement de recherches en soutien de programmes décidés, ni même de recherches en amont, mais aussi qu'il fallait reconnaître que l'orientation même de la politique de défense de la France dépendait, à terme, des recherches en cours. Cette mission fut accompagnée d'une autre, celle de créer et de développer des Moyens d'Essais de missiles, notamment ceux de la Force Nucléaire Stratégique (FNS), d'où le sigle DRME. Jusqu'alors les moyens d'essais de missiles étaient répartis entre les directions techniques, selon les utilisations opérationnelles; il fallait rapidement organiser des moyens nouveaux adaptés à la FNS en cours de création. Mais il était clair que cette mission ME devait être transférée, dès que possible, à la future Direction des Engins.

En l'attente d'armements nucléaires dont l'étude avait été entreprise avec vigueur au CEA, la Défense nationale était alors fondée sur des armements conventionnels basés sur des techniques classiques. La France n'avait pas encore de programme spatial, l'informatique et l'électronique françaises étaient peu développées.

Or, à cette époque, de nombreuses disciplines scientifiques et techniques prenaient, à l'étranger, un essor remarquable. Dès 1957, le premier satellite artificiel, lancé par l'URSS, avait montré la maîtrise soviétique des fusées pouvant servir de missiles balistiques intercontinentaux, dotés de bombes thermonucléaires.

Les Etats-Unis avaient alors réagi en confiant à la NASA un vaste programme de recherches, le programme Apollo : un Américain sur la Lune avant 1970, pari gagné en juillet 1969. Autre réaction, moins connue, mais tout aussi porteuse d'avenir pour la Défense américaine : la création de la DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*), au sein du *Department of Defense*, où elle est l'organisme chargé du front avancé de la recherche, avec des programmes à haut risque, mais à fort potentiel.

En microélectronique, en 1961, les circuits intégrés faisaient leur apparition et, très vite, ils donnaient un nouvel élan à l'informatique, grâce à la miniaturisation des composants des ordinateurs.

L'optique était totalement renouvelée, en raison de la découverte du laser en 1960 et des progrès des détecteurs en infrarouge.

De même, les matériaux composites inauguraient une ère nouvelle pour les structures des véhicules, aériens, navals ou terrestres ainsi que pour les cellules des missiles.

Ainsi, dans de très nombreux domaines techniques, de profonds changements s'opéraient au début de la décennie des années 60. En France, la création de la DRME arrivait à temps ! En créant la DRME et en en définissant sa mission comme ci-dessus, les décideurs (de Gaulle, Messmer, Lavaud), faisaient preuve de leur capacité à voir loin. Le choix de l'équipe de direction était essentiel. Il fallait qu'elle soit constituée d'universitaires ou para-universitaires de renommée internationale et ouverts aux problèmes de Défense.

Le choix de Lucien Malavard allait de soi. Ses travaux en Mécanique des Fluides avaient depuis longtemps été la base de nombreux développements aéronautiques et navals. Son prestige était immense, tant aux Armées qu'à la Faculté. Il choisit, comme « second » Pierre Aigrain, parce que son domaine de compétence (électronique et semi-conducteurs) était complémentaire du sien et aussi parce que leurs relations, au sein de la Faculté des Sciences de Paris avaient toujours été très cordiales. S'exprimant avec les termes de l'ancien Officier de Marine qu'il était, Pierre Aigrain disait :

*je n'ai jamais regretté d'être le second dans le navire commandé par Lucien Malavard !*



*Lucien Malavard, directeur de la DRME, de 1961 à 1965*

Les fondations furent solides : les créateurs, le Professeur Malavard et le Professeur Aigrain constituèrent, autour d'eux, une petite équipe d'officiers, d'ingénieurs militaires, d'ingénieurs civils, et de personnels du Service de Santé des Armées, médecins et pharmaciens, ainsi que d'universitaires à temps partiel. La recherche scientifique était du ressort du Professeur Aigrain, alors que la recherche technique était confiée à l'Ingénieur Général Billion.

Globalement, la DRME était constituée, dans la partie Recherche, pour un tiers, d'officiers, pour un tiers d'ingénieurs militaires ou de médecins et pharmaciens militaires, et, pour un tiers, de personnalités scientifiques extérieures au Ministère de la Défense. Ce "*melting pot*" eut de nombreux effets bénéfiques, en créant des synergies et en facilitant les contacts avec les Etats-majors, les Directions techniques de la Délégation Ministérielle pour l'Armement, l'Université, le CNRS, l'Industrie. Il faut noter que le Professeur Aigrain exerçait la fonction de Directeur scientifique pour l'ensemble de la DRME, en même temps qu'il dirigeait la sous-direction Recherche scientifique.

L'équipe de direction, dont faisait aussi partie l'Ingénieur en Chef Maurice Natta, pour les Moyens d'Essais, fut complétée par l'arrivée de l'Ingénieur en Chef Hughes de l'Estoile qui créa le Bureau Prospective et Orientation. Ce BPO servit de support à un Comité de prospective, présidé par le Professeur Aigrain, qui rassemblait des représentants des Etats-majors et d'éminentes personnalités scientifiques. La qualité des travaux fut telle que le Ministre des Armées, Pierre Messmer, décida de créer, en 1964, à partir du BPO, le Centre de Prospective et d'Evaluation (CPE) qui fut directement rattaché au Ministre.

Pierre Aigrain conclut l'entretien en ces termes :

*« Lorsque je quittai la DRME en 1965, en même temps que Lucien Malavard, (pour assurer la Direction générale des Enseignements supérieurs), j'avais passé les quatre années les plus heureuses de ma vie. J'espère que ceux qui ont travaillé avec moi ont eu, eux aussi, la même satisfaction du travail qui se faisait à la DRME ».*

Dès sa création, la DRME s'investit dans tous les domaines de pointe et y apporta un concours déterminant. A titre d'exemple, citons les lasers de faible énergie qui trouvèrent très vite de multiples applications : télémétrie, désignation d'objectifs, guidage de grande précision. Pour les lasers de moyenne et forte énergie, la DRME

lança un vaste programme, notamment aux laboratoires de la CGE à Marcoussis, en partenariat avec le CEA. Celui-ci étudiait les sources à très grande puissance crête, alors que la DRME s'intéressait surtout aux sources fournissant une énergie élevée pendant un temps suffisant pour pouvoir détruire les cellules des avions ou des missiles attaquants. D'autre part, les progrès en microélectronique numérique eurent deux conséquences essentielles :

- de nombreux matériels d'armement ont pu être remplacés par d'autres qui réalisaient les mêmes fonctions, mais de façon plus précise, plus commode et dans des conditions d'encombrement et de consommation bien meilleures ;
- des fonctions nouvelles purent être assurées et des systèmes nouveaux furent réalisés.

La mécanique des fluides, avec ses deux composantes majeures, l'aérodynamique et l'hydrodynamique, fut, pour la DRME, un champ de recherches privilégié, tant les applications militaires étaient évidentes. Le rôle de l'ONERA (Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales) fut essentiel, pour résoudre les problèmes du transsonique, du supersonique et de l'hypersonique. Des techniques nouvelles d'instrumentation non intrusives, souvent à base de lasers, furent mises au point, avec des applications aussi bien en aérodynamique qu'en hydrodynamique.

A cet égard, la DRME était particulièrement bien placée, puisqu'elle était pluridisciplinaire et chargée aussi bien du domaine aérospatial que du domaine naval.

En énergétique, les turboréacteurs et les moteurs-fusées furent grandement améliorés grâce aux progrès en aérodynamique interne et à ceux sur les matériaux, ainsi que sur la combustion des ergols. Fallait-il déduire de tous ces progrès que le domaine des vitesses des avions, des navires ou des chars allait s'agrandir considérablement, comme certains le prédisaient en 1961, en n'hésitant pas à annoncer des avions militaires volant à Mach 5, à basse altitude, pour échapper aux radars de l'adversaire ou encore en affirmant que des navires non conventionnels pourraient atteindre des vitesses de 60 à 80 nœuds, dans des conditions opérationnelles ?

Il faut reconnaître à la DRME et à l'ONERA le grand mérite d'avoir calmé cet enthousiasme irréaliste, en proposant des solutions nouvelles qui associaient des vecteurs différents et complémentaires, tels que l'avion porteur d'un missile à longue portée propulsé par un statoréacteur. Ce fut la solution, encore unique au monde actuellement, qui a prévalu pour la composante aérienne de la Force Nucléaire Stratégique.

La création de la DRME, en 1961, répondait au souci des plus hautes instances de la République, d'associer toutes les forces vives de la recherche française à la rénovation de la Défense nationale. Le choix, en 1961, du Professeur Lucien Malavard et du Professeur Pierre Aigrain, hautes personnalités du monde universitaire et grands scientifiques, pour diriger la DRME fut très judicieux, comme ce fut le cas, en 1965, pour leurs successeurs, le Professeur Jacques-Emile Dubois et le Professeur Jean-Loup Delcroix.

Avant de prendre ses fonctions de directeur de la DRME, le Professeur Jacques-Emile Dubois fut reçu par le Général de Gaulle. Alors qu'on lui avait dit que l'entretien serait très bref, en fait, il dura plus d'une demi-heure. Le Professeur Dubois déclara, ensuite, combien il avait été impressionné par la vision globale du Général et par l'importance qu'il attachait au long terme. Avec une telle introduction, la prestation du nouveau directeur de la DRME ne pouvait être que particulièrement remarquable.



*Jacques-Emile Dubois, Directeur de la DRME, de 1965 à 1977*

Certes, les fondations étaient solides : les créateurs, le Professeur Malavard et le Professeur Aigrain, avaient, avec leur petite équipe d'officiers, d'ingénieurs militaires, d'ingénieurs civils, et de personnels du Service de Santé des Armées, médecins et pharmaciens, ainsi que d'universitaires à temps partiel, remarquablement travaillé. De nombreux conventions et contrats, avec des organismes de recherche universitaires ou des établissements industriels, avaient été notifiés.

Le service militaire du Contingent avait été aménagé pour les jeunes scientifiques, de façon à leur permettre d'entamer un parcours de recherche prometteur dans des laboratoires de grand renom. Il s'agissait de recruter des thésards ou des jeunes diplômés des Ecoles d'ingénieurs, choisis pour leurs spécialités pouvant concerner la Défense. Ceux-ci pouvaient effectuer la majeure partie de leur service militaire dans des laboratoires de recherche. L'intéressé avait ainsi la possibilité d'élargir son domaine de connaissances scientifiques et techniques et de trouver des applications qu'il n'avait pas envisagées. En outre, le laboratoire d'accueil pouvait nouer des relations nouvelles avec le laboratoire d'origine du chercheur. En effet, la règle était d'affecter le scientifique du contingent dans un autre organisme que son laboratoire d'origine. Des tissus de relations très fructueuses furent ainsi créés et des carrières, souvent très brillantes, d'anciens scientifiques du contingent en ont résulté.

Les douze années, pendant lesquelles le Professeur Dubois dirigea la DRME, furent marquées par d'importants progrès techniques des matériels de Défense. Une part notable de ces progrès était due aux avancées scientifiques résultant des recherches suscitées par la DRME. Le professeur Dubois, qui faisait preuve d'une vaste compétence et d'une large ouverture d'esprit, joua un grand rôle dans l'établissement du système de programmation des recherches et des études « amont », au sein du ministère de la Défense.

Le Professeur Jean-Loup Delcroix, directeur scientifique de la DRME, de 1965 à 1976, était un spécialiste mondial des plasmas. Il joua un rôle essentiel à la DRME pour orienter les recherches sur les lasers de forte énergie. Cette activité s'exerçait en étroite liaison avec le CEA, mais avec des objectifs différents, le CEA étant plus concerné par les lasers à très forte puissance impulsionnelle, alors que la DRME s'intéressait aux sources lasers pouvant délivrer des énergies importantes sur des cibles militaires, telles que les lasers chimiques et les lasers à gaz carbonique. Ces recherches aboutirent au durcissement des matériels aéronautiques aux rayonnements lasers. Le Professeur Delcroix participa aussi pleinement à la sélection des scientifiques du contingent qu'il orienta avec une grande efficacité dans les voies les plus prometteuses.

Dans un article paru dans le Bulletin de l'Armement, de Juin 1972, le Professeur Jacques-Emile Dubois présente ses réflexions sur la DRME et les recherches de Défense. En voici les principaux extraits :

## Réflexions sur les recherches de Défense

*La création, en 1961, de la Délégation Ministérielle pour l'Armement qui regroupait les différentes Directions Techniques marquait la volonté du gouvernement français de fonder désormais la défense du pays sur le développement d'un armement faisant une large place aux technologies les plus avancées. Une telle politique ne pouvait se concevoir sans le soutien d'une politique de la recherche scientifique orientée pour satisfaire les besoins de la Défense. La création de la DRME, au sein de la DMA, répondait à cette nécessité. Après dix années d'expérience, il nous paraît opportun de tenter de dégager un corps de pensée cohérent sur le rôle des recherches scientifiques de Défense et de tirer quelques conclusions sur les méthodes mises en place pour la planification et la programmation des recherches et des études au sein des armées.*

### **S'adapter à l'évolution continue de la menace**

Depuis quelques années, nous sommes entrés dans une ère d'évolution continue des techniques d'armement qui modifie profondément l'environnement des problèmes de défense. Les performances des nouveaux systèmes d'armes dépassent de très loin celles des matériels de la génération précédente. La supériorité d'un système par rapport aux moyens d'un adversaire éventuel peut toujours être remise en cause, car un retard technique apparemment insurmontable peut être comblé par le hasard d'une découverte heureuse ou d'un raccourci technique, comme la science nous en a fourni quelques exemples.

La marge de sécurité sur laquelle se fonde toute politique de dissuasion reste toujours très étroite, alors qu'elle devrait être d'autant plus large que les conflits risquent d'être plus courts. Jamais n'a été aussi tendu le choix des Etats-Majors, entre la décision d'engager le développement de systèmes complexes et coûteux, susceptibles d'être rapidement surclassés, et celle de poursuivre les recherches en vue de nouveaux progrès.

En même temps que se poursuit l'escalade des performances des armements, de nouvelles formes d'agression déplacent les risques jusqu'en temps de paix et obligent les nations à prendre conscience que leur sécurité dépend de nouvelles contingences techniques, économiques et politiques, qui réclament une vigilance de tous les instants.

### **Les missions de la DRME**

La DRME doit, d'abord, assurer une veille scientifique et technique, de façon à :

- évaluer, en permanence, la menace que le progrès technique fait peser sur notre société,
- éclairer le gouvernement, tant sur l'évolution de cette menace que sur les moyens de l'endiguer ou sur les contre-mesures éventuelles,
- déceler, à cette fin, les recherches pouvant orienter la politique d'armement de la nation.

Mais cette mission de veille et d'information ne saurait suffire. Elle doit être complétée par un programme de recherches dans les domaines jugés importants pour notre politique de défense à long terme.

Il convient, notamment, de :

- découvrir les produits, matériaux ou composants nécessaires au développement de moyens modernes de défense,
- vérifier le bien-fondé de nouveaux principes pouvant conduire à des applications défensives ou à l'amélioration des systèmes d'armes actuels,
- maintenir le pays à l'avant-garde du progrès scientifique, en permettant aux laboratoires de l'Université, du CNRS et de l'Industrie de s'équiper, de former le personnel spécialisé et d'acquérir les connaissances et le savoir-faire pour la maîtrise des techniques avancées indispensables aux armements modernes,
- catalyser sélectivement l'évolution de notre économie, de façon que les capacités de défense de notre pays soient toujours à la mesure de sa puissance.

Aux progrès des systèmes d'armes doit correspondre une évolution comparable des moyens d'essais. La DRME a donc reçu une mission de coordination du développement des moyens d'essais à caractère général, tels que le Centre d'Essais des Landes et le Centre d'Essais de la Méditerranée.

La DRME a aussi exercé un rôle pilote dans le domaine des mesures de précision et de la métrologie. Son action a permis de créer le Bureau National de Métrologie. D'autre part, l'Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales (ONERA), placé sous la tutelle technique de la

DRME, contribue puissamment à cette mission, notamment par l'importance de ses souffleries et de ses bancs d'essais de propulseurs. C'est aussi le cas de l'Institut franco-allemand de Saint-Louis (ISL) qui a une importante activité de recherche en métrologie aérodynamique et balistique.

### **Un cadre favorable à la planification des recherches**

Bien qu'étant en étroite symbiose avec l'économie nationale, l'action du Ministère de la Défense se distingue de celle des autres départements ministériels par le fait que les crédits de recherche de défense ne sont pas soumis à l'arbitrage général des crédits de « l'enveloppe recherche », mais qu'ils sont inscrits au budget général des armées, qui est approuvé lors du débat parlementaire sur la Loi de programmation militaire. Le choix des programmes de recherche de défense peut s'ordonner en fonction d'un nombre limité de critères que les travaux du Centre de Prospective et d'Évaluations (CPE) ont permis de réduire à trois : l'utilité militaire, la probabilité d'aboutir à une échéance donnée, la cohérence économique du projet.

Pour évaluer cette cohérence économique, il convient de préjuger si le projet peut avoir des retombées industrielles dans d'autres secteurs ou de renforcer l'économie nationale.

A la DRME (Sous-Direction des Programmes de Recherches et d'Études), a été confiée l'organisation de la planification des activités de recherche et d'étude, entreprises au sein de la DMA ou sous la conduite des Directions Techniques et du Service des Recherches de la DRME, ainsi que dans les organismes placés sous la tutelle du Ministère de la Défense (ONERA et ISL). Chaque Direction Technique conserve l'entière responsabilité de l'exécution de son programme de recherche, dans le cadre de la politique de planification qui, tout en étant centralisée, laisse une grande autonomie à chaque unité opérationnelle.

### **La méthodologie de la planification**

La planification des recherches de Défense repose sur une méthodologie des flux de concertation qui a été mise en place en 1968 au sein de la DMA. Ainsi a été élaborée la Directive Ministérielle d'Orientation (DMO) et préparé le Programme Pluriannuel de Recherches et d'Études (PPRE). Cette planification et cette programmation s'appuient sur une très large concertation, sous l'égide de la DRME qui organise des réunions thématiques sur les sujets scientifiques et techniques les plus variés : l'informatique, la microélectronique, la détection sous-marine, les lasers, l'aérodynamique hypersonique, la propulsion avancée, les matériaux composites, les facteurs humains, etc...A ces réunions sont conviées des personnalités extérieures à la DMA, des universitaires, des industriels choisis pour leur compétence, qui sont invités à confronter leur expérience et leurs idées sur le thème traité. Ce travail de réflexion permet de dégager, peu à peu, des nouveaux sujets de recherches ou des propositions de modifications et d'inflexions des recherches en cours.

En outre, une méthodologie de l'information a été mise en place, avec le Bureau de l'Information Scientifique créé au sein de la DRME et le Centre de Documentation de l'Armement (CEDOCAR) qui a été rattaché à la DRME.

### **Conclusion**

L'action menée, au sein du Ministère de la Défense, par la DRME, en étroite liaison avec les Etats-Majors, le CPE et les Directions Techniques de la DMA, permet de tirer le meilleur parti du potentiel scientifique et industriel national, avec des moyens financiers limités. La mise en œuvre de ces méthodes a instauré une concertation généralisée qui a tissé des liens entre les utilisateurs et les chercheurs des organismes étatiques, universitaires, industriels et a suscité chez tous ces participants une grande motivation à l'égard des programmes envisagés.

Aujourd'hui, les progrès de l'électronique et de l'informatique vont mettre à notre disposition des possibilités de communication, d'intégration et de traitement des données, d'aides à la décision, qui doivent permettre de concevoir des scénarios opérationnels totalement nouveaux. La création des logiciels opérationnels correspondants offre un champ plein de promesses à l'imagination créatrice des officiers, comme des ingénieurs militaires. Ce sont ces activités qu'il conviendra de privilégier dans l'avenir pour assurer la meilleure orientation de notre défense et pour maintenir l'indépendance technique et économique de la nation.

Il convient de souligner aussi l'important effort de coopération internationale que le professeur Jacques-Emile Dubois, qui maîtrisait parfaitement l'anglais et l'allemand, sut intensifier, au bénéfice tant des laboratoires universitaires que des centres de recherche de l'Etat ou de l'Industrie. Les relations de la DRME avec les organismes de recherche français et étrangers étaient grandement facilitées par la renommée

internationale que le Professeur Dubois s'était acquise par ses travaux sur les banques de données, notamment sur le système DARC qui permettait d'accéder directement, sur un écran interactif, aux références relatives à des molécules chimiques de forme déterminée.

C'était une première mondiale qui correspondait parfaitement aux besoins des chimistes, comme le souligne Pierre Aigrain, dans son livre « *Simple propos d'un homme de science* ».

Au total, la recherche a constitué, pour le ministère de la Défense, au cours de la période pendant laquelle les Professeurs Lucien Malavard et Jacques-Emile Dubois ont dirigé la DRME, une activité primordiale. Comme l'aboutissement des travaux de recherche se situe entre 5 et 10, voire 15 ans, leur action a produit ses fruits pendant une très longue période.

L'ouverture d'esprit, qui prévalait chez les responsables de la DRME et de la DRET et de leurs successeurs, travaillant en étroite liaison avec des équipes pluridisciplinaires de chercheurs et d'ingénieurs, doit perdurer de façon à maintenir le niveau de la recherche de Défense au plan mondial, à condition que les moyens budgétaires soient adaptés aux exigences du contexte international.

#### 7.4.2. La DRET

En 1977, une réforme conduisit à remplacer la DRME par la DRET, à laquelle fut rattaché l'ETCA (Etablissement Technique Central de l'Armement), tandis qu'était transférée la responsabilité des centres d'essais à la Direction Technique des Engins qui en était la principale utilisatrice.

Pour faciliter la transition, la direction de la DRET fut confiée à un des pionniers de la DRME, l'IGA Jean Carpentier, assisté de l'IGA Hervé Bongrain et du Général Mainguy. Le Service des recherches de la DRET, dirigé par l'IGA Alain Journeau, rassemblait la sous-direction scientifique et la sous-direction technique de la DRME, ce qui rapprocha encore davantage la recherche fondamentale et la recherche appliquée.

Parmi les 9 sections du Service des recherches, la section « Biologie et Sciences humaines », qui comprenait deux médecins, un pharmacien et un biologiste du Service de Santé des Armées, ainsi qu'un officier et un ingénieur civil, était chargée des recherches amont concernant la vigilance, la protection et la thérapeutique du combattant, ainsi que celles relatives à l'ergonomie des postes de conduite. Ces recherches étaient effectuées dans les Centres du Service de Santé des Armées et dans des laboratoires universitaires ou industriels.

#### 7.4.3. La Mission pour la recherche et l'innovation scientifique (MRIS)

La MRIS a succédé à la DRET en conservant les principales missions :

- renforcer la recherche de Défense dans le domaine des sciences et technologies de base ;
- proposer une politique scientifique de la Défense ;
- rénover les synergies avec le monde de la recherche industrielle et académique ;
- identifier et mobiliser les ressources nécessaires.

Comme pour la DRME et pour la DRET, les domaines scientifiques et techniques de la MRIS sont :

- optique et photonique ;
- informatique, mathématiques, automatique ;
- physique et mécanique des solides et des fluides ;

- propagation et détection des ondes électromagnétiques et acoustiques ;
- électronique, composants ;
- électronique circuits et systèmes ;
- matériaux et structures ;
- biologie et facteurs humains ;
- toxicologie, immunologie ;
- interactions homme-système.

### *Formation par la recherche :*

En soutenant des thèses, des stages post-doctoraux et des stages à l'étranger, la MRIS souhaite former, dans des domaines intéressant la Défense, des chercheurs qui apporteront ensuite leurs compétences aux laboratoires publics ou privés, ainsi qu'à l'industrie. Chaque année, sont ainsi financés 125 thèses et une vingtaine de stages à l'étranger. D'autres actions spécifiques (Journée des doctorants, Doctoriales, Entrepreneariales, Prix) complètent le dispositif d'action de la MRIS.

### *Une procédure réactive : Recherche exploratoire et Innovation (REI)*

La procédure REI est ouverte aux projets spontanés des laboratoires de recherche du monde académique et des petites et moyennes entreprises innovantes. Cette procédure a pour but de :

- stimuler l'ouverture de nouvelles voies de recherches et maintenir l'effort d'innovation technologique sur des thèmes intéressant la Défense ;
- explorer des points durs scientifiques ou techniques et identifier les ruptures technologiques ;
- contribuer à l'acquisition des capacités technologiques de la DGA.

## *7.5. Organismes français de recherche aéronautique*

### *7.5.1. L'ONERA*

En 1946, l'industrie aéronautique française, naguère bien placée dans le peloton de tête des constructeurs mondiaux, avait un lourd retard à rattraper. Pour l'y aider, les pouvoirs publics ont alors regroupé plusieurs équipes de recherche qui relevaient d'organismes différents et étaient géographiquement dispersées par la guerre et par l'occupation allemande, en un établissement public :

*l'Office National d'Etudes et de Recherches Aéronautiques (ONERA),*

dont la mission serait de « développer, orienter et coordonner, en liaison avec les services ou organismes chargés de la recherche scientifique et technique, les recherches poursuivies dans le domaine aéronautique ».

En 1963, la mission de l'ONERA fut étendue aux recherches spatiales, en liaison avec le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) qui venait d'être créé. L'ONERA devint ainsi Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales.

Dès sa création, l'ONERA disposa du centre de Chalais-Meudon, avec sa grande soufflerie subsonique S1 Ch. D'autres moyens, puissants et variés, furent installés à Chalais-Meudon à Palaiseau et à Modane-Avrieux.

Le centre Paul Dumanois à Modane-Avrieux dispose de grandes souffleries, en particulier de la soufflerie S1 MA, qui est la seule au monde pouvant tester à Mach voisin de 1 des maquettes dans une veine de 8 mètres de diamètre.



*Vue générale du Centre Paul Dumaon à Modane –Avrieux*

En 1968, le Centre d'Etudes et de Recherches de Toulouse (CERT), fut constitué, sous l'impulsion de l'ICA Marc Pélegrin, lors du transfert de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace (ENSAé). Il fut ensuite incorporé à l'ONERA. Le CERT dispose notamment de la soufflerie cryogénique pressurisée T 2. Conçue par Pierre Carrière, elle est un excellent outil pour l'étude des écoulements bidimensionnels à grand nombre de Reynolds.

En 1973, un nouvel établissement fut fondé au sud de Toulouse, au Fauga-Mauzac. Une grande soufflerie pressurisée F 1, de conception très moderne, y fut installée, ainsi que d'autres moyens d'étude en aérodynamique et en propulsion, dotés de dispositifs d'instrumentation élaborés. En outre, la soufflerie hypersonique à haute enthalpie F 4 est unique au monde, pour l'étude de la rentrée des véhicules spatiaux dans l'atmosphère.

D'autre part, depuis 1992, l'ONERA détache des ingénieurs à l'Ecole de l'Air (Salon-de-Provence), pour mieux traiter les études de systèmes au contact des futurs utilisateurs.

Conçu, dès sa création, comme devant être un organisme pluridisciplinaire, l'ONERA effectue dans des domaines scientifiques et techniques très variés, des recherches de base, des recherches appliquées, ainsi que des essais pour les industriels et des expertises pour les services officiels.

L'ONERA dispose, à la fois, de moyens de calcul très puissants et d'installations d'essais parfaitement instrumentées. Ceci lui permet de bénéficier pleinement de la dualité calcul numérique-expérimentation. En outre, la pluridisciplinarité des équipes de l'ONERA les conduit à entreprendre des études de synthèse qui aboutissent à la conception de systèmes optimisés.

L'ONERA a un effectif de 2 000 personnes travaillant dans huit centres hautement spécialisés. Sa compétence est reconnue, aussi bien en aérodynamique qu'en propulsion, en instrumentation et en électronique.

L'ONERA coopère activement avec les autres organismes de recherche aérospatiale d'Europe occidentale et contribue au fonctionnement de la soufflerie européenne transsonique ETW. L'ONERA est très impliqué dans la formation par la recherche, comme le montre le témoignage de l'IGA Jean-Pierre Marec, cité en annexe 7.6

## 7.5.2. Recherche aéronautique et Enseignement

### *L'Institut aérotechnique (IAT) de St-Cyr-l'Ecole*

Créé, en 1910, par l'Université de Paris grâce à un don d'Henri Deutsch de la Meurthe, mécène de l'aviation française naissante, l'IAT est rattaché administrativement, en 1933, au Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM). Il dispose actuellement d'une dizaine de souffleries, dont certaines ont été conçues pour les besoins de la SNCF ou des industries automobiles.

Parmi les souffleries aéronautiques, la soufflerie Sigma 4, conçue en 1950 par Jean Brocard et réalisée en 1960, est très utilisée par Dassault-Aviation. En liaison avec l'IAT, la SESSIA (Société d'études de constructions de souffleries, simulateurs et instrumentation aérodynamique), fondée en 1960 par Jean Brocard, a fait partie du consortium industriel qui a construit, de 1988 à 1995, la soufflerie transsonique européenne ETW à Cologne.

### *Les Instituts de Mécanique des Fluides*

A l'incitation d'André Laurent-Eynac, Sous-Secrétaire d'Etat à l'Air, la première chaire de Mécanique des Fluides fut créée en 1924, au sein de la Faculté des Sciences de Paris. Elle fut attribuée à Paul Painlevé (dont la brillante carrière scientifique n'avait pas été contrariée par ses responsabilités gouvernementales).

A partir de cette expérience concluante, à la création, en 1928, du Ministère de l'Air, Albert Caquot, nommé Directeur général technique, souhaita pouvoir s'appuyer sur l'Université dont il attendait la coopération scientifique pour le renouveau de l'aviation française. C'est dans ce but qu'il suscita la création de quatre instituts de Mécanique des Fluides (Paris, Lille, Marseille, Toulouse) et de cinq enseignements annexes (Caen, Lyon, Nantes, Poitiers, Strasbourg).

*L'Institut de Mécanique des Fluides de Paris* était le plus important, par le budget et le nombre de chaires attribuées (Adrien Foch, Henri Beghin, Henri Villat). Il contribua à former des chercheurs de l'ONERA qui, à l'exemple de Philippe Poisson-Quinton, acquièrent une réputation internationale.

*L'Institut de Mécanique des Fluides de Marseille* est créé le 16 mai 1930. Joseph Pérès, professeur à la Faculté des Sciences de Marseille en est nommé Directeur. Son assistant, Lucien Malavard y développe les méthodes de calcul expérimental utilisant l'analogie électrique appliquée aux profils d'ailes. Après 1945, est construite la soufflerie « elliptique » où s'effectuent, jusqu'en 1980, de nombreux essais d'avions et d'hélicoptères.

Une soufflerie à grilles d'aubes est réalisée pour les essais de turbomachines. En 1991, est construite, sur le site de Luminy, la soufflerie subsonique S1 L qui comprend deux veines d'essais. Il s'y effectue une activité de recherche soutenue en aérodynamique instationnaire appliquée aux rotors d'hélicoptères.

L'Institut de Mécanique de Marseille (IMFM) se dota de plusieurs souffleries pour l'enseignement et pour la recherche. Ce fut dans ses locaux que le Professeur Lucien Malavard mit au point sa méthode d'étude des profils d'ailes en cuve rhéoelectrique. Tous ces nouveaux moyens s'ajoutaient à ceux des services officiels, dont la grande soufflerie de Chalais-Meudon qui fut opérationnelle en 1935.

*L'Institut de Mécanique des Fluides de Lille* est créé le 1<sup>er</sup> novembre 1930 et est dirigé jusqu'en 1945 par le Professeur Joseph Kampé de Fériet qui oriente les études vers l'analyse de la turbulence et la Mécanique du Vol. En 1934, l'IMFL se dote d'une soufflerie horizontale basse vitesse et, en 1938, d'une soufflerie verticale de 2 mètres

de diamètre de veine, pour l'étude de la vrille au profit des industriels de l'aéronautique. Celle-ci est remplacée en 1966 par une nouvelle soufflerie verticale (unique dans le monde occidental) qui permet, avec son montage « tourne-broche », d'approfondir le comportement des avions de combat à grande incidence. Rattaché à l'ONERA en 1983, l'IMFL conserve son originalité dans le domaine de la sécurité des vols, grâce à ses moyens en aérodynamique et en essais de structures de cellules d'avions et de rotors d'hélicoptères

### *Les écoles d'ingénieurs aéronautiques (SUPAERO, ENSICA, ENSMA, ESTACA)*

#### *SUPAERO*

La recherche et l'enseignement à SUPAERO sont étroitement liés, du fait de la création, en 1968, d'un centre de recherche sur le site de l'Ecole et du développement de la pédagogie par projets adaptée à l'accélération des progrès scientifiques. Cette association permet à l'école de suivre sa double vocation (formation d'excellents spécialistes et formation de systémiers, pour le monde aéronautique et spatial).

Le CERT (Centre d'études et de recherches de Toulouse, aujourd'hui ONERA-Toulouse), mène un programme de haut niveau scientifique, largement pluridisciplinaire, et donne à SUPAERO une large ouverture sur le monde scientifique, tout en l'associant étroitement aux études et aux réalisations industrielles. Les chercheurs du CERT contribuent aux cours dispensés par l'école et accueillent, dans leurs laboratoires, les élèves attirés par la préparation d'une thèse qui parachèvera leur formation.

La qualité des thèses a conduit, en 1975, à habilitier SUPAERO à délivrer le diplôme de Docteur, par le Ministère chargé de l'enseignement supérieur, « grâce à un important centre de recherches à ses côtés », selon les attendus des textes d'habilitation.

#### *ENSICA*

La recherche est effectuée à l'ENSICA par 19 cadres enseignants-chercheurs et 52 étudiants, dans quatre départements d'enseignement et de recherche : Avionique et Systèmes, Génie mécanique, Mécanique des fluides et propulsion, Mathématiques appliquées et informatique. Les recherches sont effectuées en liaison avec le secteur industriel. Le financement est assuré par des contrats et par des bourses accordées par la DRET, le CNRS, le MESR et par des conventions CIFRE. En outre, a été signée, en 1990, une convention avec l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT) donnant naissance au Groupe de Recherches en Aérodynamique, Mécanique des Fluides et Propulsion (GRAMP).

Parmi les anciens élèves de l'ENSICA ayant eu une carrière d'éminents scientifiques, citons Jean-Claude Laprie, directeur de recherche au CNRS, spécialiste de la sûreté de fonctionnement informatique, auteur de 100 communications, articles et ouvrages scientifiques, de renom international, et Hieu Ha Minh, un des meilleurs spécialistes mondiaux de la mécanique des fluides, particulièrement dans la modélisation de la turbulence. La NASA s'est assurée sa collaboration pendant plus de 10 ans.

#### *L'ISAE*

L'Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace, créé le 1er octobre 2007 est issu du rapprochement de SUPAERO et de l'ENSICA. L'ISAE relève de la tutelle de la DGA. L'une des priorités à la création a été de constituer un centre de formation par la recherche. Cette formation s'appuie particulièrement sur des masters recherche et des doctorats.

La préparation de masters recherche permet aux étudiants d'acquérir, durant un an, une formation scientifique approfondie ainsi qu'aux méthodologies de recherche. Elle est ouverte aux élèves ingénieurs de SUPAERO et de l'ENSICA en dernière année d'étude ainsi qu'aux étudiants de 1ere année de master ou d'un diplôme équivalent.

L'offre ISAE se décline en 9 spécialités :

- Astrophysique, science de l'espace et planétologie ;
- Dynamique des fluides, énergétique et transferts ;
- Génie mécanique ;
- Informatique et télécommunication ;
- Mathématiques appliquées ;
- Micro et macro systèmes ;
- Micro-ondes, électromagnétisme et optoélectronique ;
- Signal, image, acoustique et optimisation ;
- Systèmes automatiques, informatiques et décisionnels.

L'ISAE est habilité par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche à délivrer le diplôme de docteur en relation avec 6 écoles doctorales accréditées (période 2007-2011) :

- Aéronautique, astronautique (ISAE établissement support) ;
- Génie mécanique, électronique et télécommunication ;
- Mathématique, informatique et télécommunication de Toulouse ;
- Mécanique, énergétique, génie civil et procédés ;
- Sciences de l'univers, de l'environnement et de l'espace ;
- Systèmes.

### *L'ENSMA.*

L'Ecole Nationale Supérieure de mécanique et d'Aérotechnique propose et délivre, en partenariat avec l'Université de Poitiers, des masters et des études doctorales. Ces formations s'appuient sur d'importants laboratoires de recherches qui regroupent 250 chercheurs CNRS et enseignants-chercheurs.

L'ENSMA, l'Université de Poitiers et le CNRS ont regroupé une part de leur moyen de recherche dans l'institut PPRIME « Pôle Poitevin de Recherche pour l'ingénierie en mécanique, matériaux et Energétique » orienté vers les transports, l'énergie et l'environnement.

L'école abrite cinq laboratoires de recherche :

- Institut PPRIME Etude Aérodynamiques ;
- Institut PPRIME Etudes Thermiques ;
- Institut PPRIME Combustion et Détonique ;
- Institut PPRIME Mécanique et Physique des Matériaux ;
- Laboratoire d'Informatique Scientifique et Industrielle (LISI).

### *L'ESTACA*

L'Ecole supérieure de techniques aéronautiques et de constructions automobiles (Estaca), issue de l'ETACA fondée en 1925, a étendu son domaine à l'Espace en 1992 et au ferroviaire en 1994. La durée de l'enseignement est de cinq années.

Une année de césure permet à quelques étudiants de passer une année complète dans l'industrie avant de terminer leur cursus à l'Ecole. L'ESTACA a maintenant un fort

développement avec un établissement à Laval et la réalisation de nouveaux bâtiments à Saint Quentin en Yvelines. Elle est associée au groupe ISAE.

### *L'ENAC*

L'école Nationale de l'Aviation Civile dispose d'un potentiel de recherche : élèves, doctorants, enseignants et moyens pédagogiques. ; L'école développe ses recherches propres dans les disciplines scientifiques qu'elle enseigne et sur lesquelles elle est capable d'innover et de créer des connaissances et des compétences. Elle a également vocation à soutenir et à collaborer à tous les travaux de recherche et d'innovation utiles au transport aériens et aux secteurs connexes. Les laboratoires de l'ENAC :

- Laboratoire d'Electromagnétisme pour les Télécommunications Aéronautiques ; application aux systèmes de Communication, Navigation, Surveillance (CNS-LETA) ;
- Laboratoire de Traitement du Signal pour les Télécommunications ; application aux systèmes de Communication, Navigation, Surveillance (CNS-LTST) ;
- Laboratoire d'Evaluation et d'Optimisation des Architectures Réseaux de Télécommunication (CNS-LEOPART) ;
- Laboratoire de Recherche Opérationnelle et d'Automatique (LARA) ;
- Laboratoire d'Economie et d'Econométrie de l'Aérien (LEEA) ;
- Laboratoire d'Optimisation du Trafic Aérien (LOTA) ;
- Laboratoire de Mathématiques Appliquées à l'Aérien (LMA) ;
- Laboratoire d'Informatique et d'Interaction (LII).

### *L'Ecole de l'Air*

L'Ecole de l'Air offre à ses élèves une ouverture à la recherche grâce au laboratoire installé à Salon de Provence en commun avec l'ONERA.

### *Ecoles avec une option Aéronautique-Espace*

ECP, EPF, ENSTA-Bretagne, IPSA.

### *Autres Ecoles donnant une formation intéressant la profession*

(ENSTA, ENSPM, ENSAM, ESE, ENST, ENSEEIHT, ESPCI).

L'ENSTA Paris Tech dispose de six laboratoires, où 93 doctorants et 23 post-doctorants travaillent sur des thèmes de Génie des procédés et de Chimie organique, d'Informatique et d'Ingénierie des systèmes, de Mathématiques appliquées, de Mécanique (Dynamique des fluides, Matériaux et structures, Fluides géophysiques et Océanique), d'Optique appliquée et d'Economie appliquée. Les recherches sont à caractère appliqué et s'effectuent en liaison étroite avec l'industrie.

La variété des disciplines scientifiques et techniques utilisées dans le domaine aérospatial explique l'importance de ces écoles pour les acteurs étatiques ou industriels français. En outre, un rappel historique montre que certaines d'entre elles ont produit des pionniers de l'aéronautique, tels que Louis Blériot et les frères Seguin, anciens de Ecole Centrale des Arts et Manufactures (ECP), et Louis Breguet, Henri Fabre et René Leduc, anciens de Supélec (ESE). Nombreux aussi sont les anciens des Ecoles des Arts et Métiers (ENSAM) qui ont fait beaucoup progresser l'aéronautique française. Actuellement, ces écoles disposent de laboratoires où leurs élèves peuvent s'initier aux recherches dans des domaines en rapide évolution.

### 7.5.3. Pôles et réseaux d'Europe occidentale, de recherche, essais, formation en aéronautique

*Réseau des grandes souffleries.*

*Réseau des écoles aérospatiales ECATA.*

*Réseaux orientés par thème.*

*Réseau « Conception assistée par ordinateur ».*

*Réseau « robotique et télé opérations ».*

*Réseau « Optronique ».*

Ceux-ci regroupent des acteurs de l'aérospatial avec des acteurs travaillant dans d'autres domaines que l'aéronautique et l'Espace. Ces réseaux peuvent être à l'origine de synergies inattendues, mais très fécondes.

La création, en 1952, dans le cadre de l'OTAN, de l'AGARD (*Advisory Group for Aeronautical Research and Development*), par le Dr Théodore von Karman, permit aux experts du monde occidental d'effectuer de fructueux échanges dans tous les domaines scientifiques et techniques concernant l'aéronautique. Ces échanges s'ajoutèrent à ceux qui se produisaient au sein d'autres organismes internationaux, tels que l'*International Council of the Aeronautical Sciences* (ICAS) fondé en 1952, par von Karman et Maurice Roy. La création, en 1958, de l'IVK (Institut Von Karman), au sein de l'AGARD, fut un facteur très positif pour la formation de nombreux jeunes chercheurs européens.

La coopération entre les principaux établissements de recherche occidentaux favorisa les échanges, non seulement sur le plan scientifique, mais aussi sur le plan des moyens d'essais, tels que les grandes souffleries. La soufflerie transsonique européenne ETW (*European Transonic Windtunnel*) est un bel exemple de coopération entre la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni et les Pays-Bas, dans un domaine essentiel pour l'amélioration des performances des avions civils ou militaires. ETW fut une innovation, en ce qui concerne la coopération entre les principaux pays aéronautiques occidentaux, et en tant que moyen d'expérimentation : il s'agissait, notamment, d'obtenir un nombre de Reynolds égal à celui des avions de transport commercial, tels que ceux de la famille Airbus, en vol de croisière. La solution fut d'employer de l'azote, pressurisé à 4,5 bar et à  $-150^{\circ}\text{C}$ .

En ce qui concerne le nombre de Reynolds, la soufflerie ETW est très supérieure aux autres souffleries transsoniques existant dans les différents pays de l'Europe occidentale. Il s'agit d'une installation d'essai qui est à l'échelle de l'Europe, comme l'est, à l'échelle des Etats-Unis son homologue, la *National Transonic Facility*, de la NASA, à Langley.

D'autre part, la coopération entre les établissements de recherche occidentaux peut aussi porter sur les drones qui complètent, plutôt qu'ils ne remplacent, les moyens traditionnels. Ils tirent profit des techniques de guidage-pilotage, traitement des données, communications, en bénéficiant des progrès de la microélectronique.

Leur optimisation résultera d'un vaste emploi de techniques variées, très souvent pluridisciplinaires, au sein de systèmes où les relations homme-machine seront primordiales. Des organismes de recherche appliquée ayant une longue expérience dans le domaine des capteurs et du traitement de l'information en ambiance aéronautique sont très bien placés pour apporter un soutien décisif aux industriels, comme c'est le cas, en France, pour la société Bertin ainsi que pour l'ONERA qui coopère avec EADS, Dassault, Safran-SAGEM et Thales.

## 7.6. Avis et témoignages

### 7.6.1. IGA Alain Crémieux. Quelques idées sur la formation par la recherche

Bien que je n'aie pas été formé par la recherche et que je n'aie jamais fait de recherche (sauf un peu en histoire, en fin de carrière), mais peut-être parce que je me suis beaucoup occupé de recherche, depuis mon affectation au STTA de 1960 à 1965 (Bureau Composants et Recherche) jusqu'à celle de directeur-adjoint à la DRET de 1987 à 1990, Jean Carpentier m'a demandé d'écrire une note sur mon opinion au sujet de la formation par la recherche. Cette opinion tient en deux réflexions positives et une réserve.

La première réflexion est banale : c'est que la formation par la recherche est fondamentale pour former... les chercheurs. La question de savoir si elle est aussi nécessaire pour former les futurs managers de la recherche est moins évidente mais j'y reviendrai plus loin.

La deuxième réflexion est que cette formation est certainement, comme d'autres, porteuse de beaucoup de points positifs. Je laisse à ceux qui en ont bénéficié le soin de les approfondir, mais on peut certainement citer le travail personnel et aussi le travail en équipe, l'obligation de soumission aux faits, le contrôle par les pairs, l'apprentissage de la recherche de ce qu'ont fait les autres sur le même sujet, etc.

Ma réserve repose sur le fait que, depuis plusieurs dizaines d'années maintenant, on en viendrait à penser que la formation par la recherche est un *must* pour tous. Les ingénieurs devraient tous avoir fait une thèse, les juristes, les médecins, les historiens et les chefs d'entreprise aussi. Le prestige du sigle « Ph.D » en est témoin. Je doute qu'il soit nécessaire, pour tous les avocats, d'avoir fait une thèse de droit, pour tous les médecins une thèse de biologie et pour tous les chefs d'entreprise une thèse d'économie.

Je ne nie pas que ce soit une bonne formation ; je ne pense pas que ce soit la seule. Je pense aussi que toutes les activités de recherche ne se valent pas ; il y a des thèses qui ne sont que des compilations. J'ai beaucoup, en fin de carrière, fréquenté les historiens. J'en ai admiré beaucoup, notamment pour leur érudition et leur rigueur intellectuelle.

J'ai aussi pu penser que certains avaient été certes « formés », mais aussi « déformés » par le type de recherche qu'ils avaient faite lors de leur thèse. Ils employaient un peu trop souvent, parfois à juste titre mais parfois aussi à tort, l'expression : « Lorsque je travaillais à ma thèse... ». La recherche, surtout en début de carrière, est toujours très pointue ; elle se fait sur un sujet très étroit dont les ressorts obéissent à une logique très particulière ; il y a un risque que cette formation conduise à penser que tous les problèmes sont solubles suivant les mêmes schémas.

Le cas de ceux qui ont pour tâche de diriger ou de coordonner les activités de recherche mérite un examen particulier. Le ministre de la recherche, le directeur du CNRS, celui de l'INSERM ou de l'ONERA, le responsable de la R&D de Renault ou le responsable de la recherche en robotique à la DGA doivent-ils **forcément** avoir fait leurs premières armes dans la recherche ? Et dans le domaine de recherche qu'ils ont à gérer ? J'en doute et je pourrais en donner des exemples, contradictoires bien sûr.

Ma conclusion : la formation par la recherche est certainement une formation exigeante et de qualité. Il ne faut pas en faire un passage obligé pour tous. Quant à la désignation des grands managers, elle doit dépendre de la situation des instituts qu'on leur confie.

## 7.6.2. Témoignages d'ingénieurs formés par la recherche

### *Témoignage de Marc Pélegrin*

Ma carrière a été orientée par un événement bien identifié. J'étais en seconde année à l'X (en 1946) lorsqu'une conférence faite un soir par le Ministre de la Défense relate les retards en Sciences et Technologies que la guerre de 39-45 a provoqués en France. Il termine son exposé en disant « je vous encourage à aller aux USA, prévenez-moi, je tâcherai de faciliter votre mission ». A la fin de son discours, je vais le trouver et je lui dis que je souhaite aller aux USA dès Septembre prochain ; il me répond qu'il ne s'attendait pas à une si vive réaction et il ajoute : envoyez moi une Note, je favoriserai votre demande. Ce fut fait, j'obtins une bourse pour un séjour de 4 mois à l'Université de Rochester (domaine 'Rayons cosmiques' car, à l'X, j'allais, chaque semaine, passer quelques heures au labo de Louis Leprince Ringuet qui travaillait sur les rayons cosmiques).

Durant ce premier séjour aux USA je découvre alors une filière, quasi inexistante en France, la coopération Recherche / Enseignement tout au moins dans les Grandes Ecoles. Puisqu'il n'était pas question que j'entre à SupAéro en Janvier, j'ai cherché une activité aux USA qui me permit de rester dans ce pays jusqu'en Juillet 1946. Une Société travaillant sur les isotopes accepte de me recevoir pendant 6 mois. Cette Société, voisine du MIT, m'a facilité quelques visites à cette prestigieuse Université et, en particulier, de pouvoir consulter les domaines enseignés en cette Université et l'étroite coopération associée entre Enseignement/Recherche. D'où ma décision de venir passer 1 an au MIT après Supaéro.

Donc, en Septembre 1949, en accord avec les Services de la DGA, je me rends à Cambridge (avec ma femme et mon premier enfant qui n'avait que 10 mois). Je choisis les cours suivants : a) systèmes asservis b) fonctions aléatoires c) machines à calculer (analogiques). Sujets captivant car inexistant en France à cette époque. De plus les professeurs avaient tous un laboratoire de recherche au MIT, ce qui permettait de faciles discussions avec eux. Je pris alors la décision de faire une thèse dès mon retour en France, bien entendu en parallèle avec les fonctions qui me seront octroyées en tant qu'Ingénieur de l'Armement.

Ayant été très sensibilisé par les Cours sur les systèmes asservis, d'une part, et les fonctions aléatoires d'autre part, je choisis comme thème de ma thèse le calcul des systèmes asservis à partir de signaux aléatoires car, c'est bien la réalité, tous les systèmes sont soumis à des perturbations qui relèvent du domaine aléatoire et la plupart de ces systèmes sont soumis à des demandes (entrées du système) qui sont aussi aléatoires (titre de ma thèse, passée en 1952, Calcul Statistique des Systèmes Asservis, Dr de thèse Prof. Joseph Pérez).

A mon retour des USA, je suis affecté au STA (Service Technique de l'Aéronautique), à la Section des Engins Spéciaux où je m'occupe essentiellement du guidage des engins, domaine très proche des cours que j'avais suivis à MIT.

En étroite coopération avec Jean-Charles Gille, également Ingénieur de l'Armement, qui était Directeur adjoint de Supaéro, très actif dans le domaine Systèmes Asservis, nous créâmes un Centre de recherche, dans le cadre de Supaéro, Centre géré par la Société des Amis de Supaéro, car à l'époque, la réglementation ne permettait pas d'ouvrir un tel Centre de recherche dans le cadre de l'Ecole. Ce laboratoire s'appelait « CERA : Centre d'Etude et de Recherche en Automatique ». Il s'est rapidement développé et nous avons été obligés, après quelques années, de le transférer à Villacoublay, dans des locaux appartenant à la DGA. Ce centre occupait environ 70 personnes en 1960.

Mes fonctions au STA ont également évolué. Après le guidage des engins spéciaux j'ai été chargé d'étudier la réalisation d'un simulateur de vol (Vautour) avec la possibilité d'utiliser une cabine mobile.

En parallèle avec mes fonctions à la DGA, j'avais des activités d'enseignant à la vacation à Supaéro, dans le domaine des Asservissements et des Machines à calculer (analogiques principalement). J'ai également été titulaire de la chaire Franqui de l'Université de Gand, Belgique, (chaire nécessairement attribuée à un étranger) ; j'ai aussi été Conseiller Scientifique au SHAPE (domaines avions/missiles).

Un second évènement eut aussi une incidence directe sur ma carrière. En 1964 je reçois une lettre du Ministère de la Défense m'informant que j'étais sur la liste des personnes susceptibles de gérer le transfert de Supaéro de Paris à Toulouse. Très grande surprise car j'ignorais cette volonté de transférer l'Ecole hors Paris !

Mais j'imaginai que cette activité pourrait être l'occasion inattendue de réaliser ce qui m'avait fortement séduit lors de mon premier séjour aux USA, à savoir, associer Enseignement / Recherche. Je réponds donc oui, mais j'ajoute à condition qu'un Centre de Recherche soit associé, sur le même site, à l'Ecole [quand j'ai dit à mes camarades que j'avais répondu oui, à condition que...ils m'ont immédiatement répondu : on répond oui ou non à un Ministre, mais on ne lui impose pas de conditions... Erreur ! car j'ai appris postérieurement que c'est précisément à cause de cette proposition que ma candidature avait été retenue...].

Je reçus l'ordre de mission début 1965. L'ouverture de l'établissement (Ecole et Centre de Recherche) devait avoir lieu en Septembre 1968 (le terrain avait été acquis avant 1965). Travail très intéressant. Je fus nommé Directeur de Supaéro et du CERT (Centre d'Etudes et de Recherches de Toulouse) dès 1968. Je suis resté 10 ans Directeur de Supaéro (1968-1978) et 20 ans Directeur du CERT, qui s'appelle maintenant ONERA, Centre de Toulouse (1968-1988).

Quelques commentaires sur ces deux décennies. Tout d'abord, dès son installation à Toulouse, le CERT a accueilli le CERA où près de 60 personnes ont accepté le transfert de Villacoublay à Toulouse. L'Administration m'a cependant demandé d'intégrer le personnel de ce centre de recherche dans une structure étatique. J'ai téléphoné au Professeur Paul Germain, directeur de l'ONERA. Après deux réunions à Chatillon, le transfert a été fait, le Centre de Recherche associé à Supaéro était rattaché à l'ONERA, il l'est toujours.

Cette chance de pouvoir associer une Grande Ecole et un Centre de Recherche a contribué à inciter toutes les Grandes Ecoles à créer un centre de recherche, situation actuellement satisfaite par la grande majorité des Grandes Ecoles.

Après mon départ du CERT, j'ai créé une Association sans but lucratif appelée FEDESPACE qui regroupait des personnes (bénévoles) concernées par l'Aéronautique et l'Espace. Cette Association regroupait une vingtaine de spécialistes et elle a reçu de nombreuses demandes pour Avis et Commentaires sur des questions spécifiques à caractère essentiellement technique. Cette Association a été accueillie, en 2009 par la Commission Prospectives de l'Académie de l'Air et de l'Espace. L'activité principale de cette Commission (qui accueille quelques personnes non membres de l'Académie) traite actuellement le thème *Comment volerons-nous en 2050 ?* Sujet primordial pour l'Aéronautique puisque la durée d'exploitation d'un avion est de 40 à 50 ans, voire plus ; il faut donc, dès maintenant, pour les avions en cours d'étude, prévoir les structures pour qu'elles acceptent les conséquences de la disparition du kérosène classique dans la (ou les) dernière(s) décennie(s) de leur exploitation.

En conclusion, mon message pour les jeunes qui ont choisi de s'investir dans les domaines aéronautique et spatial, est que toute activité doit désormais être traitée en évaluant les conséquences sur la Société. Tâche difficile, car complexe, mais ne pouvant être ignorée. Les conséquences de la croissance de la population mondiale, de son vieillissement, de l'épuisement de certaines ressources, pas seulement du pétrole, mais aussi de nombreuses matières (Platine, Lithium,..), du réchauffement climatique (pas encore bien compris...) et de ses conséquences, des débris spatiaux (en croissance continue), du renforcement des événements climatiques, etc, , doivent être, désormais, incluses dans toutes les études dont vous aurez la responsabilité.

### *Témoignage de Jacques Stern.*

Né en 1932 de parents immigrés, mes études primaires furent laborieuses. Le Français n'était pas la langue usuellement parlée à la maison et la guerre m'avait privé d'école de 1942 à la Libération. Je travaillais aux champs et parlais patois. De retour à Paris, en 1944, le Directeur de l'école avait convaincu mon père que le lycée n'était pas pour les enfants d'ouvriers.

J'avais passé cependant à la libération le DEPP qui donnait accès à l'entrée au lycée. Je dois être ainsi un des rares ingénieurs de l'air possédant son certificat d'étude. J'ai fait un cours complémentaire à l'école et un ami a persuadé mon père que si je voulais devenir ingénieur, je devais aller au lycée.

En effet, très jeune, je rêvais d'être ingénieur et construire des avions. Je suis finalement entré péniblement au lycée en 3ème, j'ai passé mon premier bac en seconde et poursuivi ensuite des études normales. Reçu à l'X en 5/2 en 1952, j'ai tout naturellement choisi, à la sortie, le corps des ingénieurs militaires de l'air.

A Sup'Aéro, j'ai eu la chance de connaître Jean-Charles Gille en dernière année. Je lui dois énormément. A son retour du MIT, il avait inauguré l'enseignement d'un domaine alors nouveau : les servomécanismes. Il m'a donné le goût de la recherche, m'a servi de modèle pour la pédagogie et est devenu un ami. Outre son enseignement, il m'a modestement associé à la rédaction du tome 3 de son cours.

Il m'a ainsi fait étudier des livres russes, alors que je ne savais même pas déchiffrer les caractères cyrilliques. Ce fut la première expérience de me plonger dans des livres scientifiques autres que les cours enseignés. A Harvard, où je suis allé après Sup'Aéro, les cours se terminaient toujours par des chapitres d'ouvrages recommandés à lire en complément. C'est encore Gille qui a accepté, à ma demande, que j'effectue un travail de recherche à la place du projet de fin d'année. C'est lui enfin qui m'a fortement encouragé à partir à Harvard, aux Etats-Unis.

A Harvard, j'ai travaillé dans le domaine nouveau des technologies digitales, comme Gille me l'avait suggéré. "*Je ne sais pas ce dont il s'agit, mais c'est l'avenir*", m'avait-il dit. A mon retour des Etats-Unis je fus affecté, contre mon gré, au STTA. J'avais été sollicité par l'équipe d'aérodynamique théorique de les rejoindre au STAé. J'étais passionné par ces études et, je dois l'avouer, flatté qu'on s'intéresse à moi. Je ne l'ai jamais regretté par la suite, bien que cela signifiait renoncer à la construction d'avions, mon rêve. Au STTA, ma chance fut de travailler sous les ordres d'un directeur exceptionnel. Il savait faire confiance aux jeunes ingénieurs que nous étions et maintenait une atmosphère de coopération et solidarité entre nous tous. Nulle part ailleurs, dans l'industrie, un jeune ingénieur ne pouvait disposer d'autant d'autonomie et de responsabilité.

Pendant que ma hiérarchie négociait l'achat d'un système de défense aérienne aux Etats-Unis avec General Electric, et était absente du Service la majorité du temps, j'étais livré à moi-même. J'ai appris, par force, à prendre des initiatives pour lutter

contre le désœuvrement. Je m'occupais de réceptionner des systèmes en déshérence et j'ai ainsi pu constater le manque de cohérence entre les matériels à intégrer et une totale absence de prévision et de planification des essais à réaliser. Cela m'a servi de leçon pour l'avenir. J'avais aussi récupéré un petit contrat d'étude passé avec la Division militaire d'IBM France créée et dirigée par J.P. Brulé pour la définition d'un système de défense aérienne. J.P. Brulé avait constitué une équipe technique remarquable à qui je dois énormément.

Croisant un jour le Général Accart, commandant la Défense aérienne, en compagnie de mes chefs virtuels, ayant connaissance des résultats préliminaires de ce contrat d'étude, malgré le peu de compétences dont je disposais à l'époque et bien que rongé par ma timidité, je me vis annoncer sans hésiter qu'avec le budget prévu pour l'acquisition d'un système américain et dans les mêmes délais, je pensais possible de réaliser en France un système au moins aussi performant et dont nous aurions l'entière maîtrise. Avec le recul, je crois que les petits travaux de recherche effectués à Sup'Aéro et ensuite à Harvard expliquent en partie le courage ou le culot de ma démarche.

L'IG Pénin, qui dirigeait le STTA, a fait preuve d'audace en acceptant de confier la responsabilité de réalisation d'un tel système, d'une extrême complexité à un jeune ingénieur débutant. D'autant plus que dans ce domaine il n'y avait personne dans la hiérarchie pour me superviser ou me contrôler. J'ai ainsi eu la responsabilité de développer le STRIDA 2 (Système de traitement et de représentation des informations de défense aérienne), avec la Division Militaire d'IBM et SINTRA auxquels revient tout le mérite de la réussite. Le STRIDA 2 a été réalisé dans les délais et en respectant le budget. J'avais tenu à ce que le premier système soit opérationnel. Il a équipé la base de Drachenbronn site de la ligne Maginot, il est resté opérationnel une trentaine d'années.

Où, en dehors de la Défense, accepte-t-on de confier à un ingénieur débutant, âgé de 28 ans, la responsabilité de la conception technique, de la négociation des prix, de la rédaction des contrats et de la maîtrise d'œuvre de la réalisation d'un système informatique mettant en œuvre des radars, des télécommunications, des systèmes de visualisation, des avions d'interception, des missiles ?

Ce projet, nous l'avons conduit à seulement trois ingénieurs. Nous avons bénéficié de la totale coopération des responsables des autres bureaux, dont en particulier Michel Carpentier, responsable des radars à qui on doit le leadership français dans ce domaine. Ceci a permis une parfaite intégration. La France était devenue un partenaire respecté et écouté de ses alliés. Fort de mon expérience du début, j'ai constitué ce qu'on est convenu d'appeler aujourd'hui une Maîtrise d'Ouvrage, en associant à toutes nos réunions hebdomadaires de pilotage une équipe de trois officiers provenant de l'Etat-major de l'Armée de l'Air, de la Défense aérienne et du Centre d'expérimentation aérienne militaire de Mont de Marsan qu'on avait chargé de conduire les essais. Les programmes d'essais et leur planification avaient, bien entendu, été conçus au début, dès le lancement de la réalisation.

Nous avons acquis une expérience et, je pense, une compétence en conception et intégration de système unique en Europe et peut-être au-delà. J'ai essayé de montrer que l'approche Système représentait un nouveau domaine autonome et important pour l'avenir de la Défense et qui méritait une place indépendante dans un Service organisé principalement autour de produits. J'avais même persuadé un aîné d'en prendre la direction. Le Directeur du STTA était convaincu. J'ai malheureusement échoué pour des raisons futiles, la voiture de service du responsable !

J'ai pris en 1962 la décision de quitter le STTA pour créer une entreprise spécialisée en système et indépendante des constructeurs. Mon départ fut d'abord refusé, mais en 1964, avec une crampe à l'estomac devant l'incertitude de l'aventure, je pus enfin créer la SESA avec la Banque Vernes, qui accepta d'apporter l'intégralité du capital. La SESA démarra en mai 1964.

Je ne connaissais rien au monde de l'entreprise, j'ignorais comment recruter des collaborateurs, une secrétaire, j'ignorais tout en fait. J'étais marié avec trois enfants à charge, sans ressources financières. Je ne réalise pas encore aujourd'hui comment les choses se sont déroulées. En décembre 1964, nous étions une petite trentaine et nous faisions un bénéfice.

Lorsque, en 1982, j'ai quitté la SESA, à la demande du Président de la République, pour prendre la présidence de CII Honeywell Bull. La SESA, devenue un leader des réseaux d'ordinateurs dans le monde était fournisseur de grands systèmes pour de nombreuses Administrations et grandes sociétés privées. Je citerai, au hasard, la réalisation des principaux grands systèmes européens d'information dont Météosat, l'annuaire électronique pour la DGT, les systèmes de dispatching pour EDF, les systèmes de péage du métro dans le monde entier etc... la liste est longue. La SESA avait alors environ 1500 ingénieurs et était présente directement par des filiales en Allemagne, en Italie et aux USA.

Arrivé en mai 1982 chez CII Honeywell Bull, j'ai découvert une société en situation de quasi faillite, totalement désorganisée. Lorsque je recevais des responsables dans mon bureau, ils me précisaient avant de commencer : moi, je suis Honeywell, moi je suis CII, moi je suis Bull. Encore heureux de ne pas entendre : moi, je suis General Electric. Par contre je n'ai pas eu à attendre longtemps pour apprendre de certains responsables que le seul héritage valable venait de General Electric.

Une large part du management considérait les Français comme de simples amateurs prétentieux et avait encore la nostalgie des américains de GE. Nous avons immédiatement créé la marque unique Bull, mis en place un système de qualité totale, arrêté la filière technologique menée depuis des années et qui s'est trouvée confirmée par la suite être une impasse, revu les procédés de conception et de fabrication, de livraison, de facturation, etc... Ma formation d'ingénieur et mon expérience SESA m'ont été très utiles. Je n'hésitais pas à entrer directement, personnellement dans tous les domaines d'activité de l'entreprise outre la stratégie, mon domaine: gestion, commerce, recherche, technologie, architecture, fabrication, essais. On a ainsi pu mettre fin aux principaux et nombreux dysfonctionnements de l'entreprise. L'entreprise a su améliorer la qualité, tenir ses engagements, devenir rentable, croître plus vite que le marché.

J'ai demandé à quitter Bull en 2000 et proposé au Gouvernement de nommer Francis Lorentz qui m'avait accompagné pendant la durée de mes nombreux mandats (à chaque changement de Gouvernement et de Majorité, mon mandat était remis en cause) et démontré toute sa capacité et compétence dans la Direction.

J'ai voulu doter la France de supercalculateurs français. J'ai créé ACRI à cette fin. Je me suis lancé dans cette aventure avec une grande naïveté et une ambition qui n'était pas partagée par ceux qui devaient en fait en bénéficier. Cette aventure s'est conclue par un échec, j'ai dû renoncer après le prototype. Cet échec dont j'ai l'entière responsabilité m'a profondément marqué. En parallèle, j'ai créé des sociétés de service pour promouvoir des systèmes ouverts non dépendants des monopoles qui se constituaient et développé une nouvelle activité d'assistance à maîtrise d'ouvrage. J'ai, à la fin de mon activité professionnelle, jusque vers 2008 exercé une activité de conseil pour avoir le plaisir de faire seul tout le travail qui m'était confié

*Pour conclure, qu'ai-je appris durant ces 50 ans de vie professionnelle ?*

Tout d'abord que, pour l'ingénieur, la recherche d'une qualité totale est un impératif absolu. A la SESA nous avons adopté comme slogan « LE PARFAIT SIMPLE ». Ce slogan n'avait pas la prétention de nous qualifier mais de faire connaître à nos clients ce que devait être leur niveau d'exigence. L'informatique exige en effet la perfection, elle ne tolère aucune erreur, aucune approximation. Le client doit être assuré à la fois d'une garantie totale de bon fonctionnement et d'une sûreté absolue. Un taux de bon fonctionnement de 99% est inacceptable en informatique.

Mais pour atteindre la perfection il faut rechercher la simplicité. L'ennemi de l'informatique, c'est la complexité. Et l'expérience démontre, tous les jours, que les premières solutions et conceptions sont toujours trop complexes et qu'il faut beaucoup d'efforts, beaucoup d'itérations pour arriver enfin à la bonne solution. Pour Transpac, dont nous avons gagné la maîtrise d'œuvre malgré la petite taille de la SESA (notre CA total était la moitié du montant du contrat initial), l'équipe chargée de la réponse à l'appel d'offre a demandé à présenter la dernière solution proposée.

Je présidais ainsi la neuvième revue de projet pour adopter l'architecture définitive. Je n'étais encore pas suffisamment satisfait, malgré les progrès. Une dissymétrie dans l'architecture me déplaisait. J'ai demandé à l'équipe de travailler une semaine de plus sur une architecture plus symétrique. Je suis allé jusqu'à dire que la bonne solution devait absolument être également esthétique. Une semaine plus tard, j'étais pleinement satisfait, l'équipe était heureuse et fière du résultat qu'elle avait obtenu. Nous avons gagné l'appel d'offre, face aux géants internationaux des télécommunications, nous avons réussi le projet, en atteignant le taux de fonctionnement contractuel de 99,95 %, y compris les périodes de maintenance sans interruption du service. Je me souviens encore de Julia, notre professeur de géométrie à l'X qui nous répétait régulièrement qu'on devait savoir résoudre un problème sur un billet de métro !

Après avoir créé la SESA, j'ai vite appris qu'on ne recherchait une solution à un problème que si on savait déjà que celle-ci existait. Lorsque je visitais des prospects susceptibles d'avoir recours à nos services on m'expliquait que malheureusement on n'avait aucun problème justifiant nos prestations. Après la discussion, je revenais souvent à mon bureau avec environ trois problèmes importants pour lesquels je pensais pouvoir apporter une solution. Le lendemain, mon interlocuteur recevait trois propositions d'étude non sollicitées.

Environ 80% de nos travaux avaient pour origine à SESA notre initiative. Pour moi, c'est là la base du métier de l'ingénieur tel que je l'ai découvert sur le terrain, apporter des solutions à des problèmes non encore exprimés rentables pour le client. Comprendre le besoin de nos clients, plutôt que de répondre strictement à un cahier des charges, a été ma démarche permanente et celle que j'ai toujours essayé de mettre en œuvre à SESA comme chez Bull.

J'ai aussi très tôt constaté que les cahiers des charges ne hiérarchisaient pas les besoins, d'ailleurs trop souvent exprimés plutôt techniquement que fonctionnellement. Quelles étaient les fonctions nécessaires et celles simplement souhaitables? Quelles étaient les fonctions envisagées ultérieurement? J'ai pris l'habitude d'interroger directement les utilisateurs finaux des systèmes envisagés et demandé à mes collaborateurs à SESA et à Bull d'agir de même. Ces besoins annexes, souvent de simple confort, sont la source principale de complexité et de risques et représentent les coûts proportionnellement les plus significatifs, toujours prohibitifs, et la cause de dépassements importants de délais. J'ai aussi rencontré de nombreux appels d'offre où le cahier des charges ne correspondait pas au besoin réel du client !

« *Il est plus aisé à résoudre un problème qu'à bien le poser* » disait Joseph de Maistre.

Ce devrait être à la base de l'enseignement. Malheureusement l'enseignement n'apprend qu'à résoudre des problèmes bien posés, pour lesquels toutes les données fournies doivent être utilisées. C'est loin de la réalité, c'est ce qu'on apprend par la recherche. Une formation par la recherche est impérative pour mériter le titre d'ingénieur, autrement on n'est simplement qu'un technicien. J'espère que les choses ont changé dans les Grandes Ecoles. Ce n'était pas le cas à mon époque.

### *Jean-Pierre Forestier, Supélec : Un atout pour la recherche*

Jean-Pierre Forestier, passionné par l'Automatique, exprime, à sa sortie de Supélec, le désir de faire de la recherche dans ce domaine. Le directeur de l'Ecole, André Blanc-Lapierre, lui propose de devenir enseignant-chercheur à Supélec, une nouveauté à cette époque. Mais, à la sortie de l'Ecole, cet enseignement de l'Automatique que lui a procuré l'Ecole oriente son service militaire, effectué en tant que scientifique du contingent, vers l'application du filtre de Kalman au guidage de missiles.

Jean-Pierre préfère commencer son activité de chercheur au département étude et recherche automatique de l'ONERA-CERT. Il y restera quinze ans, conduisant, majoritairement sur contrat, des recherches importantes pour l'industrie en automatique avancée.

En 1976, il est invité, pour un an, comme enseignant-chercheur à Berkeley. Malgré les sacrifices financiers qu'il doit concéder pour cela, il accepte l'invitation avec enthousiasme et ne le regrettera pas. Il passe alors une année d'excitation intellectuelle, en proximité avec la recherche fondamentale. Plongé dans le melting pot international de cette grande université, il acquiert une ouverture au monde, essentielle pour sa future évolution.

De retour à l'ONERA-CERT, il en dirigera le laboratoire d'automatique, de 1980 à 1985. Jean-Pierre Forestier est ensuite sollicité pour prendre la direction du programme Productique et robotique avancée, au Ministère de la Recherche : déjà la lutte contre la désindustrialisation du pays.

En 1987, Jean-Pierre, qui a plusieurs possibilités, choisit de rejoindre le Centre de recherche d'Alcatel-Alstom de Marcoussis, pour y diriger le département d'informatique (100 personnes). Ce laboratoire, central pour le groupe, est tourné vers la maîtrise des grands logiciels. Jean-Pierre sera précurseur en introduisant chez Alcatel-Alstom le modèle CMM (Capability Maturity Model) dans le développement du logiciel. En 1995, il prend la direction de tout le centre de recherche de Marcoussis.

Lorsque Serge Tchuruk, après son arrivée chez Alcatel, visite Marcoussis, Jean-Pierre lui fait part de son souhait de faire autre chose, ce qui arrivera quelques mois plus tard avec son départ au Canada. Serge Tchuruk lui demande de redresser la filiale du groupe dédiée au transport urbain, alors en grandes difficultés techniques et financières. C'est le début d'une aventure consacrée aux transports terrestres qui va conduire Jean-Pierre jusqu'à la direction de ce domaine d'activité, dans lequel Thales est aujourd'hui un des tout premiers acteurs mondiaux. Chez Jean-Pierre Forestier, pas de plan de carrière établi, mais l'ambition de progresser, d'avoir des challenges personnels, tout en faisant ce qui lui plaît.

Pour Jean-Pierre, il y a toujours eu continuité entre la recherche et l'entreprise. A l'ONERA, il a créé, avec le CNRS, la première filiale d'un établissement public de recherche, et créé, à titre privé, une entreprise de développement de robot. Aujourd'hui encore, l'activité qu'il dirige est l'application de l'automatique et de l'informatique, ses deux domaines de recherche.

Cette proximité technique en font, pour ses collaborateurs, un manager pas comme les autres ; elle lui donne une grande crédibilité auprès de ses clients et alimente sa réflexion stratégique, ce qui est, pour lui, une activité de prédilection.

Jean-Pierre remercie Supélec pour la qualité de l'enseignement qu'il y a reçu, notamment de Georges Ney, professeur d'Automatique, un enseignement qui lui a beaucoup servi pendant ses recherches. Dès la sortie de l'Ecole, cet enseignement lui a permis de faire un parcours professionnel, pour lequel il n'a aucun regret et qui lui a apporté beaucoup de satisfactions.

*Quelques suggestions de Jean-Pierre Forestier aux jeunes Supélec :*

- fais ce que tu as envie de faire, avec enthousiasme, l'intérêt du travail est primordial ;
- faire de la recherche n'interdit pas de faire une carrière industrielle réussie ;
- le management des hommes est primordial ;
- une expérience à l'international apporte une ouverture d'esprit incomparable.

Les hautes responsabilités de Jean-Pierre Forestier, Supélec 70, Directeur Général Adjoint en charge des Systèmes de Transport Terrestre du groupe Thales, nous démontrent qu'un début de parcours longtemps dédié à la recherche peut constituer un tremplin vers une carrière brillante, dès lors qu'on en a l'envie et les qualités nécessaires.

*Ce témoignage concernant Jean-Pierre Forestier (Supélec promotion 1970), a été rédigé par Hervé Allix (promotion 1977), et publié dans Flux ( revue des Supélec, Nov-Déc 2013)*

### *Témoignage d'Alain Orszag, (X 53), Ingénieur général de l'Armement, Docteur ès Sciences*

A ma sortie de Polytechnique, en 1956, je choisis le Corps des Fabrications d'Armement, par intérêt pour la technique, dont, notamment, celle des missiles. Après l'Ecole de l'Armement (ENSAR, devenue depuis ENSTA), j'ai débuté, en 1958, à l'Arsenal de Puteaux (APX), où étaient à l'étude un petit missile antichar filoguidé, l'ENTAC, et un missile antiaérien moyenne portée, le PARCA. A l'APX, affecté au Service Contrôle, j'y ai introduit les méthodes statistiques, et aussi beaucoup appris en mécanique, électronique, et optique, domaine où l'APX était un établissement pilote.

Puis tout a changé : après des campagnes d'essai réussies (dont une aux Etats Unis, au Redstone Arsenal (devenu, depuis, le Georges C. Marshall Space Flight Center) et à Fort Benning , l'ENTAC a vu sa fabrication de série confiée à Nord-Aviation. Le PARCA était abandonné. Dès lors, il n'y eu plus aucune activité missile à l'APX.

Mon directeur m'a alors informé que l'Armement cherchait un Ingénieur de l'Armement (IA) pour s'intéresser à une source lumineuse découverte en 1960 par le physicien américain Maiman et susceptible, à terme, d'applications militaires. C'était le maser optique, ou laser. En plus de l'IA, l'Armement était prêt à détacher trois scientifiques du contingent, un Normalien, André Blandin, ancien élève du Professeur Kastler, et deux ingénieurs, et à y consacrer quelques crédits. Par contre, c'était à l'IA à trouver un local.

M'étant déclaré intéressé, je me mis en quête d'un lieu d'accueil. L'Armement, l'Université, l'Ecole normale et l'Institut d'Optique, entre autres, n'avaient pas de locaux disponibles. Finalement, c'est l'Ecole Polytechnique qui mit à notre disposition, au laboratoire de physique du professeur Vignal, dans un groupe d' « Optique et Physique Moléculaire » dirigé par M.Teissier du Cros, maître de conférences et examinateur,

deux bureaux dévolus normalement aux travaux pratiques des élèves. Pour nous, tous débutants en recherche, ce cadre était stimulant et encourageant, avec, par dessus tout, l'aide de M. Teissier du Cros – et aussi, last but not least – l'apport inappréciable d'une secrétaire capable de gérer et de nous apprendre à gérer un contrat, puisque c'est sous cette forme que nous devons être soutenus. Pour le reste, du matériel électronique était emprunté au CNET, et un cristal de rubis (le cœur d'un maser) fut prêté par le Pr Kastler.

Nos travaux ont ainsi démarré début 1961. Notre mission était de reproduire le laser à rubis qui venait d'être inventé, un an plus tôt, aux Etats Unis. On connaissait essentiellement cet appareil par la publication de son inventeur, mais la technique mise en œuvre, le « pompage optique », résultait, en partie, des travaux de pionnier du Pr Kastler à l'Ecole Normale. L'apport d'André Blandin, théoricien formé dans ce laboratoire, était donc essentiel. C'est ainsi que, finalement, chacun des membres de l'équipe apportant au projet ses connaissances spécifiques, et formant les autres en même temps, notre groupe réussit à faire fonctionner, en novembre 1961, son premier laser.

Appuyé sur ce succès, et alors qu'un second laser - à gaz cette fois – avait fonctionné aux Etats Unis, je cherchai à susciter l'intérêt des nombreux organismes que les propriétés de cette nouvelle source lumineuse, et ses perspectives d'applications, militaires, métrologiques, scientifiques, devaient, logiquement concerner : le Centre National d'Etude des Télécommunications (CNET), la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique (DGRST) et la toute nouvelle Direction des Recherches et Moyens d'Essais (DRME) qui venait d'être créée pour susciter et soutenir, en amont des services techniques des trois armes, la science et la technique susceptibles de contribuer à la défense.

Je fus alors rattaché à la DRME et consacrai un temps croissant à proposer à ses ingénieurs des thèmes de recherche susceptibles de les intéresser, comme les lasers déclenchés pour la télémétrie ou le micro-usinage. En retour, sont arrivés, dans le groupe, de nouveaux scientifiques du contingent, des stagiaires ou des thésards (dont plusieurs feront de brillantes carrières scientifiques) détachés pour renforcer la première équipe. Puis un intérêt est apparu au Centre national d'Etudes Spatiales (CNES), pour la télémétrie des satellites, à l'Institut Géographique National (IGN), pour la géodésie, et à l'INSERM, pour la chirurgie oculaire. Un ingénieur géographe et un médecin sont ainsi arrivés dans notre groupe.

Par ailleurs, le Professeur Grivet, qui avait organisé avec le Pr Kastler le tout premier « International laser meeting », à Paris, en 1962, me demanda de l'aider à en éditer les « proceedings », puis il me suggéra de faire une thèse. J'entrepris donc, parallèlement, le cursus ad-hoc, à l'Université de Paris XI puis à l'Institut d'Astrophysique, par la responsabilité d'un projet, financé par le CNES, qui aboutit en 1971 aux premiers échos laser sur LUNOKHOD I, ce qui me valut la médaille du CNES. J'ai ensuite proposé plusieurs autres projets d'expériences spatiales utilisant des lasers et j'ai assuré, de 1974 à 1986, le cours de télédétection par satellites à l'ENSTA.

Mais, dans l'intervalle, en 1969, le décès du professeur Vignal avait failli tout remettre en cause. En effet, le laboratoire qui nous hébergeait, attaché à sa chaire, disparaissait avec lui. M. Teissier du Cros, proche de la retraite, ne pouvait durablement assurer la suite. Cette fin du laboratoire impliquait la dispersion des personnels, et l'arrêt de toutes les recherches en cours, sauf à trouver un nouvel établissement pratiquant de la recherche, mais surtout habilité à employer des personnels rémunérés par des contrats. L'ENSTA, récemment créée, remplissait ces

conditions. Sous l'impulsion de l'Ingénieur Général Carpentier (DRME), il a donc été décidé, conjointement entre cette école et l'Ecole Polytechnique, la création d'un laboratoire commun, le « Laboratoire d'Optique Appliquée » (LOA), dont je devais être le directeur. Ce statut de laboratoire commun, qui était alors original, visait également à favoriser les relations entre l'Ecole Polytechnique en amont et son école d'application l'ENSTA en aval. Ce modèle d'organisation a souvent été repris.

Dès sa naissance en 1974, le LOA a poursuivi les travaux en cours sur les lasers, mobilisant 22 chercheurs ou ingénieurs, techniciens et personnes détachées ou rémunérées (bourses) par d'autres organismes - l'ensemble constituant donc la succession des quatre personnes de 1961.

En plus, étaient accueillies huit autres personnes, issues d'autres branches du laboratoire du Pr Vignal. Initialement axé sur les applications des lasers aux matériaux, à la météorologie et à la chimie, le LOA fut amené à s'intéresser aux propriétés les plus extrêmes de certains lasers : très haute stabilité, émission par impulsions très courtes, compacité (par les systèmes à fibres optiques).. Les lasers à impulsions très courtes trouvèrent rapidement un vaste champ d'applications et devinrent, en quelques années, le principal foyer d'activité du LOA.

Ces lasers « pico » et « femto seconde » (10-12 à 10-15 s) furent les premiers instruments permettant, en temps réel, l'analyse des mouvements moléculaires. En 1988, le LOA, dont l'effectif (environ cinquante personnes) avait presque doublé depuis 1974, était devenu, hors possiblement l'industrie ou le CEA pour leurs objectifs propres, le plus important groupe de recherche sur les lasers en France (on pourrait y voir, dans l'optique actuelle, une petite PME de la recherche).

Le LOA était aussi un des tout premiers centres de recherche mondiaux sur les impulsions ultra - courtes, comme l'atteste le nombre des visiteurs et des stagiaires. Associé à l'INSERM depuis 1980, le LOA est également associé à l'Université de Rochester et au CNRS depuis 1990. Source de très nombreuses publications et thèses, il aura créé, sur la durée, de nombreux emplois. Actuellement une centaine de personnes y travaillent.

Mais, sur le plan personnel, mon détachement ne pouvait plus être prolongé, et j'ai du quitter le LOA, en 1978, pour être nommé Président du Comité d'Action Scientifique de la Défense (CASD) et conseiller scientifique du Secrétaire Général de la Défense Nationale. Chargé, au plan interministériel, de l'exploitation des résultats de la recherche scientifique au profit des formes non militaires de défense, le CASD a soutenu de nombreux travaux sur la protection des populations, sur celle d'installations vitales : communications, transports, sur l'exploitation de l'information scientifique, etc..

En 1986, élu PDG de la société Quantel, filiale de la SFENA (Société Française d'Equipements pour la Navigation Aérienne), j'y ai lancé de nouveaux types de lasers : tout solide et femto-seconde, élaborés en coopération avec deux laboratoires universitaires, ainsi qu'un laser de très grande puissance pour l'usinage des matériaux, secteur en pleine expansion.

Cependant, Quantel ayant été cédée, fin 1990, à un nouvel actionnaire avec lequel elle se trouvait de plus en plus en concurrence, j'ai mis fin à mes fonctions en 1992, à l'expiration de mon mandat d'administrateur, pour être agréé comme Expert auprès des Cours d'Appel de Paris et de Versailles, puis la Cour Administrative d'Appel de Paris.

*Comme le montre le témoignage d'Alain Orszag, son activité de recherche a eu de brillants résultats dans des domaines à finalité duale, militaire et civile.*

*Cette activité de recherche s'est exercée en relation étroite avec la DGA, elle a conduit aussi Alain Orszag à des hautes fonctions essentielles pour la Défense. Ceci a été reconnu par son accession au grade d'Ingénieur Général de l'Armement, ses promotions dans l'ordre de la Légion d'Honneur et dans l'ordre du Mérite, ainsi que par la remise du Prix Chanson en 1976. (Il est aussi Croix de la Valeur Militaire, Algérie, 1956)*

### *Témoignage de l'IGA Jacques Bouttes (X 52)*

*Ma carrière à l'ONERA, dans l'enseignement et dans l'industrie :*

Je suis arrivé à l'ONERA en octobre 1957 après ma sortie de Sup Aéro. Je ne voulais pas aller au Service technique de l'Aéronautique, car je craignais de ne pas être capable de discuter de contrats avec des industriels. J'ai donc été détaché à l'ONERA et j'ai été affecté à l'équipe de mécanique du vol dirigée par Marcel Bismut.

Dès mon arrivée dans cette équipe, j'ai été confronté à des problèmes concrets rencontrés sur des avions de combat rapides. C'est ainsi que j'ai eu à analyser le deuxième régime de vol qui est très gênant pour les avions à ailes delta. J'ai, à cette occasion, utilisé les machines analogiques de Sup Aéro, pour réaliser un simulateur de vol très simplifié. Nous avons ainsi pu comprendre les raisons des difficultés rencontrées et essayer un dispositif d'auto manette. Ce dispositif a été adapté sur un avion Gerfaut et les essais en vol ont confirmé son efficacité.

C'était, à l'ONERA, le début des fusées expérimentales. J'ai participé au développement de ces fusées, notamment Antarès et Bérénice, qui ont permis de mieux connaître les conditions de rentrée des têtes des missiles balistiques français.

Tous ces travaux m'ont fait acquérir beaucoup de connaissances dans des domaines très variés, notamment informatique, discipline naissante à cette époque.

Dès 1957, j'ai été contacté par Pierre Lecomte pour participer à l'enseignement de la mécanique du vol à Sup Aéro dont il venait de prendre la responsabilité : je faisais des petites classes. Fin 1959, Maurice Roy, professeur de mécanique à l'Ecole Polytechnique, m'a proposé de devenir maître de conférences : c'était le début d'une carrière de trente ans qui m'a beaucoup apporté, notamment en matière de pédagogie et d'approfondissement de mes connaissances.

Après sept années de travail d'ingénieur, j'ai été appelé par Pierre Contensou pour assurer une mission d'adjoint scientifique pour les affaires aéronautiques et spatiales; j'ai développé la coopération de l'ONERA avec le CNES dans le domaine des lanceurs et des satellites. L'ONERA a étudié l'effet POGO (vibrations longitudinales des fusées à moteur liquide) et proposé des solutions pour supprimer ce phénomène dangereux. J'ai travaillé avec Marcel Barrère et avec Jean- Jacques Dordain, qui a été plus tard maître de conférences dans mon équipe à l'X et qui est maintenant directeur général de l'ESA. Nous avons travaillé ensemble pour le programme Ariane, tout particulièrement pour comprendre et corriger les instabilités de combustion, cause de l'échec du deuxième essai de ce lanceur.

En 1973, j'ai été nommé Président du Conseil scientifique de l'IRT (Institut de recherche pour les transports terrestres) qui est devenu par la suite l'INRETS. J'y suis resté jusqu'en 1985. J'ai pu apprécier les travaux de cet Institut dans le domaine ferroviaire, ce qui m'a servi quand j'ai proposé de faire des essais de maquette de TGV dans la soufflerie acoustique CEPRA 19. J'ai aussi par la suite travaillé pour Alstom, comme consultant sur les sources de bruit du TGV, provenant notamment de la cavité de la motrice.

Parmi tous les bons souvenirs, il faut citer l'aventure du micro accéléromètre CACTUS développé à la Direction de la Physique de l'ONERA ; cet appareil, capable de détecter le milliardième de g, ne pouvait être expérimenté que dans l'Espace. Le CNES accepta de le monter sur une fusée VESTA, puis, au vue du succès, accepta aussi de l'embarquer sur le satellite CASTOR. Le premier tir fut un échec de la fusée Diamant B

Un deuxième tir a eu lieu en 1975 et ce fut un succès. Depuis, cette technologie, issue des recherches de l'ONERA, est utilisée sur le satellite GOCE pour mesurer le gradient de gravitation.

Je voudrais aussi parler de l'opération ELECTRE qui, grâce à Jacques Dorey, a permis de recalculer les codes de calcul des plasmas de rentrée dans l'atmosphère.

J'aurais beaucoup d'autres aventures à raconter mais je voudrais terminer en parlant de la communication. J'ai, bien entendu, rédigé et présenté de nombreuses publications en France et à l'étranger : c'est un des devoirs du chercheur. Mais j'ai aussi monté des colloques : d'abord en 1983 "Techniques de pointe : quelle place pour la France?" puis, à la demande de la DRET, les rencontres "Science et Défense" qui avaient pour objectif de faire mieux se connaître le monde de la Recherche et celui de l'Industrie. Pour ces actions, ma connaissance de la pédagogie m'a beaucoup aidé pour obliger les uns et les autres à utiliser un langage compréhensible par tous. C'est dans cet esprit que nous avons réalisé avec l'Académie de l'Air et de l'Espace et le collège de Polytechnique, les Entretiens de Toulouse dont la 7<sup>e</sup> édition a eu lieu en avril 2014

La formation que j'ai reçue à l'ONERA m'a été très utile, m'a apporté beaucoup de joie et m'a bien préparé à ma courte carrière dans l'industrie. En effet, en 1984, j'ai quitté l'ONERA pour une filiale de Thomson, ABG SEMCA, qui réalisait des équipements de conditionnement d'air. Président de cette société, j'ai signé le contrat du système de conditionnement d'air de l'A320 qui se révèle être un grand succès technique et commercial pour la société Liebherr qui a racheté ABG SEMCA. J'ai été ensuite recruté par Intertechnique, pour développer une division militaire : nous avons notamment remporté, avec Dassault et TRT, le contrat du FLIR pour l'avion de combat F1. J'ai terminé ma carrière à Intertechnique comme directeur général adjoint en 1992.

Après trois années particulièrement riches passées comme consultant, j'ai été recruté par l'ESTACA comme directeur de cette école d'ingénieurs : j'y ai passé cinq années. C'est ainsi que j'ai pu mettre en place une année de césure qui permet à quelques étudiants de passer une année complète dans l'industrie avant de terminer leur cursus à l'Ecole ; cette innovation a un très grand succès. L'ESTACA a maintenant un fort développement avec un établissement à Laval et la réalisation de nouveaux bâtiments à Saint Quentin en Yvelines. Elle est associée au groupe ISAE.

Ma carrière, marquée par la combinaison de recherche appliquée, d'enseignement et de réalisations industrielles dans des techniques de pointe, m'a permis de témoigner, vis à vis des jeunes, de l'intérêt de mon métier et de l'importance de la formation scientifique pour l'industrie aéronautique et spatiale.

*Témoignage de l'IGA Jean-Pierre Marec, (X 57), Docteur ès Sciences, membre de l'Académie des Technologies, ancien Directeur scientifique général de l'ONERA*

### *Introduction*

Dans son document sur « La DGA et la formation par la recherche », Jean Carpentier a prévu d'inclure quelques témoignages. C'est avec plaisir que je réponds à sa sollicitation, tout en me rendant compte que mon témoignage ne sera que très partiel.

J'espère qu'il sera rejoint par d'autres qui donneront une vue plus complète de la question.

En effet, la formation par la recherche concerne non seulement les futurs chercheurs (cela a été mon cas, et je peux en parler assez longuement) mais également ceux qui, après un « passage par la recherche » se destinent à une autre carrière (ingénieurs, responsables divers). Quel bénéfice ces derniers retirent-ils de ce « passage » ? Là-dessus, je serai plus bref, bien que disposant de quelques éléments de réponse par mon expérience d'enseignant et par le suivi de carrière de nos doctorants de l'Onera.

### *La formation par la recherche... pour la recherche*

Pourquoi et comment me suis-je orienté vers la recherche ? La DGA a-t-elle favorisé cette orientation et cette carrière ? Pourquoi ai-je persévéré ? Quelles satisfactions en ai-je retiré ?

### *Les études*

Je suis rentré à l'X en 1957, année du lancement du premier "Sputnik" qui marquait le début de l'ère spatiale. J'étais déjà attiré par l'aéronautique, l'espace et aussi par la recherche. J'avais découvert à la bibliothèque de l'X quelques numéros de *La Recherche Aérospatiale*, la revue scientifique de l'Onera, et m'étais plongé dans des articles de Robert Legendre, alors directeur technique de l'Onera, qui me montraient, par exemple, que ce qui était enseigné à l'X de façon assez abstraite sur les fonctions à variables complexes pouvait avoir des applications vraiment intéressantes en aéronautique, notamment pour l'étude des écoulements dans les turbomachines. De plus anciens que moi, en particulier Jacques Bouttes et Charles Bigot, m'ont convaincu qu'une des voies possibles vers l'aéronautique, l'espace, la recherche - et en particulier la recherche à l'Onera - était de choisir, à la sortie de l'X, le corps des Ingénieurs militaires de l'air. Le corps des IMA avait, pour moi, un attrait supplémentaire : le pilotage.

A ma sortie de Sup'Aéro, en 1962, j'ai pu bénéficier de l'un des deux postes que le décret Suquet réservait aux IMA désirant s'orienter vers la recherche. J'étais donc en contact avec la DRME (Direction des recherches et moyens d'essais) et son directeur, Lucien Malavard, qui a soutenu avec beaucoup de bienveillance mon projet de stage d'un an aux Etats-Unis pour passer un diplôme de Master of Sciences avant de rentrer à l'Onera pour ma thèse de doctorat d'État que je devais préparer dans l'équipe de propulsion par fusée de Marcel Barrère.

J'ai choisi l'université de Princeton pour ses cours sur la propulsion spatiale, mais surtout pour un cours de Luigi Crocco au titre très prometteur : "*Space Flight*", ce qui était très précisément ce que je recherchais. Luigi Crocco était avant tout un aérodynamicien et un thermodynamicien mais, doté d'une grande curiosité d'esprit, il s'était passionné pour une discipline naissante, dans un domaine assez éloigné de ses préoccupations habituelles : « l'astrodynamique », qui était alors peu enseignée aux Etats-Unis. Il devait y avoir d'autres cours de ce type au Caltech et au MIT.

Le cours de Luigi Crocco m'a fait connaître en particulier les premiers rudiments de deux domaines assez essentiels pour la suite : la théorie des perturbations de la mécanique céleste et les théories d'optimisation non linéaire, en particulier le "principe du maximum" du russe Pontryagin, énoncé en 1956 mais exposé en anglais dans un livre qui venait de paraître en 1962. C'est sur l'utilisation conjointe de ces deux outils que j'ai basé mon travail de thèse. Ce « passage par les Etats-Unis » a été déterminant pour l'orientation de mes travaux.

A mon retour en France, après un court stage à la DRME, je suis entré à l'Onera en 1963. A ceux d'entre vous qui avez eu une carrière plus variée, la mienne paraîtra étonnamment simple puisqu'elle s'est déroulée entièrement à l'Onera. Cela ne veut pas dire qu'elle n'a pas présenté - à mes yeux du moins - une grande diversité. En effet, l'Onera est un organisme de taille suffisante et son activité couvre des spectres de disciplines, de finalités (produits), de natures de recherches (recherche de base, recherche appliquée, participation aux développements) et de métiers suffisamment divers pour permettre un parcours interne qui évite la monotonie, d'autant plus que les sujets de recherche y sont, par essence, toujours renouvelés et que l'ouverture vers l'extérieur - et notamment l'international - est particulièrement marquée. Il est difficile de s'y ennuyer. C'est sans doute cela qui expliquait le peu de mobilité externe. Beaucoup faisaient à cette époque toute leur carrière à l'Onera. Cela a évolué avec l'augmentation du nombre des doctorants dont certains se contentent d'un « passage par la recherche ». Il en sera question plus loin.

Mon parcours personnel correspond à la fois à l'élargissement du champ de mon activité - ce qui est assez classique et sans doute assez salubre pour un chercheur - à un passage de l'opérationnel au fonctionnel et à un curieux aller-retour "amont-aval-amont" que j'ai personnellement beaucoup apprécié. Il m'a été également possible d'équilibrer mon activité entre la recherche personnelle, la direction de recherche, l'enseignement et l'exercice de responsabilités nationales et internationales diverses, équilibre assez confortable car on n'est jamais assuré que ces différents ingrédients se présenteront simultanément sous leur meilleur jour. Ils sont évidemment intervenus en proportions variables tout au long de mon parcours.

### *De la recherche...*

Et tout d'abord, la recherche. Compte tenu de l'orientation que je voulais donner à mon travail de thèse, Marcel Barrère m'a fait connaître Pierre Contensou qui devait être chargé de la nouvelle équipe créée par Paul Germain, alors directeur général, pour traiter les problèmes transversaux multidisciplinaires : le Département des études de synthèse (DES), qui devait être - au moins au départ - très orienté vers les recherches spatiales.

Je me souviens de cette première rencontre avec Pierre Contensou. C'était à l'occasion d'une pause, pendant le déroulement du Congrès international d'astronautique qui avait lieu cette année-là - en 1963 - à Paris, à l'UNESCO. Nous avons longuement arpenté le hall, plongé dans une discussion qui montrait combien notre intérêt était grand pour les mêmes problèmes.

En effet, dès 1946 Pierre Contensou s'était intéressé à "la cinématique générale du mobile dirigé". Il avait énoncé un théorème potentiellement équivalent au "principe du maximum" de Pontryagin et avait déjà utilisé sa théorie pour traiter quelques cas d'application, dont la navigation maritime et le vol plané atmosphérique. Au début des années 60, il avait abordé l'étude des transferts optimaux, de *durée indifférente*, entre orbites képlériennes, coplanaires, dont le transfert bi-impulsionnel de Hohmann entre cercles coplanaires constitue un exemple très simple et maintenant bien connu.

Je me suis intéressé aux transferts et rendez-vous de *durée fixée*, mais en me limitant à la *théorie linéarisée* pour les systèmes de propulsion à vitesse d'éjection constante (propulsion "classique", à liquides ou à poudre) ou à puissance limitée comme c'est le cas pour la propulsion électrique à faible poussée. J'ai souvent fait appel à la géométrie, profitant de la solide formation que j'avais alors reçue en France dans cette matière. Cela conduisait à des solutions dont l'élégance était appréciée par mes correspondants américains et russes.

J'ai passé ma thèse en 1967. Mes travaux ont ensuite été complétés et appliqués à l'Onera - souvent avec ma participation dans mon groupe d'"Études fondamentales de mécanique aérospatiale" - pour résoudre des problèmes concrets posés par l'ESA (mise en place du satellite GEOS), la DRET et le Cnes (contrôle d'orbite d'un satellite de navigation à traînée compensée), et la DEn (contrôle d'orbite d'un satellite d'observation).

Je suis sûr que ce que je vais dire maintenant trouvera une certaine résonance chez les chercheurs, car ils doivent eux-mêmes l'avoir éprouvé. Je voudrais que ce "vécu", ce témoignage, soit aussi un message aux jeunes, aux doctorants en particulier. Cela est aussi un plaidoyer envers le « passage par la recherche » pour les qualités que développe cette expérience unique. Aucune autre formation ne la remplace. Rétrospectivement, tout bien pesé, je pense que de toutes les activités mentionnées plus haut, la « Recherche » a été pour moi la plus excitante : Luigi Crocco m'avait d'ailleurs déjà passé le message à Princeton.

Plaisir de chercher. Plaisir parfois de trouver ! Car souvenons-nous du mot du général de Gaulle à Gaston Palewski qui sollicitait des crédits pour la recherche : "Des chercheurs on en trouve, ce sont des trouveurs que je cherche !". Alors comment trouver ? Il faut déjà atteindre la frontière entre le connu et l'inconnu. Cela demande du temps, des efforts et beaucoup d'humilité. La bibliographie que l'on fait donne l'impression que la frontière recule sans cesse... Mais il ne faut pas en rester là : "Couvrir est bien ; découvrir est mieux".

Il faut donc ensuite peser de tout son poids, en un seul point. "En un seul point" demande de la spécialisation. Il faut être constamment "plein" de son sujet. La recherche ne se fait pas dans la dispersion d'activités. Il faut de la concentration. En revanche, les idées viennent au moment où on s'y attend le moins.

L'expérience montre - et en particulier les publications de nos chercheurs de l'Onera montrent - que peu ou prou, lorsqu'on est plein de sa recherche, l'on arrive à apporter sa pierre - même modeste - à l'édifice, et cela doit être un grand encouragement pour nos jeunes chercheurs.

#### *à la direction de recherche*

Le temps passant, le chercheur peut avoir le désir d'équilibrer sa vie professionnelle en s'ouvrant à d'autres activités – direction de recherche, enseignement, responsabilités diverses - qui ont aussi leur charme et pour lesquelles il peut avoir quelques dispositions. D'ailleurs, à l'Onera, l'exercice de responsabilités croissantes est considéré comme une évolution naturelle de carrière pour un grand nombre de chercheurs, surtout à notre époque où "la recherche est passée de la famille de la poésie à la famille de l'économie et de la politique".

Mais cela ne va pas sans conflit avec l'éventuel et légitime désir du chercheur de continuer à faire encore une part de recherche personnelle, car comme me l'a dit un jour Marcel Barrère : "Il faut bien se faire plaisir de temps en temps". Le chercheur, s'il est passionné, tend à prolonger ainsi son « passage » personnel par la recherche !

Beaucoup d'entre nous, à l'Onera, ont vécu ce dédoublement. En y réfléchissant, je pense que la difficulté que l'on éprouve généralement est moins liée à l'accroissement inévitable de la charge de travail qu'au fait d'avoir des activités dont les "constantes de temps", ou encore les "horizons" - pour parler un langage cher à nos automaticiens - sont très différents.

La recherche demande suffisamment de calme, de sérénité, un "horizon" qui se compte, au moins en mois, généralement en années, et que certains souhaiteraient même "infini"...

Les responsabilités demandent un traitement rapide des questions. L'"horizon" est le mois, le jour, l'heure, voire encore moins. Les deux activités font rarement bon ménage et il faut des prodiges d'organisation pour les mener de front. C'est pourtant le sort de la plupart de nos chercheurs de l'Onera.

La direction de recherche n'est pas une tâche aisée. Ceux qui ont fait l'expérience de la recherche personnelle conviendront qu'il est encore plus difficile d'animer une équipe. Le "facteur humain", cher à nos automaticiens, rentre alors pleinement en jeu ! Pourtant, il suffit en principe de suivre la recommandation d'Hubert Curien pour l'exercice de toute direction : "Ne rien faire. Faire faire. Ne pas se laisser faire". Plus facile à dire qu'à faire !

Ces difficultés ne sont évidemment pas spécifiques au secteur de la recherche. Notons que l'expérience intime de la recherche vécue par le chercheur au cours de ses premières années (dans son travail de thèse par exemple) facilite beaucoup sa direction de recherche ultérieure : il sait ce que vivent ses collaborateurs car il est lui-même « passé par là ».

Je ne rentrerai pas dans le détail de cette direction de recherche que j'ai menée successivement comme chef du Groupe d'études fondamentales de mécanique aérospatiale (1970), puis de la Division de mécanique aérospatiale (1973), directeur adjoint de la Direction des études de synthèse (1979), Coordinateur avions, hélicoptères et équipements aéronautiques (1983), Directeur pour les applications aéronautiques (1985), enfin Directeur scientifique général (1997). Mais je ne voudrais pas quitter le chapitre de la "direction de recherche" sans dire un mot de la coopération internationale, dans laquelle j'ai eu plaisir à beaucoup m'investir, notamment dans le cadre de la coopération bilatérale Onera-DLR, des programmes communautaires européens en aéronautique et de l'AEREA (Association des sept établissements de recherche européens en aéronautique).

### *L'enseignement*

Quelques mots sur l'enseignement. Dans ses "Rêveries d'un promeneur solitaire", Jean-Jacques Rousseau dit : "J'ai toujours cru qu'avant d'instruire les autres, il fallait commencer par savoir assez pour soi". Comment "savoir assez pour soi" mieux que par la recherche? Mais, une fois cela fait et si l'on éprouve quelque inclination et que l'on a quelques dispositions, il est bon d'enseigner, de former ceux qui, un jour, prendront la relève. Les connaissances se périment si rapidement à présent qu'il faut enseigner le plus en amont possible, au plus près de la recherche. Je pense même que l'enseignement est, pour le chercheur, un complément indispensable de la recherche. Il lui permet de clarifier ses idées pour poursuivre son effort sur des bases encore plus solides. Mais ce « passage par l'enseignement » n'est pas utile qu'au chercheur, il est bénéfique pour bien d'autres carrières. J'ai eu la chance de pouvoir satisfaire ce désir d'enseigner pendant toute ma carrière de chercheur, surtout à Sup'Aéro et à l'École Polytechnique.

### *Autres activités*

Ma carrière à l'Onera m'a conduit à participer à un certain nombre d'autres activités dans un cadre national : Comité national du Cnrs, AAE (Académie de l'air et de l'espace), CADAS (Conseil pour les applications de l'Académie des sciences) / Académie des technologies, COMAERO (Comité pour l'histoire de l'aéronautique), ou international : IAF (International Astronautical Federation), IAA

(International Academy of Astronautics), AGARD / RTO (Advisory Group for Aerospace Research and Development / Research and Technology Organisation), ICAS (International Council of Aeronautical Sciences).

### *Conclusion*

J'ai eu la chance d'avoir une activité passionnante et variée, mais également de pouvoir consacrer assez de temps à chaque étape. La DGA a facilité ce parcours, aussi bien en ce qui concerne mon orientation initiale (Décret Suquet, stage à Princeton) que ma carrière à l'Onera, où j'ai bénéficié du soutien bienveillant des directeurs puis présidents successifs. Mon « passage par les Etats-Unis » et mon « passage par l'enseignement » m'ont été très profitables.

#### *Le « passage » par la recherche*

Nous avons vu les qualités spécifiques que la recherche permet de développer. Cela n'est pas seulement utile à ceux qui poursuivent une carrière de chercheur. Un « passage par la recherche » peut être également bénéfique à ceux qui se destinent à une tout autre carrière.

Les écoles d'ingénieurs en ont bien été conscientes puisque plusieurs d'entre elles ont introduit en fin d'études une initiation à la recherche. D'autre part les études universitaires et dans les grandes écoles peuvent être complétées par l'obtention d'un doctorat. Mon témoignage sera limité à l'expérience que j'ai eue dans le cadre des « micro-thèses » d'options à l'Ecole polytechnique et de la gestion des doctorants de l'Onera.

#### *Les « micro-thèses » d'option à l'Ecole polytechnique*

Dans les années 1980, l'enseignement d'option de 2<sup>e</sup> année à l'Ecole polytechnique comprenait des séminaires de soutien et un travail personnel de « micro-thèses », par binômes, avec stage dans des organismes extérieurs pendant quelques semaines, rédaction d'un mémoire et soutenance.

Dans le cadre des options que j'ai créées, « Astrodynamique » (1982-1984), « Dynamique et contrôle actif des avions et des véhicules spatiaux » (1985), « Aérodynamique et mécanique du vol des véhicules aérospatiaux » (1986), j'ai trouvé pour les élèves des stages de recherche dans différents organismes (Onera, Bureau des longitudes, Cnes, Matra, Sep, Aérospatiale, INRIA, AMD/BA, CEV / Brétigny, etc.).

Malgré leur courte durée, ces « micro-thèses » passionnaient les élèves, peu habitués à ce travail demandant imagination et initiative, alors qu'on les avait habitués, depuis la « taupe » à trouver rapidement la solution (qui existait forcément) d'un problème en principe bien posé, ce qui laissait peu de place aux aléas de la recherche véritable. Les meilleures « micro thèses » étaient récompensées par un « Prix d'option ».

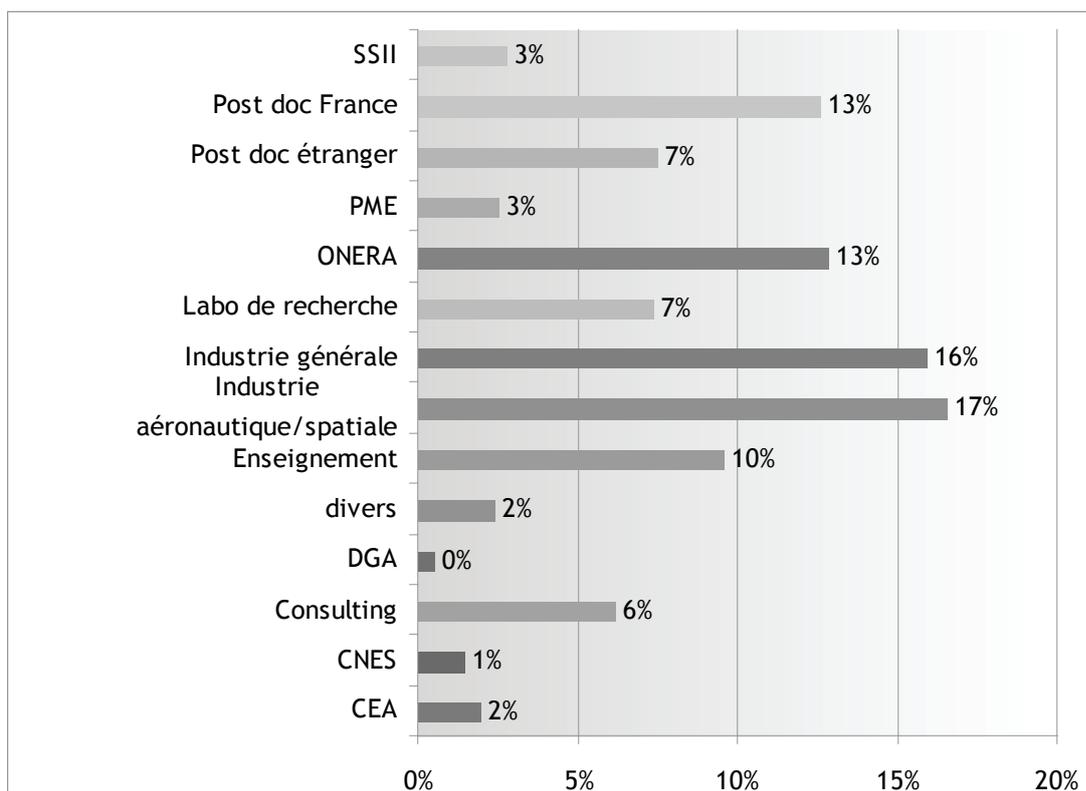
#### *Les doctorants de l'Onera*

Les doctorants de l'Onera ne se destinent pas tous à une carrière de chercheur. Le tableau ci-dessus donne la répartition, par type d'activité à la sortie, pour les 857 doctorants de l'Onera entre 2000 et 2013 (il n'y avait pas de telles statistiques avant 2000), doctorants pour lesquels cette activité est connue.

La répartition pour les 197 doctorants dont cette activité n'est pas connue (sur un total général de 1054) est supposée égale à la répartition des activités connues, hors Onera (tous les post-doc entrant à l'Onera sont évidemment connus).

On peut noter l'importance des recrutements Onera, mais également par l'industrie, aérospatiale ou non. En effet, l'industrie peut se féliciter de l'embauche de personnels

formés par la recherche, comme le montrent les deux témoignages volontaires suivants.



### *1 - Témoignage de Michèle Packan, ingénieur système dans la société Excico.*

Je suis entrée à l'ONERA en 2003, au sein de l'équipe DOP de Brigitte Tretout dans le département DMPH (Département des mesures physiques), afin d'effectuer mon stage de fin d'étude de l'Ecole nationale supérieure de physique de Strasbourg (actuelle Télécom physique Strasbourg). Le sujet portait sur l'application de la fluorescence induite par laser, technique habituellement utilisée à l'Onera en combustion, mais qui dans mon cas était mise à contribution pour mieux comprendre les mécanismes de formation de nanotubes de carbone, qui étaient créés dans un réacteur de synthèse par vaporisation laser avec un laser CO<sub>2</sub> continu. J'ai poursuivi ce stage par une thèse, dirigée par Annick Loiseau du LEM (Laboratoire d'étude des microstructures) et encadrée par Brigitte Tretout, sur la même thématique.

Après ma thèse, j'ai été embauchée dans une startup, Nano UV, où j'ai participé pendant trois ans à la mise au point d'une source « extrême UV » (13 nm) pour la lithographie des semi-conducteurs. Puis j'ai obtenu en 2011 un poste, en tant qu'ingénieur système, dans la société Excico, qui est aussi une startup dans le domaine des équipements pour l'industrie des semi-conducteurs. Le produit principal est un laser excimère UV impulsionnel à forte puissance crête (10 J, 200 ns, 308 nm, 2 Hz) couplé à un système de manipulation de wafers, qui effectue un recuit thermique de surface. Je gère deux de ces machines, un démonstrateur et un prototype, et j'ai sous ma responsabilité trois techniciens et un ingénieur en apprentissage.

La pluridisciplinarité de mon sujet de thèse, allant de la métrologie optique à la microscopie électronique en transmission en passant par la modélisation de cinétique chimique, m'a permis de diversifier mes connaissances techniques mais m'a surtout donné le goût de travailler avec des experts de différents domaines scientifiques. D'une part, j'ai eu de très nombreux échanges au cours de ma thèse avec des

ingénieurs de recherche d'autres équipes de l'Onera, grâce notamment au projet de recherche fédérateur auquel je participais. D'autre part, la renommée internationale de l'Onera permet de développer des collaborations avec des équipes à l'étranger, et j'ai pu notamment côtoyer des chercheurs russes du General Physics Institute de Moscou, et américains de la NASA.

Dans le cas de machine complexe telle que celle dont je suis en charge actuellement, il est indispensable de comprendre et de maîtriser les principes de base des différents éléments qui la composent pour avoir une vue globale du système complet et des interactions entre tous les modules. Cela permet d'être autonome sur ce type de systèmes mais aussi d'anticiper des problèmes d'intégration de nouveaux modules. Ma formation de généraliste m'est très utile pour ça. A l'inverse, échanger avec des ingénieurs sur des sujets qui ne sont pas leur spécialité m'oblige à revenir aux bases des phénomènes physiques et permet de voir les problèmes sous un autre angle, ce qui est souvent source d'idées nouvelles.

Les expériences réalisées pendant ma thèse se sont déroulées sous forme de campagnes d'une quinzaine de jours. Je retrouve aujourd'hui le même type de contraintes dans le cadre de mon activité au sein d'Excico puisque, pour optimiser l'utilisation de nos machines, nous devons établir un planning à la demi-journée, dont les créneaux sont pré-réservés au moins une semaine à l'avance : un travail efficace implique une préparation approfondie du plan d'expériences pour ne pas être hors délai et ainsi atteindre les objectifs fixés.

Une partie de mon travail actuel consiste à analyser les données enregistrées par le système, que ce soit pour comprendre des dysfonctionnements, ou pour suivre l'évolution des performances du système. Ces données sont multiples – elles concernent aussi bien les consignes, l'état des capteurs, la métrologie, etc. – et en extraire des informations est assez fastidieux et demande beaucoup de rigueur. Pour cela, j'utilise des outils de traitement de données ainsi que les méthodes avec lesquels j'ai travaillé pendant ma thèse.

Mon travail à l'ONERA a été très formateur d'un point de vue technique et méthodologique ; je le dois à l'encadrement exceptionnel dont j'ai bénéficié pendant ma thèse. Avec le recul, je me suis rendue compte que ce sont des acquis que j'utilise tous les jours ».

## *2 - Témoignage de Michel Allouard,*

Responsable du Centre de compétences industrielles en contrôle non destructif de Snecma et pilote du réseau de contrôle non destructif de Safran. (Michel Allouard n'a pas fait sa thèse à l'Onera, mais en étroit contact avec l'Onera).

### *La formation par la recherche pour mieux gérer l'innovation en entreprise.*

Après 3 ans d'école d'ingénieur à Toulouse dans le domaine de la chimie, je me suis orienté vers un doctorat pour approfondir mes connaissances dans le domaine des matériaux. La thèse s'est déroulée au Centre des matériaux de l'Ecole nationale supérieure des mines de Paris, à Evry. La particularité de ce laboratoire était son implantation à l'intérieur de la société Snecma et la forte interaction entre le monde de la recherche et de l'industrie.

La problématique était très large et concernait l'étude de nouveaux matériaux à base de Niobium afin d'envisager l'augmentation de plus de 100° C des températures de fonctionnement des moteurs d'avion. Il a fallu cadrer le sujet, définir le périmètre et rapidement identifier les points critiques à développer. Avant d'envisager de tester les

propriétés de ces nouveaux alliages, il fallait les élaborer et nous nous sommes aperçus que nous ne disposions pas de moyens adéquats. Nous avons alors mis en place des collaborations avec l'Onera, l'université de Nancy, Grenoble, Genève et d'autres organismes. Un groupe français du Niobium a été créé pour gérer les travaux dans ce domaine. Le principal contributeur fut l'Onera où j'ai passé de très nombreuses journées à travailler, discuter avec les experts, mettre au point des manipulations dans le domaine des matériaux et de l'élaboration. Tous ces nouveaux alliages expérimentaux ont été fabriqués par l'Onera. Après 4 ans de thèse, j'ai intégré Snecma et occupé plusieurs postes dans les différentes directions technique, industrielle et qualité. Actuellement, j'ai la responsabilité du Centre de compétences industrielles en Contrôle non destructifs (CND) de Snecma et du réseau CND de Safran qui regroupe plus de 10 sociétés du groupe Safran.

Après plus de 20 ans de carrière au sein de Safran, je mesure pleinement l'importance de la formation par la recherche. Les outils et méthodologies utilisées lors de ma thèse m'ont permis de prendre en charge plusieurs responsabilités de management de projets transversaux et d'équipe et sont des aides indispensables dans mon métier.

Je retiens cinq points forts qui caractérisent la formation par la recherche.

C'est tout d'abord une démarche de créativité et d'ouverture intellectuelle nécessaire dans une grande entreprise comme Snecma. L'aéronautique nécessite de lourds investissements en Recherche et Développement compte tenu de la complexité des technologies mise en œuvre. La formation par la recherche est un atout majeur pour participer à la démarche d'innovation et de transformation continue qui permet à Snecma de se hisser parmi les quatre motoristes mondiaux. La créativité est un état d'esprit qu'il faut développer et cultiver avant de rentrer dans une entreprise souvent très structurante et parfois trop rigide. Savoir rester innovant pour simplifier, améliorer les processus d'entreprise et gagner en réactivité sont les défis majeurs des grands groupes industriels.

D'autres compétences sont très fortement développées lors du doctorat : la synthèse de données multiples et leur analyse. Ce sont deux processus intellectuels indispensables dans une grande société confrontée à la multiplicité et la diversité des informations et des données provenant des différents secteurs clés comme la conception, la production, la qualité, les achats et la maintenance.

Le troisième point essentiel que tout docteur met en œuvre est la conduite de projet. La thèse est un projet scientifique nécessitant une forte capacité de gestion, de respect de la planification, d'identification de jalons et de points critiques, ainsi qu'un dialogue permanent avec les personnes impliquées de près comme de loin dans la réussite du projet. Dans l'entreprise, la gestion de projet et le respect des engagements négociés avec les clients sont des fondamentaux qu'il faut maîtriser et mettre en application en permanence. L'aspect transversal est formateur car il implique de travailler avec d'autres doctorants et partenaires qu'il faut entraîner dans le projet vers un objectif commun et partagé de tous. On peut parler de qualité de leadership indispensable dans la conduite de la thèse et que l'on retrouve dans le milieu industriel pour progresser et entraîner les équipes.

La formation par la recherche en plus de l'aspect scientifique est avant tout une aventure humaine qui exige de communiquer, de transmettre des connaissances, de coopérer et d'accompagner le changement. Autant de qualités indispensables dans une grande entreprise où les décisions techniques et financières se prennent en groupe pluridisciplinaire nécessitant de fortes capacités relationnelles.

Un autre challenge de la thèse est de réaliser un projet dans un temps donné. Combien de jalons et délais sont reportés dans l'industrie ? Combien de projets prennent du retard ? La conduite d'une thèse en un temps donné démontre une capacité à respecter un planning malgré le caractère souvent très innovant qui génère des risques de dérives des jalons. La résistance au stress est utile et surtout la capacité à rebondir et à trouver des solutions alternatives pour le respect des engagements.

En conclusion, l'aventure humaine que représente la réalisation d'une thèse est une formation à la fois pratique et théorique développant des compétences d'innovation, de créativité, d'ouverture intellectuelle, de gestion de projet, d'analyse et de synthèse de données indispensable aux futurs talents pour relever les défis d'aujourd'hui et de demain. Les ingénieurs formés par la recherche ne sont pas à opposer aux autres ingénieurs mais au contraire il faut trouver la complémentarité liée aux différentes formations indispensable au travail en équipe permettant le succès d'une entreprise qui se doit d'innover en permanence pour rester à haut niveau. »

### *Expérience personnelle de Jean Louis Teszner (X62) sur la formation par la recherche des jeunes Ingénieurs de l'Armement*

A ma sortie de l'X dans le Corps de l'Armement, j'ai eu l'opportunité de choisir l'option Recherche. C'est ainsi que j'ai pu après deux années d'Ecole d'Application à l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications en 1966 et 1967 , faire en 1968 un DEA de Physique des Solides à l'Université d'Orsay.

Cette formation d'avant-garde avec des professeurs comme Jacques Friedel et Pierre Gilles de Gennes, futur Prix Nobel de Physique, offrait un contraste saisissant avec l'enseignement suranné tel qu'il était pratiqué à l'époque à l'ENST. C'était déjà rétrospectivement le premier apport précieux que m'a donné l'option « Recherche » .

J'ai rejoint ensuite en octobre 1968 le Groupe de Physique des Solides de l'Ecole Normale Supérieure sous la direction du Professeur Julien Bok pour y effectuer mes travaux de recherche appliquée dans le domaine des phénomènes d'instabilité de volume et de surface dans un matériau semi-conducteur alors nouveau et prometteur : l'Arséniure de Gallium.

Ces recherches m'ont amené très rapidement à prendre contact et à travailler avec les deux grands Laboratoires privés qui travaillaient en France sur ce thème : le Laboratoire Central de Recherches de Thomson CSF à Corbeville près d'Orsay et le LEP laboratoire de recherches du groupe Philips à Limeil Brévannes .Je dois dire que ces contacts ont été pour moi plus enrichissants que ceux au sein même du Groupe de l'ENS davantage tourné vers la Physique fondamentale. Il n'est donc pas étonnant que mon Président de mon jury de thèse en février 1973 ait été Pierre Aigrain pour lequel j'avais à la fois respect et amitié.

J'ai eu ensuite, grâce au Directeur de la DRME de l'époque, l'IGA Carpentier (je lui en suis toujours reconnaissant !), la chance de devenir le Chef du Groupe 5 « Semi-conducteurs et composants » chargé de soutenir la recherche en France dans ce domaine d'avant-garde pour assurer la maîtrise de ces technologies pour nos besoins militaires. Autant dire que grâce à la formation que j'avais eue via l'option Recherche, j'étais comme un poisson dans l'eau. Je connaissais les forces et les faiblesses de nos universités, laboratoires d'Etat et privés et je pouvais réellement agir pour s'assurer la maîtrise en France de composants militaires essentiels en évitant tout saupoudrage de moyens financiers, par essence inefficaces et vains.

C'est ainsi notamment que j'ai pu créer en 1978 au sein du LETI à Grenoble un laboratoire entièrement dédié à la recherche appliquée dans le domaine des

technologies de capteurs infrarouge. Cette création n'a pas été faite sans difficulté et il m'a fallu tout le soutien de l'IGA Carpentier pour surmonter les obstacles dressés sur le chemin par Thomson CSF et surtout la SAT ! Dans le droit fil de la logique qui implique que toute activité de R&D doit se concrétiser par une production industrielle pour être réellement porteuse d'avenir, en 1986 à l'initiative du Ministère de la Défense, j'ai pu mettre en œuvre cette démarche en créant SOFRADIR (Société Française de Détecteurs InfraRouge) et développer cette société sur le marché mondial ...mais ceci est une autre histoire !

En résumé, je dirai que l'Option Recherche a été une merveilleuse opportunité pour moi d'appréhender le monde de la Recherche dans le domaine qui m'intéressait, d'en connaître les arcanes, les points forts et les points faibles avant d'avoir, à 32 ans, après l'obtention de mon Doctorat d'Etat la lourde responsabilité de faire faire au mieux cette recherche et développement en France pour assurer la satisfaction de nos propres besoins dans le domaine de la Défense.

*Denis Randet, Ingénieur Général de l'Armement, Docteur ès sciences, ancien élève de l'École Polytechnique (X 1959)*

De 1964 à 1971, Denis Randet est ingénieur à la Direction des Recherches et Moyens d'Essais de la DGA. Il entreprend une thèse de doctorat sous la direction du professeur Néel : un nouveau matériau pour les disques d'enregistrement magnétique.

A partir de 1971, il est affecté au LETI, du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble, où il dirige les laboratoires de recherche sur la technologie des composants électroniques intégrés.

De 1980 à 1985, il est nommé PDG de la société Planétel, « joint venture » entre la Compagnie Générale d'Electricité et le CEA pour fabriquer des écrans plats.

De 1991 à 1999, Denis Randet dirige le Laboratoire d'Électronique et de Technologie de l'Informatique (LETI).

En 1999 – 2000, lancement de CEA Valorisation, société chargée d'investir dans les entreprises à fort potentiel issues des travaux du CEA

Depuis octobre 2000, Denis Randet est Délégué général de l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie. Il est le promoteur de Futuris, plate-forme de concertation prospective sur l'évolution du système français de recherche et d'innovation.

*Observations de Denis Randet sur le texte de Jean-Louis Teszner*

Le texte de Jean-Louis Teszner remet à jour et complète ce que je savais de sa carrière en me rappelant ainsi de bons souvenirs communs. Nos deux débuts de parcours montrent combien le même mot de Doctorat pouvait recouvrir des réalités différentes. J'ai préparé le mien, de 1967 à 1969, au LETI (qui avait pris ce nom en octobre 1967), laboratoire de recherche appliquée, déjà très tourné vers l'industrie. En même temps, je participais au positionnement de l'activité du laboratoire sur les mémoires magnétiques.

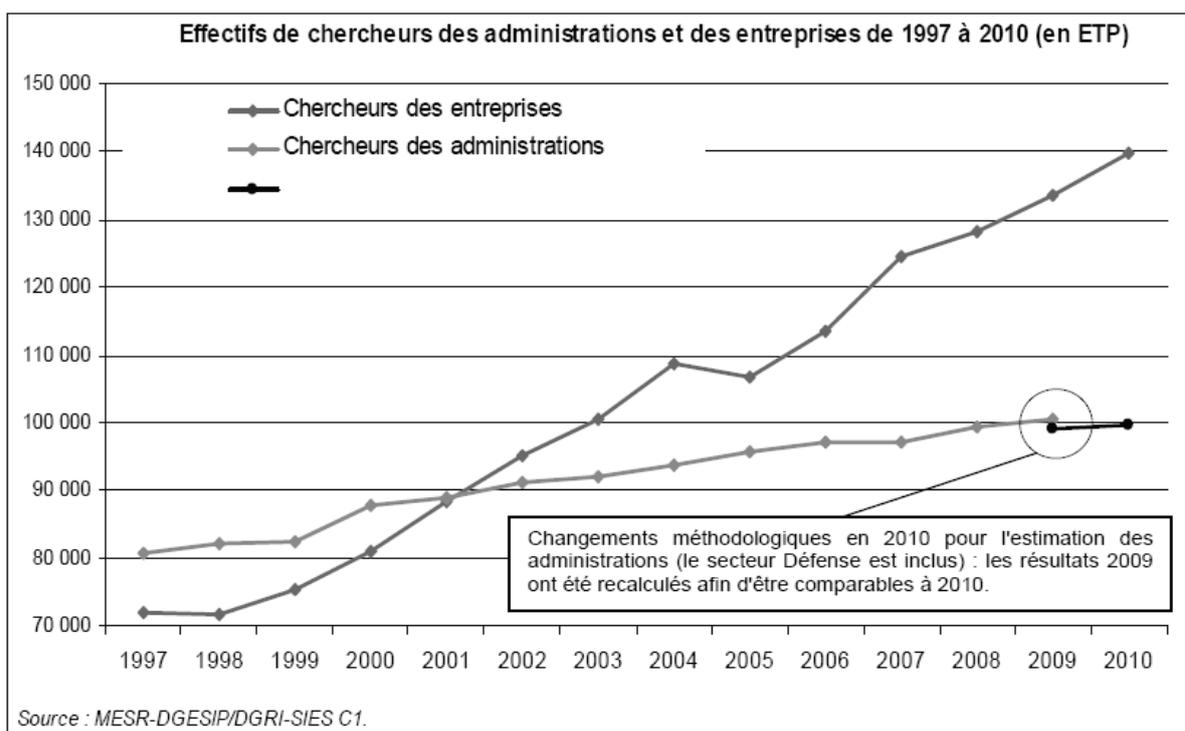
En effet, si Jean Carpentier m'avait envoyé à Grenoble, c'était pour me préparer au métier d'ingénieur chargé de passer des marchés de recherche. Le doctorat était un moyen, mais, en ces débuts de Plan Calcul, il s'agissait aussi, pour la DRME, de savoir quoi encourager ; ses discussions avec le LETI y contribuaient et, bien sûr, j'y participais. J'ai donc été plongé, dès le début, dans l'élaboration de stratégies de recherche.

Le domaine était particulièrement agité, car il y avait dans les équipes américaines (alors le modèle, pour tout le monde) une bonne dizaine de propositions concurrentes pour remplacer les mémoires centrales à tores de ferrites par des mémoires magnétiques intégrées. L'arrivée, en 1969, des mémoires silicium, sous l'impulsion du tout jeune Intel, élimina tout cela brutalement. Il se trouve que ma thèse portait sur un nouveau matériau pour les mémoires à disque qui n'ont pas disparu, mais c'est une autre histoire. Ce que je voulais signaler, en contrepoint du message de Jean-Louis Teszner, c'est qu'il est possible, sans allonger pour autant la préparation de la thèse, de faire autre chose, en même temps. Et que cela peut être souhaitable, la spécialisation d'un doctorat n'étant pas l'ennemi d'une ouverture qui aide à mieux comprendre la portée de son sujet. Le constat n'est pas neuf, mais le débat spécialisation/ ouverture fait toujours partie des réflexions sur le doctorat. L'article ci-dessous, paru dans « La Rouge et la Jaune », plaide pour l'ouverture.

### *Quelles formations et quelles carrières pour les chercheurs en Entreprise ?*

*Marion Guillou-Charpin (X 1973), ancienne Présidente du conseil d'administration de l'Ecole Polytechnique (2008-2013), Denis Randet (X 1959), Association Nationale de la Recherche et de la Technologie (ANRT), et Pierre Bitard, ANRT*

Rappelons d'abord quelques statistiques sur les chercheurs en France. Selon les dernières données connues (Eurostat, 2010), la France est, avec environ 240 000 équivalents temps plein, le premier pays d'Europe pour la proportion de chercheurs dans la population active (8,46‰, contre 8,18‰ au Royaume-Uni, et 7,87‰ en Allemagne). Mais la vraie spécificité française est ailleurs : autour de 58% d'entre eux travaillent dans les entreprises ! C'est une proportion supérieure à celle de l'Allemagne, et très supérieure à celles du Royaume-Uni, de l'Italie, de l'Espagne (plutôt autour de 35%), et c'est le résultat d'une forte augmentation, presque un doublement depuis 1997, alors que le nombre de chercheurs publics n'augmentait dans la même période que de 25 %.



Malgré cette proportion importante de chercheurs en entreprise, leurs métiers, leurs compétences distinctives, leurs carrières, sont moins décrits que ceux de leurs homologues publics. La possibilité même de faire de la recherche en entreprise est souvent méconnue par les étudiants, auxquels leurs professeurs donnent spontanément l'image du chercheur public.

*Dans les entreprises : plus de 'D', moins de 'R', moins de docteurs*

Par rapport aux laboratoires publics, les entreprises font plus de développement et moins de recherche. Elles font rarement la différence, en matière de qualification, entre ingénieurs et chercheurs, la distinction étant effective en revanche entre cadres et non cadres. Elles décrivent comme personnel de recherche et développement tous ceux qui travaillent dans cette activité, techniciens compris.

Parmi les cadres de R&D, que représentent les docteurs ? En proportion, une dizaine de pour cent. En responsabilité, davantage, et cela va croissant avec la mondialisation, et l'extension de la recherche coopérative qui mêle les équipes publiques et privées.

Le plus grand nombre des chercheurs en entreprise sont recrutés avec un diplôme d'ingénieur ou de master universitaire, selon les spécialités. On peut donc se demander en quoi l'enseignement qu'ils ont reçu les a préparés à faire de la recherche.

Un aspect méconnu de la recherche appliquée, telle qu'on la pratique dans les entreprises, est qu'on y est proche de certains problèmes de direction générale : les analyses de l'évolution internationale, le positionnement du portefeuille d'activités, la définition des stratégies et des orientations, la protection et la valorisation des résultats en sont des exemples. Ces questions ne sont pas spécifiques à la recherche, mais on a l'occasion de les aborder plus tôt si on entre dans une équipe de recherche. Aussi pourraient-elles donner lieu à davantage d'enseignement dans les écoles et les universités. Cela révélerait aux étudiants des aspects de l'activité de recherche qu'ils méconnaissent, et qui peuvent être motivants.

Les parcours professionnels des chercheurs sont très différents dans le public et dans le privé. Dans le secteur public, on est le plus souvent recruté comme chercheur pour toute une carrière, ce qui ne veut pas dire que les responsabilités ou les projets n'évoluent pas. Dans les entreprises, la recherche est un passage de quelques années, sauf pour des experts qui, là où la gestion des ressources humaines est codifiée, peuvent être valorisés en tant que tels dans un système à double grille reconnaissant compétence et niveau d'encadrement.

La formation par la recherche qui s'effectue en entreprise pour la majorité des personnes, pour d'autres au moment du doctorat, est-elle bonne pour la suite d'une carrière ? On entend souvent les directeurs de la recherche des grandes entreprises le dire: « Dans ce monde de plus en plus incertain, il faut ne rien tenir pour acquis, s'adapter. Dans l'entreprise, ceux qui passent par la recherche sont particulièrement qualifiés pour cette nouvelle donne ». Une future élite, donc, ou une future partie de l'élite? Là encore, on manque de données. Certaines entreprises font de la recherche un passage privilégié, une « pépinière de talents ». Mais cela ne semble pas être la pratique majoritaire.

Les études « Générations » du Céreq le montrent avec constance : les docteurs recrutés par les entreprises le sont surtout pour faire de la recherche ; c'est d'ailleurs le secteur où ils sont le mieux rémunérés en début de carrière. Pourtant, la perspective classique en entreprise est la mobilité. Comme le passage par la recherche ne donne pas l'assurance de la suite, il faut bien se dire qu'au-delà de l'entrée, c'est le talent personnel qui comptera.

Un docteur, par rapport à un collègue qui se sera arrêté au Master ou au diplôme d'ingénieur, aura de plus passé trois ans sur un projet professionnel personnel, agrémenté s'il le souhaite de formations complémentaires qu'il choisira. Que vaudra ce projet pour sa formation, pour la construction de son expérience ? Tous les sujets de thèse ne se valent pas, non plus que tous les laboratoires où l'on prépare des doctorats, non plus que toutes les aptitudes personnelles. En France, il y a des différences repérées entre les écoles, une sorte d'échelle reconnue par les employeurs. Le doctorat est une expérience à forte connotation individuelle. Il peut améliorer les chances pour la suite, à condition d'être valorisé. Dans ce processus de valorisation, le docteur n'est pas seul en cause, mais sa responsabilité personnelle est grande : appréciation de l'intérêt du sujet, choix du laboratoire puis de la façon de prendre son travail et de le présenter.

La proportion de docteurs est-elle caractéristique du niveau de recherche d'un pays ? Il n'y a pas de différences marquées en Europe, et la France n'y fait pas mauvaise figure. On peut noter que c'est le seul pays développé où le nombre de docteurs en « sciences dures » et ingénierie (aujourd'hui largement préféré par les entreprises) l'emporte sur celui des docteurs en sciences humaines et sociales.

On ne peut éviter de parler de docteurs en entreprise sans revenir encore une fois sur le fait que les docteurs ont actuellement plus de difficultés à trouver un emploi que ceux qui postulent directement au niveau bac+5. Ce n'est pas une spécificité française. Les données sont imprécises, mais la différence est sensible. Les causes en ont déjà été citées : la plus grande difficulté à qualifier un travail individuel qu'un cycle scolaire collectif ; les abus, heureusement en voie de disparition, qui ont marqué aussi bien la qualité de l'encadrement que le sort matériel fait au doctorant ; et, en France, la coexistence avec des écoles qui ont fourni la plupart des cadres actuels des entreprises.

### *Docteur, quoi de neuf ?*

Mais les choses bougent. Ainsi, le dispositif des conventions industrielles de formation par la recherche (CIFRE), qui existe depuis 1981, et dont le ministère de la recherche a confié la gestion à l'ANRT, se caractérise entre autres bénéfiques par une « restauration de l'employabilité » des docteurs. Les raisons sont faciles à analyser, elles confirment des pistes de progrès valables pour tous les doctorants. Le sujet de thèse est soumis à une expertise extérieure au laboratoire ; le doctorant est sélectionné dans les mêmes conditions que pour une embauche future ; le travail est solidement encadré ; le doctorant est considéré comme un professionnel et convenablement rémunéré. Il y a deux éléments qui sont particuliers aux CIFRE : le fait que le doctorant est employé par une entreprise qui peut ainsi le tester pendant trois ans ; l'exigence de suivi, qui conditionne le versement trimestriel par l'ANRT à l'entreprise de la subvention accordée par l'État.

Par ailleurs, plusieurs écoles d'ingénieurs faisant le constat de l'internationalisation des carrières et de la cotation des formations encouragent désormais leurs étudiants à poursuivre leurs formations par un doctorat. Cela a le double effet d'une meilleure lisibilité internationale du niveau obtenu par l'étudiant et des performances scientifiques de l'établissement.

C'est le cas de l'Ecole Polytechnique comme de plusieurs autres écoles de ParisTech. Présentons, en quelques mots, les évolutions importantes que l'X a connues depuis les années 90. Sous l'impulsion de Bernard Esambert, Pierre Faure et Yannick d'Escatha, l'Ecole s'est voulue puis s'est organisée dans une perspective internationale. Ainsi la réforme X 2000 a permis à la fois de conduire les élèves polytechniciens à être employés très majoritairement dès la sortie de l'Ecole avec une

scolarité modifiée et allongée d'une année, et de développer à l'X des formations de masters et de doctorats très ouvertes à l'international. Ainsi, l'Ecole rejoignait-elle le club des établissements mondiaux formant jusqu'au doctorat (PhD aux Etats-Unis). Les réformes suivantes que nous avons décidées et qui figurent dans le contrat avec l'Etat créent plusieurs voies avec l'aide d'établissements partenaires membres ou non de l'Université Paris-Saclay (Mines, Ponts, Agro, HEC, ISAE,...). Il s'agit du management de grands projets, de l'innovation et de la création d'entreprises ou de l'approfondissement d'un domaine scientifique ou technologique.

Pour nos élèves et étudiants, cela se traduit d'ores et déjà concrètement par deux évolutions marquantes : un encouragement pour les élèves polytechniciens qui le souhaitent à poursuivre un travail de recherche dans un parcours doctoral ; le développement de formations doctorales à l'Ecole en liaison avec les laboratoires qui y sont implantés avec l'appui du CNRS, de l'INRIA, de l'ONERA, de Total, de Thalès...dans le cadre de l'Université de Paris-Saclay. Les chiffres montrent la rapidité des mouvements suscités ; pour les X sortis en 2012 28% sont engagés dans un travail de recherche avec un contrat de doctorant, 48,5% étant par ailleurs embauchés directement en entreprise. Quant aux formations doctorales dispensées à l'Ecole, elles comportent des originalités fortes. Les « doctorales » incluent une semaine de prise de connaissance de l'entreprise et de l'innovation, avec un concours de création d'entreprise ; des modules sont par ailleurs proposés sur quatre semaines à temps plein en collaboration avec ParisTech sur le management. Ainsi, l'Ecole Polytechnique entend former des docteurs aptes à travailler en entreprise ou avec l'entreprise, en France et à l'international. D'autres écoles d'ingénieurs font de même, et cela contribue pratiquement à donner de l'enseignement supérieur français une image à la fois plus unifiée et plus riche en possibilités.

*Témoignage de Pierre Schanne (X 83), ingénieur général de l'armement, docteur en sciences physiques, directeur de la MIP*

### *Parcours*

Intéressé par la recherche et les enjeux de défense, je me dirige assez naturellement vers l'option recherche du corps de l'armement à sortie de Polytechnique en 1986. Le corps offre alors la possibilité de formations par la recherche en imposant peu de contrainte sur les thématiques de recherche et les laboratoires d'accueil. Après un DEA en physique atomique et moléculaire à l'Université d'Orsay, j'effectue ma thèse au Laboratoire d'Optique Quantique, unité mixte du CNRS et de l'Ecole Polytechnique, sous la direction du professeur Flytzanis.

Côté théorie, la compréhension de la dynamique des états vibrationnels de cristaux moléculaires. Côté pratique, trois années passionnantes à construire différents types de lasers pour des expériences d'optique non-linéaire. Je rejoins ensuite l'Université de Marburg en Allemagne pour travailler sur la physique des lasers à semi-conducteurs. Ce post-doc me permet de mettre en place en 1991, à l'Etablissement Technique Central de l'Armement de la DGA, une activité de recherche sur les applications militaires des lasers à semi-conducteurs, sous la direction de Christian Bréant.

En 1995, je rejoins le groupe Optronique, dirigé par Yves Demay, à la Direction des Recherches, Etudes et Techniques. Peu de temps après, la DGA arrête ses activités de recherche en propre, à quelques exceptions près, et la DRET disparaît. Cette période riche en réformes voit la mise en place du fonctionnement matriciel, des métiers, des politiques techniques, du plan prospectif à 30 ans, des études amont... En dirigeant le domaine optronique entre 1997 et 2001, je prends goût à la coopération internationale, à la prospective technologique et à la stratégie, activités qui dès lors ne me quitteront plus.

Je quitte définitivement le domaine des lasers et de l'optique en 2001 pour rejoindre le Centre d'Analyse de Défense en tant que directeur technique. De mes années au CAD, je retiens tout particulièrement les réflexions sur les « battlelabs », qui contribuent à mettre en place à Arcueil le « Laboratoire Technico-Opérationnel », formidable outil pour évaluer des nouveaux concepts avec les armées.

L'année 2005 marque le début d'une autre aventure : la création avec Pierre Guillon de la Mission pour la Recherche et l'Innovation Scientifique, chargée de développer l'action de la DGA dans la recherche de base et de renouer des liens avec la communauté scientifique. Après une année au Centre des Hautes Etudes Militaires, je rejoins en 2008 le Service d'Architecture des Systèmes de Forces pour m'y occuper de prospective et de préparation des programmes d'armement, en relation avec l'Etat-Major des Armées.

Depuis octobre 2013, je dirige la Mission pour le développement de l'innovation participative, dont le rôle est d'encourager et de soutenir les projets innovants proposés par des personnels du ministère de la Défense et de la gendarmerie.

### *Apport de la formation par la recherche*

Plus qu'une formation, les années de thèses constituent une première expérience professionnelle. Le doctorant doit se hisser au plus haut niveau pour faire aboutir un projet original et pointu. Il doit pour cela faire preuve d'imagination, de ténacité, d'autonomie et savoir prendre des risques. Car contrairement aux bancs de l'école, le problème posé ici n'a pas de corrigé et le résultat espéré n'est jamais acquis. La démarche au long d'une thèse a ceci de formidable qu'elle permet en quelques années de rejoindre un club de quelques experts mondiaux maîtrisant un sujet scientifique particulier.

C'est une expérience profitable pour quiconque veut ensuite développer une expertise de haut niveau dans son organisme. Plus généralement, la formation par la recherche offre un apprentissage « sur le terrain » de mécanismes utiles à tout métier : organiser la veille, construire des coopérations, gérer son temps, planifier ses travaux, se préserver des phases de réflexion créative, avoir un plan de communication... Contrairement à ce qu'on pourrait croire, démarrer dans la recherche fondamentale n'est pas un frein à l'évolution vers d'autres métiers : nombre de mes collègues de l'époque ont quitté le laboratoire et occupent maintenant des postes techniques ou managériaux dans l'industrie.

Au-delà des méthodes de travail, la formation par la recherche m'a personnellement apporté un profond respect pour le métier de chercheur, métier difficile, exigeant et pourtant peu reconnu. Elle m'a ouvert les yeux sur le rôle du chercheur dans notre société. Le chercheur n'est d'ailleurs pas seulement un chercheur, mais un transmetteur de connaissances vers tous les acteurs de notre société. A ce titre la DGA doit savoir capter la connaissance utile à la Défense.

Avoir pratiqué « de l'intérieur » le monde de la recherche est une aide inestimable pour travailler avec des chercheurs quand on est en poste à la DGA. Dans une économie de la connaissance mondialisée, où le champ des ruptures technologiques potentielles est foisonnant, la DGA a tout intérêt à entretenir un vivier d'ingénieurs formés par la recherche et connectés aux réseaux scientifiques. La problématique est la même pour un industriel qui veut ouvrir sa recherche et son innovation à des partenaires académiques.

A ceci près que la DGA est davantage perçue par les chercheurs comme un financeur qu'un partenaire. La formation par la recherche de nos ingénieurs est de nature à

modérer cette perception, en apportant crédibilité scientifique, respect mutuel et confiance.

***Expérience de Philippe Bensussan (IGA 2<sup>ème</sup> section, Docteur es Sciences, Président de SOFRADIR)***

***Formation :***

- Ecole Polytechnique (Palaiseau, 1976 - 1979 (promotion X 1976)) ;
- DEA de Physique des Solides (Université Paris XI – Orsay, 1980) ;
- Ph.D. en “Materials Science and Engineering ” (MIT, 1984) ;
- Docteur d’Etat es Sciences Physiques (Université Paris XI – Orsay, 1986) ;
- STEGE Gestion – Direction (Ecole Supérieure de Commerce de Paris, 1993) ;
- Centre des Hautes Etudes de l’Armement (CHEAr, 1995 - 1996) ;
- Executive MBA – CPA (HEC, 2003 – 2004).

***Parcours professionnel :***

- 1986 – 1990 : Directeur d’un laboratoire de recherche sur le comportement mécanique des matériaux (direction générale de l’armement DGA) ;
- 1991 – 1994 : Chef de cabinet du directeur des armements terrestres (DGA) ;
- 1994 – 1998 : Directeur des programmes de satellites militaires d’observation Hélios I et II (DGA).

***Actuellement :***

- Président directeur général de Sofradir (Société française de détecteurs infrarouge, 50 % Sagem - 50 % Thales) ;
- Président d’ULIS (85 % Sofradir – 15 % GE Equity), depuis sa création en 2002 ;
- Président de Sofradir EC, Inc (USA, 100 % Sofradir), depuis 2008 ;
- Président du conseil d’administration de l’ENSTA-Bretagne, depuis 2008.

***Activités d’enseignement :***

1984 – 1998 : Professeur à l’Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées ;

1987 – 1999 : Professeur Associé à l’Ecole Polytechnique.

***Distinctions :***

- Chevalier de la Légion d’Honneur (1998), Chevalier dans l’Ordre National du Mérite (1993), Lauréat du prix de mécanique “Georges Mandel” (1990).

***Témoignage de Philippe Bensussan sur la Formation par la Recherche***

En quoi une formation par la recherche peut-elle être utile ou handicapante pour un ingénieur de l’armement et plus généralement un cadre de direction, en poste à la DGA, dans l’administration ou dans l’industrie ?

***1 - Constat***

La recherche et l’entreprise sont, en France, deux mondes qui s’ignorent encore trop souvent. C’est sans doute moins vrai aujourd’hui que cela ne l’a été, avec la prise de conscience, en France, que la mondialisation impose à l’industrie française comme européenne de s’appuyer sur l’innovation, comme avantage compétitif pour se maintenir, se développer, continuer à offrir des emplois et créer de la valeur, face à la concurrence des pays émergents. Les chercheurs devraient être en première ligne dans cette course à l’innovation. Pourtant, force est de constater que :

- les carrières de chercheurs et même les thèses de doctorat ne sont valorisées que par très peu d'entreprises, à l'embauche ou en cours de carrière, quand les anciens chercheurs ne font pas tout simplement peur et sont systématiquement écartés des postes ouverts à l'embauche ou de responsabilités lors de promotions internes ;
- abstraction faite des start-up technologiques, peu d'entreprises sont dirigées par d'anciens chercheurs (formés à la recherche) ou des docteurs-es-sciences (formés par la recherche). Il en est de même dans les CODIR ou les Conseils d'Administration. Alors que je suis en France parmi les trop rares PDG de PME, ETI ou grande entreprise ayant eu une formation par la recherche, ayant le titre de docteur et ayant dirigé des équipes de recherche, rares sont mes collègues étrangers y compris européens qui ne sont pas docteurs, dès qu'il s'agit d'entreprises technologiques. D'ailleurs, ma carte de visite ne fait pas référence à mon titre de docteur du côté français, alors que mon titre de « PhD » est accolé à mon nom sur la face en anglais ;
- en France, n'arrivons-nous pas à ce paradoxe qui veut que des organismes de recherche ou technologiques comme l'ONERA ou le CNES, contrairement par exemple au DLR en Allemagne, ne soient pas présidés par des personnes ayant une expérience, voire une partie de leur carrière en recherche ? Quelle légitimité ont les dirigeants de ces organismes face à leurs équipes en interne, face à leurs équivalents à l'étranger ? Quel impact peuvent-ils avoir sur les stratégies technologiques et scientifiques des organismes qu'ils dirigent ? Quelle capacité ont-ils de challenger leurs experts pour se forger leur propre opinion ? Qu'ils aient eu une expérience de recherche ou une thèse en poche n'est pas la réponse unique à ces questions, mais cela ne peut qu'aider. A Sofradir, je suis personnellement impliqué dans le processus d'innovation, comme l'était Jean-Louis Teszner à qui j'ai succédé. Est-ce un handicap pour Sofradir, cela m'empêche-t-il d'avoir poursuivi l'œuvre de Jean-Louis et d'avoir présidé au succès industriel de Sofradir et ses filiales avec un prévisionnel de 200 M€ de CA consolidé en 2014, aujourd'hui leader mondial, contribuant significativement à l'effort national de R&D dans son domaine, continuant à valoriser des résultats de la recherche publique notamment au CEA/Leti ? Bien sûr que non, au contraire même !

Deux mondes qui s'ignorent finissent par se faire peur. Il est indispensable de rompre ce cercle pernicieux et de rapprocher les mondes de la recherche et de l'entreprise, comme aux USA, en Grande-Bretagne, en Allemagne et demain en Chine. Comment mieux y arriver qu'en organisant des passerelles à double sens entre ces mondes ? Qui mieux que des ingénieurs formés par et à la recherche peuvent y contribuer ?

## *2 - Apports d'une formation par ou à la recherche*

Les apports d'une formation par ou à la recherche sont multiples. La recherche n'est pas seule à développer les qualités listées ci-dessous, mais elle y arrive à coup sûr :

- une thèse est un projet à piloter dans un contexte concurrentiel, en mode projet en activant un réseau de contributeurs et d'experts. Il s'agit donc d'une excellente formation à la conduite de projet dans un environnement difficile ;
- la recherche développe l'innovation, la créativité, la prise de risque et la gestion du risque, car les hypothèses sur lesquelles est fondé le travail de recherche ne peuvent pas toutes être issues d'une démarche cartésienne et exhaustive. Elle développe aussi la capacité de remise en cause, par exemple si une hypothèse apparaît in fine erronée. Cette prise de risque n'a de vertu que si elle est associée à un droit à l'erreur, droit qui est proscrit dans notre enseignement dès le plus

jeune âge, contrairement au monde anglo-saxon qui valorise l'expérience tirée des échecs. Combien d'erreurs de management, de mauvaises stratégies etc. seraient évitées si les responsables d'entreprises comme d'administrations se voyaient reconnu ce droit à l'erreur et étaient mis en position de l'avouer avant qu'il soit trop tard ? Combien d'innovations en rupture ont été laissées à d'autres que des Français qui en avaient pourtant eu l'idée à l'origine mais qui se trouvaient dans l'incapacité de prendre le risque afférent ? Pour paraphraser la maxime de Beaumarchais : il n'est d'innovation décisive sans liberté de se tromper ! Et l'innovation n'est pas que technique ou scientifique ...

- faire de la recherche en début de carrière permet d'asseoir et de valoriser le bagage scientifique acquis pendant ses études, d'une qualité et d'un niveau incomparable dans le système des grandes écoles françaises. Une fois ancré, ce bagage reste et peut resservir à l'occasion, par exemple dans mon cas lorsque j'ai rejoint Sofradir après avoir tenu des postes aussi divers que ceux de chef de cabinet du directeur des armements terrestres ou de directeur des programmes Hélios ;
- faire une thèse, c'est avoir, une fois dans sa vie, le bonheur de se donner à fond sur un sujet, un seul projet, situation unique dans une carrière. Pourquoi s'en priver ?
- être chercheur, loin de la caricature généralement admise de l'être isolé au fond de son laboratoire, c'est être ouvert sur le monde. La recherche est aujourd'hui affaire d'équipes internationales et de compétition à l'échelle planétaire ;
- avoir été chercheur et avoir eu une formation à ou par la recherche apportent une légitimité vis-à-vis des équipes de R&T, R&D et de production dans une industrie de haute technologie. Cette légitimité d'image, a priori, est confirmée par la capacité à challenger des experts y compris en dehors de sa spécialité : l'expérience de la recherche montre que l'on devient très pointu dans un domaine, tout en développant de véritables capacités à identifier les mauvaises hypothèses ou analyses et à proposer des voies nouvelles dans d'autres domaines où l'on a moins de bagage scientifique mais la capacité à prendre de la hauteur. Au-delà de la sensibilité à l'innovation technique, cette capacité à participer à l'orientation la R&T et la R&D, voire à leur exécution au sein d'une entreprise de haute technologie comme Sofradir, est loin d'être un handicap, bien au contraire.

La recherche ne peut pas se concevoir sans son complémentaire qu'est l'enseignement. Au fond, c'est le triptyque enseignement – recherche – industrie qui compte, ce que les écoles d'ingénieur ont dorénavant bien compris. Il s'agit pour elles d'attirer les talents comme enseignants en leur offrant des moyens de recherche, pour les enseignants de s'appuyer sur les laboratoires dans leurs enseignements, pour les écoles de s'assurer de répondre aux besoins de l'industrie et de l'administration en s'assurant au travers de contrats de recherche de l'adéquation de leur activité avec les débouchés de leurs élèves.

C'est bien en rapprochant ces trois mondes que l'on peut redonner à l'industrie de notre pays la dynamique qui lui manque cruellement aujourd'hui. Des ingénieurs ayant eu un pied à un moment ou à un autre dans deux, voire mieux trois, de ces mondes, comme cela a été mon cas, sont à même de faciliter les passerelles entre eux.

### *3 - Conclusion*

Une formation par la recherche, la création d'une équipe de recherche, puis la direction d'un laboratoire, avec, en parallèle, une activité d'enseignement soutenue à l'X, à l'ENSTA ParisTech, à Orsay, au CNAM etc. 1) ne m'ont pas enfermé dans le monde de la recherche, 2) n'ont jamais été un handicap pour prendre des postes à

l'opposé de la recherche, comme celui de chef de cabinet d'un directeur de la DGA, 3) m'apportent un avantage considérable comme PDG de Sofradir.

En matière de recherche et de formation par la recherche, il est facile de tomber dans la caricature, il est plus difficile de s'en remettre si l'on baisse la garde !

### *Expérience personnelle d'Henri-Jean Drouhin (X76)*

Bien avant de choisir la voie des « prépas », j'étais fermement décidé à entreprendre une carrière de chercheur. A la fin de ma scolarité à l'X, en 1979, la DGA ouvrait un recrutement nouveau, « l'Option Recherche », qui offrait quatre places. Cette politique était pilotée par une « Mission Recherche », rattachée au Ministre de la Défense, dont la direction avait été confiée à Jacques Ducuing. Le message était clair : « la DGA a besoin de chercheurs » ; la liberté de formation était totale, la seule exigence étant celle d'excellence au niveau international.

Je me suis engagé résolument dans cette voie, suivant d'abord les cours exceptionnels du DEA de Physique des Solides de l'Université Paris Sud, dont ceux de Jacques Friedel qui présidera mes deux jurys de thèses. La physique des solides m'attirait tout particulièrement par ses applications en plein essor et par la possibilité de réaliser des expériences « à l'échelle humaine », dans lesquelles le physicien pouvait maîtriser à la fois théorie et expérience. Je fis à ce moment la rencontre de Pierre Lallemand, éminent physicien et directeur scientifique de la DRET, qui jouera un rôle déterminant dans ma carrière.

En discussion avec lui et grâce à ses conseils, je décidai d'effectuer ma thèse au Laboratoire de Physique de la Matière Condensée de l'Ecole Polytechnique, sur la photoémission polarisée en spin de l'arséniure de gallium. Ce sujet était connecté au développement des photomultiplicateurs, tubes « intensificateurs de lumière » qui étaient à la base des systèmes de vision nocturne les plus performants, tout en restant très orienté vers la physique fondamentale. Un certain nombre de mes collègues de la DGA se montraient d'ailleurs ouvertement dubitatifs quant à l'intérêt de telles recherches pour la défense.

Depuis la découverte, en 1988, de la magnétorésistance géante par Albert Fert et Peter Grünberg (Nobel 2007), les composants utilisant le spin électronique comme vecteur d'information sont véritablement à la base d'une révolution dans le domaine des technologies numériques et ont donné naissance à une nouvelle discipline, l'électronique de spin ou « spintronique »...

Mes travaux de recherche débutèrent donc par la construction d'un spectromètre permettant d'effectuer l'analyse en énergie des photoélectrons avec une très haute résolution puis d'en mesurer la polarisation de spin. Il s'agissait d'un développement instrumental complexe mettant pleinement à profit une formation d'ingénieur, et qui m'a d'ailleurs conduit à soutenir une thèse de doctorat d'ingénieur en 1981.

L'exploitation de cet instrument m'a ensuite permis de réaliser des « premières » et de soutenir mon doctorat d'état dès 1984, dans une durée exceptionnellement courte. J'ai poursuivi ces activités durant une quinzaine d'années, avec le soutien de la DRET, étudiant la photoémission assistée par champ électrique qui étend le domaine d'application vers l'infrarouge, ce qui a requis d'autres développements instrumentaux en particulier pour le dépôt sous ultravide de couches métalliques minces, puis exploitant les photocathodes d'arséniure de gallium en tant que sources d'électrons polarisés permettant de sonder des structures magnétiques ultra-minces. J'ai ainsi mis en évidence des effets de « filtres à spin » spectaculaires, une couche magnétique mince étant, pour le spin électronique, analogue à un polariseur linéaire pour la

lumière. En parallèle, j'ai sans cesse effectué un travail de modélisation et conduit des développements théoriques.

Depuis 2005, j'effectue mes recherches au Laboratoire des Solides Irradiés (Ecole Polytechnique, CNRS et CEA) où j'anime le groupe de « Physique et Chimie des Nano objets », qui est partenaire du Laboratoire d'Excellence (Labex) « NanoSaclay ». Ce groupe d'une quinzaine de chercheurs conduit des développements en microscopie électronique dans le cadre du Centre Interdisciplinaire de Microscopie Electronique de l'Ecole Polytechnique, s'est spécialisé dans l'utilisation des irradiations comme outils pour réaliser des nanomatériaux, et effectue des travaux expérimentaux et théoriques dans le domaine du transport de charges, de spin et de chaleur dans des nanostructures, ce qui est un sujet au cœur de l'actualité scientifique (voir par exemple le programme prioritaire de recherche allemand « *Spin Caloric Transport* »).

Nos travaux s'effectuent naturellement dans un cadre collaboratif à la fois au niveau du campus de Saclay et au niveau international. J'organise d'ailleurs chaque année une conférence internationale qui est devenue une référence dans mon domaine (Spintronics, SPIE Optics+Photonics Conference).

Au cours des années, j'ai parallèlement occupé divers postes de responsabilité. Chargé de mission dans le groupe « Semi-conducteurs et Composants » de la DRET de 1985 à 1995, j'ai pu analyser et intégrer les problématiques industrielles et de défense. Directeur des Etudes de l'Ecole Polytechnique de 2000 à 2008, j'ai eu la chance de participer à la mise en place du cursus dit « X 2000 », créé sous l'impulsion de Pierre Faure.

J'ai été adjoint au directeur de la recherche de 2008 à 2014, période particulièrement riche puisqu'elle a vu la création des laboratoires d'excellence et l'émergence de l'Université Paris Saclay. Aujourd'hui vice-président du département de physique et conseiller scientifique à la direction de l'enseignement et de la recherche, j'accompagne le développement des laboratoires, qui jouent un rôle de plus en plus important dans l'offre de formation et l'attractivité internationale de l'Ecole et je poursuis le développement de programmes structurants.

J'ai toujours été passionné par l'enseignement qui enrichit et prolonge naturellement une activité de recherche. J'ai été maître de conférences puis professeur à l'ENSTA de 1986 à 1991, Maître de conférences puis professeur associé à l'Ecole Polytechnique (à partir de 1991). A l'Ecole Polytechnique, j'ai en particulier développé, avec mes amis Michel Voos et Emmanuel Rosencher, un cours de physique dans le domaine des semi-conducteurs et des composants, ainsi qu'une formation d'électronique de spin et participé à la construction d'un programme interdisciplinaire dans le domaine de l'« *Electrical Engineering* », programme qui devrait se développer fortement dans les prochaines années. Une grande satisfaction pour moi est d'avoir contribué à la formation de nombreuses générations de physiciens et d'ingénieurs de très grand talent.

Avec les années, ma passion pour la recherche n'a jamais faibli. L'excellence scientifique et technique au niveau international est une condition indispensable à la compétitivité économique et au rayonnement de la France. L'Option Recherche a été pour moi une formidable opportunité. Je reste persuadé que les grands Corps techniques de l'Etat, et en particulier le Corps de l'Armement, qui attirent un nombre significatif de nos meilleurs élèves, ont la responsabilité d'orienter un certain nombre d'entre eux vers des formations par la recherche, le doctorat constituant évidemment la référence internationale, et aussi de reconnaître et de valoriser des carrières internationales de recherche.

## 7.7. La Mission pour le développement de l'Innovation participative (MIP)

### 7.7.1. Historique

Dans un article paru dans la Revue l'Armement n° 51 de mars 1996, numéro consacré aux révolutions technico-militaires, le vice-amiral Le Pichon retrace l'histoire de la conception de la MIP qu'il relie à celle de l'aviation embarquée. En voici les principaux extraits :

*L'aviation embarquée prit naissance aux Etats-Unis, avec le décollage, le 14 novembre 1910, du pilote américain Ely, à partir de la plage avant aménagée du Birmingham et de son atterrissage, le 18 janvier 1911, sur le cuirassé Pennsylvania.*

*En France, La Foudre est aménagée, en 1912, en transport d'hydravions. Le 20 mars 1912, un décret du président de la République française crée le Service de l'aviation maritime. Mais les marins français étaient partagés entre le dirigeable, l'hydravion et l'avion. Pour eux, cependant, l'hydravion devait s'imposer, car, étant un compromis entre le navire et l'avion, il pouvait flotter. En 1917, le navire britannique Furious devient le premier porte-avions (d'une capacité de 6 avions et de 4 hydravions). L'entre-deux guerres voit la mise en service de nombreux porte-avions et, en 1939, les Etats-Unis disposent de 10 porte-avions, le Royaume-Uni en a 7 et le Japon 6. Mais la France ne dispose que du seul Béarn, cuirassé transformé en porte-avions.*

*Le 11 novembre 1940, la bataille de Tarente sonne le glas des cuirassés et des gros canons de marine : les 21 avions torpilleurs Swordfish du porte-avions britannique Illustrious attaquent, de nuit, l'escadre italienne retranchée dans le port de Tarente et détruisent ou endommagent gravement trois cuirassés, un croiseur et deux destroyers italiens. Cette victoire navale majeure est due à l'audace et à l'imagination des 42 pilotes et navigateurs qui avaient apporté des modifications à leurs torpilles pour leur permettre de réduire leur profondeur d'immersion, compte-tenu du fond marin dans le port de Tarente. Cependant ce haut fait d'armes fut davantage pris en considération par les Japonais que par les Britanniques et les Américains.*

*Ceux-ci seront pris au dépourvu par l'attaque surprise de Pearl Harbor, le 7 décembre 1941, par 400 avions japonais embarqués sur 6 porte-avions. Le développement progressif du système d'armes porte-avions mit fin à la suprématie des gros navires cuirassés. Des officiers inventifs, de grades modestes, proposèrent l'installation du pont oblique et de la catapulte à vapeur qui permirent le décollage d'avions lourds et rapides. C'est un lieutenant de vaisseau qui imagina le miroir d'appontage et le Ski-Jump est fruit des réflexions d'un capitaine de corvette britannique. Ainsi des propositions d'officiers de rang modeste, n'ayant aucune responsabilité dans la chaîne de décision, purent transformer des programmes militaires majeurs, notamment en Grande-Bretagne. Le développement de l'aviation embarquée est largement le fruit du courage, de l'imagination et de l'initiative d'hommes passionnés. Ils ont su faire prévaloir leurs convictions et créer une arme qui a révolutionné la guerre. Il convient que cette leçon ne soit pas perdue. André Giraud et ses successeurs, en créant et en soutenant la Mission pour le développement de l'innovation participative, ont pris acte de ce qu'il y avait, dans les unités, de fortes capacités de proposition pour améliorer des matériels existants ou pour en concevoir d'autres.*

*Complément indispensable de l'innovation institutionnelle, l'innovation participative doit être écoutée, encouragée, exploitée. Les développements de l'aviation embarquée en apportent une éblouissante démonstration.*

Engagé avec le Groupe aéronaval français dans le Golfe persique pendant la guerre Iran-Irak, l'amiral Le Pichon dût faire face à un conflit qui s'allongea dans le temps. Pour améliorer le fonctionnement du Groupe, l'amiral Le Pichon, convaincu de l'intérêt de l'innovation participative pour l'aéronautique navale (voir ci-dessous), lança un concours d'idées. Ainsi mis à contribution, l'ensemble de l'équipage, du simple matelot à l'officier de haut rang, pût apporter des solutions à des problèmes opérationnels qui surgissaient lors du conflit en cours.

De retour à Paris, l'amiral Le Pichon fit part de cette expérience au ministre de la Défense, André Giraud qui, enthousiasmé, décida d'instituer cette démarche. Ainsi naquit l'« Innovation participative » au sein du ministère de la Défense. L'amiral Le

Pichon fut nommé, en 1988, chargé de mission auprès du Ministre pour l'instaurer officiellement. En 1995, la « Mission Innovation participative » fut créée et l'amiral Le Pichon en fut nommé directeur. Depuis la décision de 1988, le chargé de mission, puis la MIP, ont reçu plus de 1 600 innovateurs et ont soutenu plus de 1 300 projets.

Parmi ces projets, plus de 600 ont abouti à la réalisation d'un démonstrateur ou d'un prototype. Plusieurs innovateurs ont été récompensés par des prix prestigieux comme le « Prix de l'Audace » décerné par la fondation Maréchal Leclerc de Hauteclocque, en hommage aux anciens de la Deuxième Division Blindée qui avaient, eux-mêmes, contribué par des innovations à améliorer leurs matériels lors des opérations en Afrique et en France.

Les innovations soutenues par la MIP ont contribué à sauver des vies humaines, à accroître la capacité opérationnelle des forces, à améliorer la qualité des services, à sécuriser l'environnement de travail et à réaliser des économies en termes de coût et de consommation d'énergie. Ce qui surprend peut-être le plus dans cette démarche, c'est sa simplicité, sa souplesse et la modestie de l'investissement au regard de l'efficacité des solutions.

Un recueil, édité à l'occasion des vingt-cinq ans de la MIP, donne un aperçu de la diversité des innovations issues des personnels de l'armée de Terre, de la Marine nationale, de l'armée de l'Air, ainsi que du Service de Santé des Armées, de la Gendarmerie et de la DGA. Une cérémonie officielle fut organisée le 28 mai 2014, à l'Ecole militaire pour présenter 40 innovations, échanger les points de vue pour susciter encore davantage la créativité au sein de la Défense et pour encore mieux tirer profit des innovations du terrain. Cette manifestation, organisée par la MIP, a été honorée de la présence du ministre de la Défense, Jean-Yves Le Drian, qui a présidé à la remise du Prix de l'Audace aux lauréats.

### 7.7.2. La MIP recueille, soutient et valorise les idées d'aujourd'hui et de demain

Quel point commun entre un gilet pare-balles, une tente de sauvetage en montagne, un système de navigation chirurgical assisté par ordinateur et un système d'alerte prévenant l'arrivée de tempêtes solaires ? Toutes ces innovations, utilisées aujourd'hui par les armées et la gendarmerie, ont été imaginées par des hommes et des femmes du terrain. Ces idées souvent simples, peu coûteuses et toujours efficaces résultent d'expériences vécues en mission et de la volonté du personnel d'améliorer une situation ou de résoudre un problème.

La MIP apporte un soutien aux innovateurs du ministère de la Défense et de la gendarmerie, sans distinction de grade ni de statut. Un projet peut être financé à hauteur de plusieurs dizaines de milliers d'euros. Avec le soutien de son réseau, l'équipe de la mission dispose de compétences techniques, opérationnelles et administratives pour conseiller ou orienter l'innovateur.

#### *Exemples d'appareils et de dispositifs innovants soutenus par la MIP*

##### *Plasma Lyophilisé PLYO*

*Réalisé par le Médecin chef des services Anne Sailliol et la pharmacienne en chef Virginie Gachet, du centre de transfusion sanguine des armées, le PLYO est un nouveau type de plasma sanguin cryodesséché, qui se conserve à température ambiante pendant 2 ans et se reconstitue en moins de 6 minutes. Universel quant au groupe sanguin, il est idéal pour le traitement des blessés graves.*

## SCARABEE



### *Système de communication à bord de Mirage 2000*

*Réalisé par le commandant Cédric Gaudillière et le capitaine Benoît Godon, du Centre d'expériences aériennes militaires de Mont-de-Marsan, SCARABEE est un système de communication embarqué permet l'échange des données tactiques entre des combattants à terre et l'équipage d'un avion d'armes.*

### *Embarcation radiocommandée pour la détection radiologique et chimique*



*Réalisé par le premier maître Luc Brohan et par le capitaine de corvette Didier Nyffenegger des marins pompiers de Brest, le D2RC est une embarcation radiocommandée qui transmet à son bâtiment porteur une centaine de données concernant les émanations d'objets flottants, pour les risques toxiques, d'incendie, d'explosion ou de pollution.*

### *Balon-sonde météo pour transmission au-dessus de la canopée*



*Réalisé par l'adjudant Jean Pelote et le caporal-chef Guennadi Guermanovitch, du 3<sup>ème</sup> régiment étranger d'infanterie à Kourou, ce dispositif déploie une antenne radio au-dessus de la canopée.*

## *Une démarche simple, rapide, ouverte à tous les auteurs de projets*

- 1 - Présentation du projet à la MIP.
- 2 - Accord du chef d'état-major ou du directeur central et (si avis favorable) décision de lancement par la MIP.
- 3 - Mise en place des crédits auprès du service achat de l'innovateur.
- 4 - Concrétisation du projet sous forme d'un démonstrateur ou d'un prototype.
- 5 - Compte-rendu et vidéo pour faire connaître le projet.

*25 000 euros accordés, en moyenne, par projet - Durée typique d'un projet : 12 à 18 mois. L'enjeu : faire de toute idée nouvelle intéressant la défense une solution vérifiée, reconnue et largement partagée.*

*Mission innovation : 5, avenue de la Porte de Sèvres 75509 PARIS CEDEX 15 01 57 24 72 37 - mission.innovation@dga.defense.gouv.fr*

## **BIBLIOGRAPHIE**

- - COMAERO. *Un demi-siècle d'aéronautique en France*. Voir, notamment, les volumes « *Etudes et Recherches* » et « *La Formation* » (2002-2014)
- - *L'Option Recherche et Technique Recherche du Corps de l'Armement A*. Quenzer (1995)
- - *Deux siècles d'armement en France. De Gribeauval à la force de frappe*.
- - *De l'Atelier de précision à l'ETCA (200 ans d'histoire 1794-1994)*
- - *Les ingénieurs militaires et l'émergence d'une nouvelle industrie française de l'Armement 1945-1960*. Actes de la journée d'études 1999. CHEAr/DPHAr.
- - *Au cœur de la bataille électronique*. Jean-Pierre Bouyssonnier / Jean Picollec (1982)
- - *Simple propos d'un homme de science*. Pierre Aigrain / Hermann.(1983)
- - *Mémoires sans concession*. Yves Rocard Grasset (1988)
- - *80 ans de technique aérospatiale à travers les bulletins de l'ATMA*. J-P Marec (1991)
- - *Hommage au Professeur Lucien Malavard*. ONERA (1991)
- - *Raoul Dautry, le technocrate de la République*. Henri Baudouï /Balland (1992)
- - *Colloque national Recherche et Technologie*, n° 3 Juin 1992.
- - *Un demi-siècle d'optronique infrarouge en France*. Michel Rachline. Albin Michel (1993)
- - *Physique et théorie du radar* Jacques Darricau SODIPE (1972, 1983, 1994)
- - *L'histoire du radar dans le monde puis en France*. J Darricau Y Blanchard. REE N° 1-2003
- - *Hommage à Jacques Dorey*. ONERA (1994)
- - *150 ans d'annales hydrographiques*. Annales hydrographiques. n° 769 (1998)
- - *De l'atome à la puce. Le LETI*. Benoît Mayoust / Libris (1998)
- - *Histoire de l'Ecole Polytechnique*. Callot, Camus, Esambert, Bouttes.
- - *Mémoires d'un bricoleur. Des rayons cosmiques à l'Aérospatiale*. André Rousset (2 000) -*Albert Caquot, savant, soldat et bâtisseur* Jean Kerisel / Presses Ponts et Chaussées (2001)
- - *Moi-Un itinéraire*. Pierre Naslin / SIRPE (2 003)
- - *La France de la technologie* Ministère des Affaires étrangères (2003)
- - *L'optronique militaire en France 1945-1985* DGA / CHEAr / DHAr (2004)
- - *Le radar 1904-2004* Yves Blanchard. Ellipses (2004)
- - *Laboratoire d'optique appliquée X-ENSTA Paris Tech* (2009)
- - Revue L'Armement n°51 (révolutions technico-militaires), n°76 (recherche civile et recherche de Défense), et n°85 (études amont)
- - Revue Scientifique et Technique de la Défense (RSTD), notamment n°28, 40,41 54, 55, 62
- - *120 ans d'innovations en Aéronautique*. Jean Carpentier / Hermann (2011)
- - *Magazine des IA* n° 76, n°85, n°89, n°97 et le n°100 de Juin 2013.



DEUXIEME PARTIE  
LE DIALOGUE ETAT - INDUSTRIE

Illustré par la formation aux diplômes « bac+2 » à vocation aéronautique  
BTS et DUT

*Par Jean Pierre Tasseau*



## PREFACE

*Claude Bresson*

*Directeur des Affaires Sociales et de la Formation au GIFAS - Président du Conseil  
d'Administration de l'IUT de Ville d'Avray – Saint Cloud*

Les travaux d'investigation, presque « policiers », menés par Jean Pierre Tasseau, témoignent à l'évidence d'une compétence longtemps cachée, qui a trouvé à s'exprimer sur un sujet qui lui tient à cœur sur un plan personnel en sa qualité d'ancien élève du Lycée technique d'état aéronautique de Ville d'Avray (IUT depuis 1968). Présidant le Conseil d'Administration de cet IUT depuis plus de dix ans, on comprendra que pour des raisons également personnelles j'ai pris un grand plaisir et beaucoup d'intérêt pour ce travail d'archéologue, ce d'autant plus que la matière première de ce carottage se situe dans le champ des travaux de la commission de formation du GIFAS à laquelle j'apporte mon modeste concours depuis près de 35 ans.

Ces travaux menés à partir de l'exploitation des procès-verbaux de la commission de formation entre 1959 et 1968, constituent pour moi l'apogée d'une alchimie vertueuse entre trois acteurs indissociables liés par le souci de bien faire : les entreprises, la puissance publique et les établissements d'enseignement.

On ne dira jamais assez, combien la formation et les outils qui la composent sont les fruits laborieux d'une expertise complexe, rassemblant des objets objectifs et subjectifs mélangés. Les débats rapportés par les procès-verbaux dans le précipité chimique magique du GIFAS donnent par ailleurs leur plein sens à l'utilité et à la qualité du travail collectif.

A l'heure où les débats sur la formation se limitent trop souvent à des discours d'estrade un peu creux, on trouvera dans ces quelques pages quelques leçons, au moins méthodologiques, qui je l'espère seront utiles à tous.

Enfin, qu'il me soit permis à cette occasion de rendre hommage à mes prédécesseurs et collègues qui ont participé à ces réflexions, et parmi lesquels les noms de Huot-Marchand, Malroux, Bergougnan, Kerdiles, Dugué Mc Carthy, Van Wynsberghe, Bourgeois, ... me reviennent en mémoire avec nostalgie.



# 1. INTRODUCTION ET CONTEXTE

## 1.1. *L'histoire sortie des archives du GIFAS.*

Le brevet de technicien supérieur BTS créé en 1959 et le diplôme universitaire de technologie DUT créé en 1966 sont des diplômes nationaux de l'enseignement supérieur. Tous deux visent à l'insertion professionnelle des étudiants. Le premier se prépare en deux ans dans un lycée, ou un établissement privé équivalent, le second se prépare également en deux ans dans un Institut universitaire de technologie IUT.

A sa mise en place, le DUT devait selon ses promoteurs remplacer le BTS, suscitant un certain nombre de réactions au sein de l'Education nationale et dans l'ensemble des parties prenantes étatiques et industrielles, dont le secteur aéronautique qui avait investi dans son BTS aéronautique. A cette situation s'ajoutaient les délicates questions du positionnement hiérarchique, statutaire ou conventionnel, et les perspectives d'évolution dans l'emploi des titulaires de ces nouveaux diplômes dans les services de l'Etat et dans l'industrie.

Etablissements nationaux emblématiques de la formation des techniciens supérieurs de l'aéronautique, les lycées techniques d'état aéronautiques (LTEA) de Ville d'Avray et de Toulouse ont été dissous le 1er octobre 1968; ils étaient les héritiers des écoles techniques aéronautiques (ETA) depuis la réforme de l'Education Nationale en 1960. Les événements de mai et juin 1968 n'ont pas permis la tenue normale des examens de la dernière promotion des BTS Aéronautiques de chaque lycée.

Le vent de l'histoire pour les ETA a changé à la fin de 1958 avec les mesures budgétaires décidées par le premier gouvernement de la 5ème République, pour aboutir à leur fermeture dix ans plus tard.

L'installation des IUT notamment dans le cas de Ville d'Avray en lieu et place du lycée n'est pas un simple changement « cosmétique » ; c'est le résultat d'une volonté forte de l'Université d'affirmer sa prééminence dans la formation supérieure scientifique et technique à finalité professionnelle, effectuée par d'autres Ministères ou par des organismes privés depuis la fin de la guerre.

Que s'est-il passé dans cette période?

Le Comité pour l'histoire de l'Aéronautique COMAERO a souhaité approfondir ce sujet dans le cadre de la rédaction d'ouvrages sur l'histoire de la formation. Le GIFAS, grâce à ses archives, a permis d'apporter des éléments d'information particulièrement documentés sur ce long et difficile débat entre plusieurs acteurs étatiques et industriels au sein des Ministères de la défense, de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, de l'Union des Industries et des Métiers de la Métallurgie UIMM, et des structures antérieures au Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales GIFAS

Au sein du GIFAS en effet, depuis l'USIA<sup>2</sup> et l'USIAS<sup>3</sup>, la Commission formation assure un suivi très serré des questions de formation. Les comptes rendus de ses travaux constituent un témoignage éclairant sur l'histoire. Il faut rendre hommage aux rédacteurs de ces comptes rendus ; avec le souci d'enregistrer aussi fidèlement que possible les interventions de chaque participant à ces réunions, ils ont en effet laissé aux historiens une mine d'information particulièrement riche.

---

<sup>2</sup> USIAé : Union Syndicale des Industries Aéronautiques

<sup>3</sup> USIAS : Union Syndicale des Industries Aéronautiques et Spatiales

Sélectionnés puis regroupés dans le présent document par l'auteur de ces lignes, les extraits de ces comptes rendus nous éclairent sur cette longue séquence d'âpres discussions pour conserver la vocation aéronautique des deux établissements, symboles de la formation des techniciens de l'aéronautique depuis la Libération.

Pour les quelque 1 800 techniciens et techniciens supérieurs de l'aéronautique qui sont passés par cette voie jusqu'en 1968 et qui ont contribué au redressement et au développement de l'industrie aérospatiale française, pour les historiens et pour tous ceux que l'histoire de l'aéronautique intéresse, il a paru utile d'apporter cet éclairage et de sortir l'histoire des archives pour l'enregistrer dans notre mémoire collective.

Par leur accueil, leur assistance et leurs encouragements, Claude Bresson, Philippe Dujaric et Myriam Gonnand ont permis la réalisation de ce projet.

## *1.2. L'origine des écoles techniques aéronautiques<sup>4</sup>.*

L'origine des écoles techniques aéronautiques s'inscrit en France dans le contexte spécifique des années 30 et 40 : L'expansion du rôle de l'Etat dans l'industrie, marqué par les nationalisations, le développement des mouvements ouvriers, la politisation des rapports sociaux, la guerre, l'humiliation de la défaite et l'occupation, la Libération et l'immense défi de la reconstruction associé à la volonté de reconquête de secteurs de pointe tel que « l'aviation » selon le vocabulaire de l'époque.

De nombreux ouvrages et articles sont consacrés à cette période, notamment sur les questions de la formation et de la promotion ouvrière, qui constituent pour l'Etat, le patronat et les syndicats un enjeu majeur du développement économique et social de la France<sup>5</sup>. Quelques titres sont cités dans la bibliographie à la fin de ce document.

A la Libération, le contrôle de la formation devenait donc un élément central du dispositif que l'Etat mettait en place pour reconstruire le pays et tout conduisait à ce que l'intervention de l'Etat soit orientée prioritairement vers l'extension des formations scolarisées. Une commission fut chargée en novembre 1944 d'élaborer un plan qui devait projeter pour la France « un grand système éducatif démocratique » pour lui permettre de rattraper son retard dans la compétition décisive avec les autres pays développés (États-Unis, Royaume-Uni...). Le rapport « Langevin-Wallon », du nom de ses principaux auteurs proches du PCF, ne sera publié qu'en juin 1947.

Mais à la Libération, l'Education Nationale ne pouvait pas faire face seule à la massification des besoins en formation d'ouvriers, de techniciens, d'ingénieurs. En liaison avec la Direction de l'enseignement technique (DET) réorganisée en 1944, les Ministères Techniques, ceux du Travail, des Finances et de l'Industrie s'associaient alors pour apporter leurs concours humains, matériels et financiers afin de créer les structures qui s'imposaient dans chaque domaine. C'est durant cette période que les historiens ont appelée l'âge d'or de l'enseignement technique, que les relations entre l'enseignement technique et les entreprises vont se développer et se normaliser (création des commissions professionnelles consultatives par exemple).

Le cas de l'aéronautique s'inscrit donc dans ce contexte. La volonté de reconstruire une industrie aéronautique se manifeste secrètement bien avant 1945.

---

<sup>4</sup> La rédaction de ce chapitre sur l'origine des ETA bénéficie d'informations provenant du site des anciens élèves de Toulouse, créé par Jean Le Brun (Promotion 54-59 Toulouse) et maintenu actuellement par Bernard Busca, ancien élève de l'ETA de Toulouse (60-65) puis de Ville d'Avray, section hyperfréquences (65-66).

<sup>5</sup> La France de cette époque est essentiellement ouvrière et agricole. En 1945, plus de 80% des personnels de l'industrie aéronautique sont des ouvriers, la grande majorité d'entre eux travaillent dans le secteur nationalisé.

Elle impulse à la Libération une large réflexion sur les conditions de cette reconquête. Témoin de cette volonté, le succès du premier « *Congrès national de l'aviation française* » qui a ouvert ses travaux le 3 avril 1945 avec plus de 2 000 participants. Pendant une semaine, sections et sous-sections se sont réunies pour débattre et échanger propositions et arguments. « L'enseignement » est l'une des sous-sections de la section « Recherches et Etudes » du congrès.

Deux autres congrès nationaux de l'aviation française sont organisés du 16 au 26 avril 1946 et du 1er au 5 avril 1947.

C'est donc dans ce contexte qu'une série de décisions importantes sont prises au niveau national dans le secteur aéronautique et mises en application, notamment durant la période 1945-1951, par la Direction de l'Enseignement Technique, la Direction Technique et Industrielle de l'Aéronautique (DTIA), le Secrétariat Général à l'Aviation Civile et Commerciale (SGACC), et les industriels.

En quelques années sont en effet créés les écoles ou les établissements suivants :

- Les écoles techniques aéronautiques (ETA) de Ville d'Avray et de Toulouse en août 1946 (partenariat Education nationale, Défense, Industrie).
- L'EPNER, École du personnel navigant d'essais et de réception fondée en 1946, rattachée au Centre d'essais en vol (Défense).
- L'ENTA école nationale des travaux aéronautiques créée en 1945 (texte promulgué par Charles de Gaulle le 31 décembre 1945) (Défense) qui deviendra l'ENICA école nationale d'ingénieurs de construction aéronautiques en 1957.
- L'ENPA école nationale professionnelle de l'air à Cap Matifou, Algérie par décret du 21 juin 1946. (Défense et partenariat Education Nationale et industrie).
- L'école d'Air France de Vilgénis en 1946 (Industrie).
- L'ENSMA, l'école nationale supérieure de mécanique et d'aérotechnique de Poitiers en 1948 (Education nationale et partenariat Défense), l'une des premières ENSI.
- L'ENAC, école nationale de l'aviation civile créée le 28 août 1949 par regroupement de structures existantes. (Transports).
- La Direction technique de l'aéronautique (DTIA) organise ses centres d'apprentissage ; sont confirmés :
  - le Centre d'apprentissage de l'air de Villebon (Défense) ;
  - le Centre d'apprentissage de l'air de La Tresne (Défense).

Les Centres d'apprentissage existaient déjà avant-guerre sous diverses formes auprès des SNCA, Sociétés Nationales de Constructions Aéronautiques issues des nationalisations de 1936; il s'agissait de les rouvrir et surtout de renforcer leur orientation aéronautique. Il faut aussi noter que de nombreuses autres écoles d'aéronautiques et d'aviation locales, privées ou publiques (centres d'apprentissages, cours complémentaires, ville de Paris, Nantes, Toulouse etc..) se manifestent à la fin de la guerre et utilisent largement la revue Les Ailes<sup>6</sup> pour leur publicité.

Pour soutenir les actions de formation, le ministère de l'Education nationale - enseignement technique, et le ministère de la Défense nationale (Air) et celui de l'Education nationale - Enseignement technique - ont mis en place conjointement un Etablissement de formation professionnel de l'industrie aéronautique, l' E.F.P.I.A qui

---

<sup>6</sup> Les Ailes est une revue d'aviation hebdomadaire publiée de 1921 à 1963, au format journal, sous-titrée « Le monde de l'aviation et l'aviation du monde ». Le Musée de l'Air et de l'Espace dispose d'une collection complète de cette revue.

sera institutionnalisé par la loi 51-1019 du 7 juin 1951. Le décret 51-1019 du 7 août 1951 est pris pour application de la loi.

Dans cette histoire, un homme, Robert Cancet, a eu un rôle important pour la création des ETA, son nom est associé à la création de l'EFPIA, Etablissement de formation professionnelle de l'industrie aéronautique, et plus généralement au développement de la formation et de la promotion ouvrière.

Au premier congrès national de l'aviation française en avril 1945, Robert Cancet présente un rapport sur la formation aéronautique des jeunes français pour en faire des techniciens de valeur, capables de rendre de grands services dans une branche de notre industrie en pleine évolution : **l'aviation**.

Le congrès (qui avait comme ministre de tutelle Charles Tillon) fut très intéressé par l'exposé de Robert Cancet et décida de lui confier le soin de réaliser lui-même son projet et de créer des écoles. A Toulouse, Robert Cancet eut la chance de trouver en la personne du directeur de Sud Aviation « *un homme qui le comprit et l'aida de toute sa puissance* ». C'est ainsi que naquirent en France, en août 1946, deux importantes Ecoles Techniques de l'Aéronautique, L'une à Toulouse, l'autre à Ville d'Avray, dont les premiers directeurs furent Messieurs Robert Cancet (Ville d'Avray)<sup>7</sup> et Georges Duchevalard (Toulouse).

Le but des Ecoles Techniques Aéronautique de Ville d'Avray et de Toulouse était:

1. D'assurer la Formation d'un personnel aéronautique apte à remplir les fonctions :

- de technicien des Services d'études, de méthodes, de fabrication, de contrôle, de laboratoire, dans les Sociétés de Constructions aéronautiques ;

- d'agent technique du ministère de l'Air dans les spécialités : cellules, propulseurs, radio-télécommunications et équipements.

2. De favoriser, aux meilleurs élèves, l'accès aux études supérieures :

- Baccalauréat technique ;

- préparation aux concours de l'Ecole Nationale des Travaux Aéronautiques, qui assurait la formation d'Ingénieurs de travaux de l'Aéronautique Militaire (Ministère de l'Air) ou civile (Sociétés de Constructions Aéronautiques).

La durée des études était fixée au départ à quatre années scolaires de trois trimestres chacune, le recrutement des élèves (au mois de mai) étant fait par voie de concours. Ce dernier était réservé aux jeunes de nationalité française ayant 15 ans au moins et 16 ans au plus tard dans l'année du concours.

Les premières promotions sont toutes issues de Centres d'Apprentissage des Sociétés de Constructions Aéronautiques où elles avaient effectué un an de travail en usine.

Les frais d'études étaient en principe couverts par l'indemnité versée par les Sociétés de Constructions Aéronautiques dont les élèves dépendaient, du fait de leur contrat d'apprentissage ou d'un engagement de scolarité.

Les élèves des E.T.A. pouvaient être internes ou externes et devaient respecter l'uniforme dont ils étaient dotés pour faire naître et ancrer dans les mentalités l'esprit de l'E.T.A.

A la fin de leurs études, la Direction des Ecoles organisait le placement des élèves dans les Sociétés de Constructions Aéronautiques.

*(Texte rédigé par Adelin-Vincent BRUNET (ETA 54) selon le site des anciens élèves de Ville d'Avray)*

Le conseil d'administration de l'EFPIA est présidé par le directeur général de l'enseignement technique, ou son représentant ; il est institué auprès de l'établissement un comité consultatif, technique et pédagogique qui permet notamment à l'industrie de s'exprimer (décret co-signé par le secrétaire d'état à l'enseignement technique André Morice, dont Robert Cancet était à l'époque le directeur de cabinet).

---

7 Ou bien Henri Cancet son homonyme. Nous ne disposons pas d'informations fiables sur l'histoire de Henri Cancet. Un document d'archive nous indique qu'avant 1949 il était déjà Directeur de l'ETA de Ville d'Avray.

L'EFPIA s'installe 6 rue Cimarosa à Paris 16ème, à l'adresse libérée en 1947 par le Secrétariat général permanent du congrès national de l'aviation française, non renouvelé après le départ des ministres communistes du gouvernement (Cf archives SHD de Vincennes et revue Les Ailes - Musée de l'Air et de l'Espace).

L'EFPIA permettra de gérer directement les écoles techniques aéronautiques de Ville d'Avray et de Toulouse, trois centres d'apprentissage (Bourges, Châteauroux et Levallois) et de subventionner des écoles appartenant aux entreprises aéronautiques : Air Equipement, Breguet, Bronzavia, Morane-Saulnier, SNECMA et Turboméca SNCAN, SNCASE, SNCASO.

SECRETARIAT D'ETAT A L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE,  
A LA JEUNESSE ET AUX SPORTS

SECRETARIAT D'ETAT  
A L'AIR

**ÉTABLISSEMENT DE FORMATION PROFESSIONNELLE  
DE L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE**  
(ÉTABLISSEMENT PUBLIC CRÉÉ PAR LA LOI N° 51-709 DU 7 JUIN 1951)

---

# Avis de Concours

pour l'admission dans les

## Ecoles Techniques Aéronautiques

---

### 7 Mai 1953

Ce concours intéresse les jeunes gens de nationalité française ayant 14, 15 ou 16 ans dans l'année du Concours et désirant entrer dans les :

### Ecoles Techniques Aéronautiques

VILLE-D'AVRAY (Seine-et-Oise) 5, route de Versailles.	TOULOUSE (Haute-Garonne) 25, rue Mondran.
--	--

\* \* \*

#### CONDITIONS D'INSCRIPTION

1° Demander l'imprimé spécial d'inscription à la Direction de l'ÉTABLISSEMENT de FORMATION PROFESSIONNELLE DE L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE, 6, rue Cimarosa, PARIS (16<sup>e</sup>);

2° Adresser le bulletin d'inscription, avant le 7 Avril, dûment rempli, accompagné :

- 1) de la convocation ci-annexée, timbrée et libellée à l'adresse du candidat ;
- 2) d'un bulletin de naissance établi sur papier libre ;
- 3) d'un certificat médical et de revaccination ;
- 4) d'un certificat d'orientation professionnelle ;
- 5) d'un relevé des notes des deux derniers trimestres ;
- 6) de deux photos d'identité ;
- 7) d'une enveloppe timbrée et libellée à l'adresse du candidat ;
- 8) pour les candidats nés à l'étranger ou de parents étrangers, d'un certificat de nationalité française.

à Monsieur le Directeur de

**l'ÉTABLISSEMENT DE FORMATION PROFESSIONNELLE  
DE L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE**  
6, rue Cimarosa, PARIS-16<sup>e</sup>

Par ailleurs, l'industrie participe au financement de cet établissement au titre de la taxe d'apprentissage.

La première promotion d'étudiants des ETA est sortie en 1950 et comportait 73 élèves, 18 issus de Toulouse et 55 de Ville d'Avray.

En 1951, suivant les orientations nationales, les écoles techniques aéronautiques de Ville d'Avray et de Toulouse font passer leur formation de quatre à cinq ans : trois années de formation générale axée sur les métiers de l'aéronautique, ajusteur, chaudronnier métaux en feuilles, tourneurs et fraiseurs, suivies de deux années de spécialisation, cellule avion, propulseur, équipement de bord et appareils électriques. Cette formation est concrétisée par l'obtention du diplôme E.T.A.

L'année 1958 marque un tournant dans l'histoire de la formation avec le retour au pouvoir du Général de Gaulle et l'instauration de la 5ème République. La réforme du système éducatif national, lancée en 1960, s'inscrira ensuite dans les annales de l'histoire de la France.

Dès fin 1958, le secteur aéronautique prend acte de la mise en place d'une politique de rigueur et de la compression substantielle des dépenses.

Le conseil d'administration de l'EFPIA engage une réorganisation de l'établissement public pour répondre aux exigences d'économie du Gouvernement et aux réformes en cours de préparation ; concrètement, la direction de l'EFPIA et son siège central sont supprimés<sup>8</sup>. Des conventions tripartites sont mises en place entre l'Enseignement technique, le Secrétariat d'état aux Forces armées « Air » et l'industrie aéronautique pour assurer une coordination et un fonctionnement satisfaisant des écoles et des centres de formation, sous condition du maintien de la spécialisation aéronautique de tel ou tel élément.

**C'est avec ce dernier épisode que commence l'histoire retracée dans la suite de ce document.**

#### **Qui était Robert Cancet ?**

Né en 1903, Robert Cancet un des meilleurs ouvriers de la Société genevoise des instruments de physiques, gagne à Saint Etienne le concours de Meilleur Ouvrier de France MOF en 1937. En 1944, il donne des cours dans les usines Amiot et se voit chargé de créer une école d'apprentissage (devenue depuis le collège technique de Levallois).

Enseignant, promu inspecteur Général dans diverses Académies, Robert Cancet fut nommé Directeur Technique du cabinet de M. André Morice, secrétaire d'Etat à l'enseignement technique. Des documents d'archive attestent sa présence à ce poste en février 1949 et en août 1951.

Par ailleurs, Robert Cancet Président du mouvement des MOF de 1949 à 1961, s'attacha à structurer le mouvement dans la France, en faisant élire des délégués départementaux. Ce fut lui qui obtint en 1952, la reconnaissance d'Utilité Publique à la société des M.O.F. un trophée MOF porte son nom.

Robert Cancet est décédé le 31 Juillet 1961 à l'âge de 58 ans. Son nom a été donné à la promotion de 1961-1966 de l'ETA de Toulouse. Une rue de Saint-Etienne porte aujourd'hui également son nom.

*Texte rédigé à partir des informations du site [www.cyranorion.fr/eta/](http://www.cyranorion.fr/eta/)*

---

<sup>8</sup> Ces dispositions font l'objet du décret 59-889 du 24 août 1959, qui sur rapport du ministre de l'éducation nationale, du ministre des armées et du ministre des finances et des affaires économiques, porte suppression de l'EFPIA et fixe le statut des écoles techniques aéronautiques de Ville d'Avray et de Toulouse et des centres d'apprentissages de Levallois, Bourges et Châteauroux.

## 2. LA FORMATION AUX DIPLOMES « BAC+2 » A VOCATION AERONAUTIQUE, DUT VERSUS BTS : DIX ANS D'HISTOIRE (1959-1968)

*Les paragraphes qui vont suivre, sont basés sur des extraits de compte rendus de la « Commission Formation » du GIFAS.*

*Chaque extrait de compte rendu de la Commission formation est identifié par la date de la réunion. Ne sont reproduits que des extraits concernant les formations Bac+2 dans les établissements de Ville d'Avray et de Toulouse. La Commission formation s'intéresse bien entendu à d'autres écoles et d'autres formations (du CAP au diplôme d'ingénieur) et à la promotion des métiers de l'aéronautique. Quelques commentaires hors texte ont été ajoutés en encadrés.*

### *2.1.Des écoles techniques aéronautiques aux lycées techniques aéronautiques : place à la formation aux BTS*

La réforme Berthoin 1959-1960 amorce l'unification du système éducatif national et rend l'instruction obligatoire jusqu'à 16 ans. En 1960, la Direction de l'enseignement technique DET est supprimée.

Jean Berthoin, Ministre de l'éducation, a d'abord procédé à une unification institutionnelle des différents types d'établissements de l'enseignement technique long. Les ENP, les collèges techniques, certaines écoles de métiers, et des écoles professionnelles de la ville de Paris, ont été rebaptisés lycées techniques. Les anciennes ENP ont cependant reçu le qualificatif particulier de lycées techniques d'état pour distinguer ces établissements de ceux issus de l'enseignement primaire supérieur.

Parmi les mesures prises à la suppression de l'EFPIA fin 1958, il a été décidé que de regrouper l'état-major des deux Ecoles techniques aéronautiques de Toulouse et de Ville d'Avray à Ville d'Avray et d'abandonner leur recrutement initial en fin de troisième et leur formation de premier cycle pour se concentrer sur la formation de techniciens supérieurs à partir d'un recrutement au niveau Baccalauréat math et technique. (l'application de cette mesure prendra du retard à Toulouse).

En 1960, les deux écoles sont rattachées au ministère de l'Education Nationale et baptisées

#### **Lycées techniques d'état aéronautiques LTEA.**

Le lycée de Toulouse est transformé en établissement autonome en 1963. Mais l'Education nationale traite ces lycées comme des lycées normaux et c'est en fait la subvention de la Direction technique et industrielle de l'aéronautique DTIA et la taxe d'apprentissage qui permettent de financer l'équipement des laboratoires. Les deux lycées conservent un conseil de perfectionnement commun.

### *Réunion du 7 janvier 1959 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy (SNECMA)*

#### *Participants :*

MM Eckert (Breguet), Barot (Hispano-Suiza), Jarry (Latécoère) Van Wynsberghe (Messier), Coroller (Nord-Aviation), Vianney (SEPR), Bregeon (SNECMA), Landsmann, Jacquet (Sud-Aviation), Lelu (SIPA), Dufour J (Turboméca), Adenot, Guilbot, Harlaut, Huot-Marchand (USIAé)

Le président rend compte de la réunion du Conseil d'Administration de l'E.F.P.I.A qui s'est tenue le 19 décembre 1958.

Cette réunion avait pour objet essentiel l'étude de la réorganisation de l'E.F.P.I.A. dans le sens d'une compression substantielle des dépenses demandée par la direction du budget.

Aucune proposition n'ayant pu être faite aux membres du Conseil, celui-ci a décidé de créer une commission chargée d'étudier d'urgence la question et de faire des propositions précises.

Cette Commission s'est réunie à cet effet le 29 décembre 1958, on trouvera en annexe au présent procès-verbal les propositions qu'elle a présentées au président du Conseil de l'E.F.P.I.A.

Monsieur Dugué Mac Carthy estime que la composition de la représentation de l'USIAé au Conseil de perfectionnement et de gestion qui se substituerait à l'actuel conseil d'administration de l'E.F.P.I.A serait à examiner, car le choix qu'on a fait jusqu'à présent et qui porte presque exclusivement sur des directeurs ou secrétaires généraux ne paraît pas satisfaisant; il serait indispensable de faire appel à des spécialistes de la formation pris au niveau de la direction des affaires sociales des Sociétés.

En somme, il s'agit de faire quelque chose d'assez analogue à ce qu'a réalisé, pour ses propres besoins, l'E.D.F. à Gurcy-le-Chatel ; une visite de ce centre s'imposera donc aux membres de la commission de formation chargée d'instruire la question.

Enfin pour répondre à une question posée par un des membres présents il est précisé que rien n'est changé pour 1959 aux versements à faire par les différentes Sociétés à l'E.F.P.I.A au titre de la taxe d'apprentissage; dès que la situation sera éclaircie toutes indications utiles seront données aux sociétés intéressées.

#### *Annexe :*

La commission désignée par le Conseil d'Administration de l'E.F.P.I.A., composée de MM Chartier, Dugué Mac Carthy, Helleboid, représentant M. Genevey et Maxe, s'est réunie le 29 décembre 1958 à la S.N.E.C.M.A.

L'objet de l'organisation à réaliser est d'assurer un fonctionnement satisfaisant des écoles et centres par le maintien, jugé indispensable, des relations entre l'enseignement technique, le secrétariat d'état aux forces armées "air" et l'industrie aéronautique.

Le régime administratif de l'établissement est fixé par la loi du 7 juin 1951 (J.O. du 8.VI.51) et le décret du 7 août 1951 (J.O. du 10 août 1951)

Les propositions arrêtées lors de la réunion du 29 décembre 1958 peuvent être résumées ainsi :

1. Les relations entre les trois parties intéressées seraient basées sur des conventions passées entre elles. La durée des conventions pourrait être différente et dépendrait de la certitude existant dans le maintien de la spécialisation aéronautique de tel ou tel élément.
2. La direction de l'E.F.P.I A et le siège central seraient supprimés.
3. Les deux écoles de Ville d'Avray et de Toulouse qui devraient en trois ans rentrer dans le cadre des sections de formation de techniciens bénéficieraient d'une convention tripartite de 10 ans (Une telle modalité ne semble pas devoir poser de problèmes considérables puisqu'une solution a été trouvée pour le centre de l'E.D.F. de Curcy-le-Chatel)
4. La sanction des études est le brevet de technicien de l'aéronautique dont la définition précise et les modalités d'attribution doivent être mises point.
5. La nécessité de coordonner l'enseignement des écoles, d'assurer la détermination des programmes et de définir les méthodes pédagogiques compte tenu des besoins de l'aéronautique, l'organisation du concours du brevet de technicien de

l'aéronautique imposent le renforcement dans des conditions à définir de l'état-major de l'une des écoles, celle de Ville d'Avray.

6. Les trois centres (Bourges Châteauroux et Levallois) seraient l'objet de convention tripartite de trois ans. L'orientation des anciens élèves de ces centres devra faire l'objet d'une étude: S'il apparaît que les élèves se dirigent principalement vers des industries autres que l'industrie aéronautique, il est souhaitable que les centres deviennent des centres de mécanique.

Toutefois, dès maintenant l'industrie aéronautique a fait connaître son désir de voir le centre de Bourges demeurer spécialisé en raison de l'orientation de l'usine Nord Aviation de Bourges vers la production d'engins.

7. En ce qui concerne les questions de promotion ouvrière pour lesquelles l'EFPIA assurait un relais entre les entreprises et l'enseignement technique, les liaisons seront désormais réalisées directement entre elles.

Pour élargir les bases de recrutement, il a été décidé d'ouvrir à partir de l'année scolaire 1960-1961 des classes passerelles pour l'accès à la formation au Brevet de Technicien Supérieur Aéronautique (BTSA). Reconversion scientifique RS pour des élèves qui disposent d'un BEI ou équivalent (Cas des ENP par exemple) et Reconversion technique RT pour des élèves qui ont obtenu un BAC classique. Soit un an de reconversion et deux années de préparation au BTS Aéronautique dans l'option choisie : cellules, propulseurs, équipements de bord.

## *2.2. Comment motiver les candidats de valeur à choisir Ville d'Avray?*

*Réunion du 19 janvier 1961 présidée par Monsieur Dugué Mac Garthy*

*Participants :*

MM Moissenet (Hispano-Suiza), Coroller, Susini (Nord-Aviation), Vianney (SEPR), Bregeon (SNECMA), Bergé (Sud-Aviation), Adenot, Guilbot, Malroux (USIAé)

*Créer une section d'ingénieurs au Lycée de Ville d'Avray?*

Le chef du bureau de formation expose la genèse de ce projet. Il y a une très nette désaffection des candidats de valeur au Lycée technique de Ville d'Avray ; près de la moitié des garçons reçus donnent leur démission pour aller dans des écoles privées qui, recrutant pratiquement au même niveau, délivrent un diplôme d'ingénieur reconnu par l'Etat.

Le Général Harlaut avait donc pensé créer une section d'ingénieurs qui permettrait à une vingtaine d'élèves techniciens de Ville d'Avray, sélectionnés au cours de leur scolarité normale de devenir ingénieur après une année supplémentaire d'études. Monsieur Cancet<sup>9</sup>, Directeur du Lycée de Ville d'Avray avait mis au point le projet; le Conseil de Perfectionnement des lycées techniques de Ville d'Avray et de Toulouse l'avait retenu et avait constitué une sous-commission chargée de l'étudier. Cette commission s'est réunie le 5 décembre 1960 ; MM Coroller et Malroux y assistaient.

Les représentants de l'enseignement technique (Inspecteurs généraux Crampe et Campas) ne sont pas opposés à cette formule moyennant quelques modifications au projet initial (sélection au cours de la première année et non au cours des trois ans d'études de techniciens ; une année supplémentaire pour les ingénieurs ; dix mois de stage dans l'industrie, répartis sur l'ensemble de la scolarité).

---

<sup>9</sup> Dans ces comptes rendus, le nom de Cancet apparaît régulièrement; il s'agit ici de Henri Cancet, Directeur de l'établissement de Ville d'Avray.

Ceux du Cabinet du Ministre de l'Education Nationale et du Ministre des Armées ont fait valoir les arguments suivants :

- Au moment où le Gouvernement ordonne le transfert des écoles d'ingénieurs en province, il ne peut être question de créer une autre école d'ingénieurs dans la région parisienne.
- Est-ce que l'ENICA ne serait pas capable de fabriquer les ingénieurs demandés ?
- Est-ce que d'ailleurs l'industrie aéronautique a vraiment besoin d'ingénieurs de fabrication ?; y-a-t-il réellement une lacune dans la hiérarchie de la formation des techniciens et ingénieurs ?

Monsieur Coroller précise que les représentants de l'Education Nationale ont estimé qu'il ne paraissait pas possible de faire des ingénieurs dans une école de techniciens existante et qu'il fallait bâtir une nouvelle école.

En conclusion, la sous-commission a demandé à l'USIAS de faire connaître la position de l'industrie aéronautique sur cette question, en définissant ses besoins en ingénieurs de fabrication et en essayant de les chiffrer.

Au cours de l'échange de vues qui a suivi, le Président signale qu'il n'y a pratiquement pas un ingénieur diplômé dans les ateliers de la SNECMA (les chefs d'ateliers sortent au mieux du CNAM) et Monsieur Viannay fait remarquer que le taux d'ingénieurs maison n'est si élevé qu'à cause du manque d'ingénieurs de fabrication.

Monsieur Bregeon n'est pas partisan de créer une section d'ingénieurs à Ville d'Avray car l'industrie manque davantage de techniciens que d'ingénieurs et qu'il ne faut pas recommencer l'erreur de l'INSA de Lyon, où l'on en est venu à supprimer la fabrication des techniciens. C'est par une action sur l'ENICA que l'on doit augmenter le nombre des ingénieurs nécessaires, mais il ne faut pas tarir la source des techniciens.

Monsieur Viannay propose que l'on adopte le système de sélection en usage à l'école de radiotechnique et d'électricité appliquée de Clichy (technicien, techniciens supérieur et ingénieur) et qu'au lieu de sélectionner au début, on offre aux meilleurs sujets le moyen de devenir ingénieur ; il estime que l'on doit tenir compte des possibilités personnelles des candidats de diverses catégories et évoque à ce sujet la formation des pilotes aux USA.

Finalement, après intervention de Monsieur Coroller, le Président demande aux sociétés de rechercher le nombre des ingénieurs de fabrication qui leur sont nécessaires et d'apporter ces chiffres à la prochaine séance où l'on reprendra l'examen de cette question.

Le gouvernement de Michel Debré (1959-1962) met en place une politique d'aménagement du territoire (création de la DATAR en 1963) qui vise à renforcer un certain nombre de métropoles provinciales susceptibles de jouer le rôle de contrepoids à l'agglomération parisienne. Or ces villes ne pouvaient prétendre à ce rôle que si chacune d'elles, dans un secteur clé au moins, parvenait à occuper une position dominante. Tel était l'esprit du choix de Grenoble comme pôle de l'électronique, ou celui de la Bretagne comme pôle des télécommunications. Pour le secteur aéronautique et spatial, un choix s'imposait : celui de Toulouse.

La création du CNES à Toulouse et le transfert des écoles d'ingénieurs aéronautiques à Toulouse : ENICA, ENSAé et ENAC s'inscrivaient dans ce choix gouvernemental confirmé, malgré les réticences des intéressés. L'ENICA sera la première école transférée à Toulouse en 1961.

La Délégation Ministérielle pour l'Armement (DMA) a été créée en 1961 dans le but de « concentrer l'autorité et les moyens et de favoriser un meilleur emploi des hommes, un rendement plus élevé de l'infrastructure industrielle et une utilisation plus efficace des crédits »(décret 61-307 du 5 avril 1961). Une réforme des corps d'ingénieurs militaires visant à leurs regroupements entre en préparation.

Elle sera mise en application en 1968 (Corps des Ingénieurs de l'Armement et des Ingénieurs des Etudes et Techniques de l'Armement)

La DTIA, renommée Direction technique des constructions aéronautiques DTCA, n'est plus seule dans son domaine face aux armées et à l'industrie. La recherche, les engins, l'électronique et l'informatique relèvent désormais d'autres directions techniques. La DTCA perd notamment au bénéfice du Service de surveillance industrielle de l'armement (SIAR) rattaché à la Direction des programmes et des affaires industrielles (DPAI) le contrôle en usine qu'elle exerçait par le canal des Circonscriptions aéronautiques régionales (CAR) Elle perd la tutelle de l'ENSAé au profit de la Direction des personnels et des affaires générales (DPAG) de la DMA mais conserve celle de l'ENICA, probablement en raison de la proximité géographique et structurelle avec l'Etablissement aéronautique de Toulouse (EAT)

Les accords d'Evian en 1962 marquent la fin de la présence française en Algérie avec, notamment pour l'aéronautique, le rapatriement des Ateliers industriels de l'air AIA sur le territoire métropolitain et la fermeture de l'ENPA de Cap Matifou à Alger.

## *Réunion du 16 janvier 1962 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy*

### *Participants :*

MM Bergougnan (Breguet), Prax (GAMD), Moissenet (Hispano-Suiza), Noel (SEREB), Susini (Nord-Aviation), Vianney (SEPR), Bergé (Sud-Aviation), Guilbot, Malroux (USIAS).

### *Création d'une section d'ingénieurs au LTA de Ville d'Avray?*

Le chef du bureau formation rappelle qu'au cours de la dernière réunion il avait été entendu que l'industrie aéronautique fournirait une évaluation numérique de ses besoins en ingénieurs de fabrication lui permettant de répondre aux arguments des représentants de l'Université, conformément à la demande de la sous-commission du conseil de perfectionnement des LTA chargée de l'étude de cette question.

Mais le Président fait remarquer que cette affaire ne lui paraît pas mûre et qu'il est nécessaire de bien y réfléchir. Il est inquiet du but vers lequel on tend, car s'il est exact que l'industrie aéronautique manque d'ingénieurs, il est non moins vrai qu'elle manque, au moins autant sinon plus, de techniciens. N'y a-t-il pas danger à vouloir former dans la même maison des ingénieurs et des techniciens ? Il vaudrait mieux temporiser, car, en outre, l'attitude prise actuellement par l'Université vis-à-vis des écoles d'ingénieurs est assez inquiétante.

L'Université semble ne pas vouloir admettre l'existence d'écoles d'ingénieurs dont l'enseignement pourrait lui échapper; or les programmes qu'elle établit sont essentiellement abstraits, quand l'industrie a besoin de programmes de cours concrets et précis, parfaitement adaptés à ses besoins. Il faut d'autant plus se méfier qu'il ne faut pas que le cas de l'INSA de Lyon se reproduise: maintenant à Lyon il n'y a plus de candidat pour la section techniciens, qui a disparue devant celle des ingénieurs.

Différents membres de la Commission exposent les remarques que leur suggèrent les observations préliminaires du Président et les compléments d'information donnés par le chef du bureau formation : besoins dans l'industrie d'ingénieurs de fabrication mais aussi « d'ingénieurs – dessinateurs », opposition des ingénieurs des grandes écoles à l'embauche d'ingénieurs provenant d'écoles moins réputées et défiance à leur égard, méthodes de sélection à employer pour recruter des candidats ingénieurs parmi les techniciens, etc.

Le Président demande ensuite aux membres s'ils peuvent donner une évaluation de leurs besoins annuels en ingénieurs de fabrication.

Les réponses donnent les chiffres suivants : SNECMA : 6, SEPR : 2, Nord-Aviation : 2 ou 3, GAMD : 1, SEREB : 3, Hispano-Suiza : 2 ou 3, Breguet : 1 ou 2, Sud-Aviation et SOREA réservent leur réponse.

Ce premier aperçu permet de chiffrer à une vingtaine par an les besoins de l'industrie ; cela permettrait de constituer une section à Ville d'Avray.

Le Président clôt la discussion en demandant à chacun de réfléchir à la question ; à la prochaine réunion on mettra au point la réponse à faire au Conseil de perfectionnement des LTA.

*Lettre adressée au Président de l'académie de Toulouse*

<i>Gifas</i> <i>Commission formation</i>	<i>LTA Tlse</i>
<u>copie</u>	<u>Annexe II</u>
U.S.I.A.S. <u>N°/MAG.n° 1291/62</u>	Paris, le <u>13 avril 1962</u>
Monsieur le Président,	
<p>Nous avons cru comprendre au cours des échanges de vues qui avaient eu lieu à la réunion du Conseil de Perfectionnement commun des Lycées Techniques d'Etat Aéronautiques de VILLE D'AVRAY et de TOULOUSE du 26 septembre dernier, que le programme du Lycée Technique d'Etat de TOULOUSE serait aligné sur celui du Lycée de VILLE D'AVRAY, autrement dit que les classes du premier cycle seraient supprimées à TOULOUSE comme elles l'ont été à VILLE D'AVRAY. C'est bien d'ailleurs ce qui est inscrit au procès-verbal de cette réunion, page cinq :</p> <p>" Monsieur le Directeur du Lycée Technique d'Etat de TOULOUSE est invité à étudier la suppression des classes de premier cycle dans son établissement ".</p> <p>Or nous venons d'apprendre que le Lycée de TOULOUSE continue à recruter des garçons au niveau de la classe de troisième pour les préparer au baccalauréat, et que<sup>a</sup> la prochaine rentrée scolaire, le concours est fixé au 7 juin 1962 ( Réf : bulletin d'informations scolaires n° 94 avril 62).</p> <p>Nous ne pouvons que vous témoigner notre étonnement devant une telle mesure, contraire aux propositions du Conseil de Perfectionnement.</p> <p>Vous connaissez l'impérieux besoin de techniciens de l'industrie aéronautique. Aussi estimons-nous que ce n'est pas tenir compte des besoins de l'industrie, que de continuer contrairement aux avis autorisés qui ont été exprimés, les errements suivis à TOULOUSE. Aussi serions nous très désireux d'avoir l'assurance que l'année prochaine verra se réaliser la réforme étudiée et demandée et que l'industrie aéronautique pourra compter sur l'appui efficace de l'enseignement technique pour lui fournir les techniciens qui lui sont indispensables.</p> <p>Nous vous prions de croire, Monsieur le Président, à l'expression de notre haute considération.</p> <p style="text-align: center;">Pour le Président absent Le Délégué Général, J.N.ADENOT.</p>	

Une lettre personnelle datée du 21 novembre 1960 adressée par Georges Duchevalard à Robert Cancet, illustre le désaccord de la direction de l'établissement de Toulouse, soutenue par les parents d'élèves, avec les orientations prises par Ville d'Avray concernant la suppression du premier cycle de préparation au baccalauréat technique. (Cf Bernard Busca, archives de l'ETA de Toulouse)

L'ETA de Toulouse n'a pas suivi les injonctions « parisiennes », ce qui peut expliquer le courrier de rappel à l'ordre ci-avant.

**Commentaire de JP Tasseau**

### *2.3. Pour ses formations d'ingénieurs, l'Etat sollicite les meilleurs diplômés des Lycées aéronautiques de Ville d'Avray et de Toulouse*

*Réunion du 18 décembre 1962 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy*

*Participants :*

MM Bergougnan (Breguet), Prax (Dassault), Moissenet (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Viannay (SEPR), Noel (SEREB), Legrand (SOREAS), Meiller, Autrusson (Sud-Aviation), Dufour (Turboméca), Malroux(USIAS).

*Conseil de perfectionnement des Lycées Techniques d'Etat Aéronautique de Ville d'Avray et de Toulouse :*

Le chef du service Formation rend compte de la réunion du Conseil de Perfectionnement commun des LTE(A) de Ville d'Avray et de Toulouse qui a eu lieu le 3 décembre dernier sous la présidence de Monsieur Reverdy, conseiller permanent de l'Enseignement technique. Les fonctions de secrétaire permanent de ce conseil sont assurées maintenant par l'ingénieur Général de l'Air Pascaud.

En ouvrant la séance, Monsieur Reverdy avait annoncé que par décret du 19 novembre 1962, le Lycée Technique d'Etat Aéronautique de Toulouse qui était jusqu'à maintenant groupé administrativement avec le Lycée technique d'Etat de Garçons de Toulouse était transformé, à compter du 15 septembre 1962, en Lycée Technique d'Etat autonome.

Par conséquent, cet établissement est habilité à percevoir pour son compte, des versements au titre de la taxe d'apprentissage. Monsieur Reverdy renouvelle l'assurance que le lycée de Toulouse va s'aligner sur celui de Ville d'Avray, que ses classes de 2ème, 1ère et Math. Technique vont disparaître par extinction et qu'il va donc consacrer tout son potentiel à la formation de techniciens brevetés supérieurs de l'Aéronautique. Etant donné qu'il a encore cette année recruté des élèves du niveau de la classe de seconde, ce n'est qu'à partir de la rentrée scolaire de 1965 qu'il n'y aura plus que des classes de technique supérieure (et de reconversion).

A partir de cette date, les deux lycées techniques fourniront à l'industrie aéronautique les trois cents techniciens brevetés supérieurs demandés (150 à Ville d'Avray, 125 à Toulouse et 25 environ en promotion sociale). Un projet de construction d'un nouvel établissement dans la banlieue de Toulouse serait envisagé.

Parmi les questions inscrites à l'ordre du jour, l'une d'elles paraissait avoir de graves répercussions sur nos projets de formation de techniciens supérieurs : l'étude des propositions présentées par les Services de l'Air pour la préparation par le Lycée Technique Aéronautique de Ville d'Avray au concours des ingénieurs militaires des travaux de l'Air. Monsieur Malroux avait déjà fait part de ce projet à la dernière réunion de la Commission et conformément aux décisions prises, avait envoyé à ses membres le texte de l'étude de Monsieur Cancet sur ce sujet (note n° 3677 du LTA de VA du 30.10.62, transmise par lettre n° 3574/62 du 28.11.62).

Ce projet, conséquence de la fermeture prochaine de l'École nationale professionnelle de l'Air de Cap Matifou, à Alger, avait été proposé par Monsieur Blouin, directeur de l'ENICA. Il donnait satisfaction au directeur du LTA de Ville d'Avray qui, devant les nombreuses démissions de jeunes gens reçus au concours d'entrée, cherche par tous les moyens à créer un débouché vers un titre d'ingénieur (en effet près d'un tiers des jeunes gens admis à Ville d'Avray démissionnent pour entrer dans des écoles privées délivrant un diplôme d'ingénieur, le titre de technicien supérieur n'ayant pas encore obtenu ses lettres de noblesse).

La position de l'USIAS était la suivante : d'accord pour la création de ce cours préparatoire, mais à condition qu'il n'entraîne pas de diminution du nombre prévu des techniciens supérieurs et qu'il n'empêche pas un débouché éventuels vers un titre civil d'ingénieur de fabrication. Mais Monsieur Blouin n'a pas développé son idée, car un projet de statut des ingénieurs des travaux des trois armées est actuellement soumis pour étude à un groupe de travail de la délégation ministérielle pour l'Armement. Un concours commun de préparation pourrait ultérieurement être créé à Latresne (centre de formation professionnelle des établissements de l'Aéronautique) ou ailleurs.

La classe de préparation envisagée à Ville d'Avray n'aurait donc à fonctionner que pour l'année scolaire 1963/64 (cf : lettre n° 017239 du 12.12.62 de la DTIA) Elle n'intéresserait qu'un petit nombre de candidats.

Monsieur Malroux a profité de la présence à cette réunion de Monsieur Blouin pour lui demander de faire connaître les raisons pour lesquelles l'ENICA n'assurait pas le recrutement d'une partie de ses élèves parmi les titulaires du brevet de technicien supérieur de l'aéronautique (concours B) comme le prévoient les textes qui ont réorganisé cette école en 1957 (décret n° 57-669 du 4.6.57). Cette voie en effet permettrait d'assurer un débouché sur un titre d'ingénieur pour les anciens élèves des lycées techniques aéronautiques, et sans doute de pallier l'hémorragie des candidats admis aux LTE(A) et elle éviterait en tout cas la solution envisagée à une précédente réunion du Conseil mais critiquées par certains, de la création d'une section terminale d'ingénieurs de fabrication à Ville d'Avray. Il n'a pas pu obtenir de réponse satisfaisante.

Après un bref échange de vues qui amène le chef du bureau Formation à préciser qu'il n'y a pas de Conseil de perfectionnement à l'ENICA et que dans sa séance du 3 mai dernier le bureau de l'USIAS avait demandé : que les programmes de l'ENICA soient soumis à la profession, que le conseil de perfectionnement de l'ENSAé soit commun avec celui de l'ENICA « afin que la frontière entre les enseignements des deux écoles soit bien précisé », et que l'ENICA forme des ingénieurs d'atelier, la commission est d'accord pour demander que le Président de l'USIAS alerte le ministère de tutelle de l'ENICA sur ce point.

En conclusion, Monsieur Dugué Mac Carthy donne instruction au chef du bureau formation de rédiger un projet de lettre du Président de l'USIAS au Ministère des Armées demandant que l'ENICA ait un conseil de perfectionnement, que son programme soit soumis à la profession, que la voie du concours B soit ouverte aux techniciens supérieurs et que l'ENICA, en dehors de la préparation des ingénieurs militaires des travaux, forme aussi pour l'industrie civile, des ingénieurs de fabrication.

## *Réunion du 15 janvier 1963 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy*

### *Participants :*

MM Bergougnan (Breguet), Prax (Dassault), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Viannay (SEPR), Noel (SEREB), Legrand (SOREAS), Brégeon (SNECMA), Meiller, Autrusson, Casado (Sud-Aviation), Dufour (Turboméca), Adenot, Malroux(USIAS).

### *Situation du Lycée Technique d'Etat de Ville d'Avray*

Avant de commencer l'examen des questions inscrites à l'ordre du jour, le Président demande au chef du Service Formation de rendre compte à la Commission de la séance du Conseil d'Administration du LTA de Ville d'Avray qui a eu lieu le 11 janvier 1963.

L'ordre du jour de cette séance comportait l'examen du budget 1963 et la discussion du rapport moral concernant l'année scolaire 1961/1962. L'examen du budget n'a pas appelé de remarque ou commentaires dignes d'être signalés, sinon que les crédits de gros entretien pratiquement réduits à néant sous prétexte qu'une partie des bâtiments est toute neuve.

C'est ainsi que deux ballons d'eau chaude sur trois étant en panne, les services locaux de la Seine-et-Oise n'ont pas de crédits suffisants pour les remettre en état, et les interventions de la Direction du Lycée, aussi bien auprès des services du Ministère de l'Education Nationale qu'auprès de l'architecte, se montrent infructueuses.

Aussi le Conseil d'Administration a chargé son Président et le chef du Service Formation de faire une démarche particulière auprès de l'autorité compétente - finalement le chef du bureau des bâtiments civils de la Direction de l'Architecture du Ministère des Affaires Culturelles - pour essayer d'obtenir les crédits nécessaires à la remise en état du réseau eau chaude des services d'hygiène du lycée.

Quant aux crédits d'équipements des laboratoires, la part du Ministère de l'Education Nationale est toujours aussi faible (car il traite le Lycée de Ville d'Avray comme un lycée technique ordinaire) et le directeur compte surtout sur la subvention de la DTIA et les versements de l'industrie au titre de la taxe d'apprentissage. (C'est d'ailleurs le même cas pour le LTA de Toulouse, ce qui explique la lettre n° 17/63 du 3 janvier 1963 de l'USIAS aux entreprises).

Néanmoins les constructions neuves qui viennent d'entrer en service au début de l'année scolaire ont heureusement modifié à la fois l'aspect et le potentiel du Lycée. Aussi le chef du service Formation a-t-il proposé au Directeur - qui a accepté avec plaisir - qu'une réunion de la Commission de formation se tienne au Lycée au printemps.

Pour l'année scolaire 1962/1963, les effectifs sont les suivants :

- Classe de TM (supprimée à la fin de l'année) = 36
- Classes de reconversion = 64
- Classes de TS1 = 123
- Classes de TS2 = 101
- Section hyperfréquence = 8

Soit un total de 332 élèves dont 248 internes.



*La classe de TS2P à Ville d'Avray , techniciens supérieurs 2<sup>ème</sup> année, option propulseur. Au fond, les constructions neuves mises en service à la rentrée de l'année scolaire 62/63. (Source JP Tasseau)*

### **Réunion du 15 octobre 1963 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy**

#### **Participants :**

M Prax (Dassault), Moissenet (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Viannay (SEPR), Noel (SEREB), Legrand (SOREAS), Brégeon (SNECMA), Meiller, Autrusson (Sud-Aviation), Dufour (Turboméca), Guilbot, Malroux(USIAS)

#### **Résultats des examens du BTSA en juillet 63**

Monsieur Malroux donne lecture des résultats obtenus à l'examen du BTSA de juillet dernier :

- LTA de Ville d'Avray : présentés 101, reçus 70 ;
- LTA de Toulouse : présentés 51, reçus 36.

Total 152 présentés, 106 reçus, se répartissant en 32 cellules, 23 propulseurs, 41 équipements, 7 télécommunications. Malheureusement sur ces 106 reçus, 17 (11 de Ville d'Avray et 6 de Toulouse) ont été reçus au concours de recrutement de ingénieurs militaires des travaux de l'air. Nommés aussitôt « Ingénieur militaire des travaux de l'air de 3ème classe », ils vont effectuer un stage de 2 ans à l'ENICA et seront nommés à la sortie « Ingénieur militaire des travaux de l'Air de 2ème classe ». Ces jeunes gens s'engageant à servir l'Etat pendant une durée de huit ans au moins sont donc pratiquement perdus pour l'industrie (voir encadré ci-après).

Une dizaine de nouveaux BTSA se sont présentés au concours de la section ingénieurs de l'Ecole Nationale de Radiotechnique et d'Electricité de Clichy ; deux ou trois autres se sont fauillés ailleurs (professorat de dessin par exemple). Ainsi donc une trentaine de BTSA ne vont pas entrer dans l'industrie. Par contre tous les autres (85 environ) se sont facilement placés dans l'aéronautique. Au 1er octobre 1963, il y avait 193 candidats au BTSA dans les deux LTEA (129 à Ville d'Avray et 64 à Toulouse).

Monsieur Dugué Mac Carthy déplore vivement que des garçons que nous pouvions voir venir travailler dans notre profession aillent à l'ENICA pour servir ensuite la DTIA. Cette déviation est d'autant plus choquante que l'ENICA refuse d'ouvrir la voie du concours B des ingénieurs civils des constructions aéronautiques. Il faut alerter le Bureau de l'USIAS sur ce point et il serait bon qu'il élève une protestation.

Car s'il est compréhensible que des techniciens supérieurs aient envie d'acquérir un titre d'ingénieur, il n'est pas équitable de ne leur ouvrir que la voie des ingénieurs militaires et de leur tenir fermée celle des ingénieurs civils. Ce serait un argument de plus pour le Directeur du LTEA de Ville d'Avray pour la création d'une section d'ingénieurs au LTEA, création à laquelle le Président n'est pas favorable, car au bout de quelques temps, le LTEA ne fournirait que des ingénieurs et plus du tout de techniciens.

Le chef du Service Formation, faisant remarquer qu'il est de toutes façons à craindre (à cause en particulier des retards pris à Toulouse, voir & suivant) qu'en 1965 nous ne disposions pas d'un recrutement annuel de 250 BTSA, estime qu'il serait bon d'explorer toutes les sources possibles de formation des techniciens et d'ingénieurs. Il signale que l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse vient d'ouvrir ses portes en octobre 1963 sur le modèle de l'INSA de Lyon. Il n'y a pour le moment qu'un très petit nombre d'élèves (une cinquantaine) mais ne serait-il pas bon de demander la création d'une section aéronautique ?, cela serait sans doute favorablement vu, au moment où l'on parle de créer un complexe d'enseignement aéronautique dans le Sud-Ouest.

Monsieur Prax craint, devant la prolifération des nouvelles écoles d'ingénieurs, que l'on se trouve prochainement devant une marée d'ingénieurs ayant un titre reconnu, avec tout ce que cela implique. Monsieur Viannay signale à ce propos les distinctions, les catégories – il y en a trois – données dans le fascicule sur les écoles et les titres d'ingénieurs que vient de diffuser l'USIAS, et insiste sur les différents niveaux qui, en début de carrière, en résultent.

Pour en revenir à la question posée par le Chef du Service Formation, avant de lancer quoi que ce soit, il faut que ce dernier aille voir ce qui se fait exactement à Lyon après avoir pris contact avec l'Education Nationale.

Pour terminer ce tour d'horizon concernant les BTSA, M Malroux signale que le projet de construction d'un nouveau LTA à Toulouse (ce qui conditionne le nombre d'élèves formés dans cet établissement) semble reporté à une date indéterminée.

Une classe préparatoire au concours d'Ingénieur militaire des travaux de l'Air a bien été ouverte à l'ENICA à la rentrée 1963/64, elle a accueilli 16 BTSA, 8 de VA et 8 de Toulouse (voir décision 014627 /DTIA/A/1 du 19 septembre 1963) et d'autres candidats soit environ une trentaine de personnes. A l'issue de cette année 11 élèves dont 8 provenant des LTEA ont été nommés Ingénieurs Militaires des travaux de l'Air de 3<sup>ème</sup> classe, au 1<sup>er</sup> octobre 1964 ils ont été affectés en 2<sup>ème</sup> années de l'ENICA. (source JP Tasseau)

## MINISTÈRE DES ARMÉES

Délégation Ministérielle pour l'Armement  
Direction Technique et Industrielle  
de l'Aéronautique

26, Boulevard Victor - PARIS-IX<sup>e</sup>

N° 014627 DTIA/A/1

PARIS, le 19 SEPTEMBRE 1963

**DECISION**

Les anciens élèves des lycées techniques d'Etat aéronautiques de VILLE D'AVRAY et de TOULOUSE, dont les noms suivent, titulaires du brevet de technicien supérieur de l'aéronautique, sont admis à suivre le cours préparatoire au concours d'Ingénieur militaire des Travaux de l'Air à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Constructions Aéronautiques de TOULOUSE pendant l'année scolaire 1963/1964 :

CHEHENSEE	Jean-Pierre	MEYER	Claude
COURIER	Gilbert	MOREL	Jean-Pierre
DUBERN	Pierre	MOUTON	Joseph
DHEILLY	Bernard	POMARL	Daniel
CARREAU	Gilles	SAMSON	Pierre
FAVRE	Claude	TANGUY	Louis
KWASNIEWSKI	Volodimir	TASSEAU	Jean-Pierre
MARTY	Jean-Pierre	THIVET	Jacques

Les intéressés bénéficieront pendant leur scolarité du salaire ouvrier prévu par la D.M. N° 8.862 DTIA/A1 du 12/6/1963 modifiée par la D.M. N° 9652 DTIA/A1 du 28 Juin 1963.

Ce salaire sera versé à compter du 1<sup>er</sup> Octobre 1963 jusqu'à :

- la date de publication des résultats d'admissibilité au concours d'Ingénieur militaire des Travaux de l'Air qui sera ouvert en 1963, en ce qui concerne les candidats qui n'auront pas été déclarés admissibles aux épreuves orales.
- la date de publication des résultats d'admission du concours susvisé, pour les candidats qui n'auront pas été déclarés définitivement admis.
- la date de nomination dans le corps des Ingénieurs militaires des Travaux de l'Air, pour les candidats qui auront été déclarés définitivement admis.

**DESTINATAIRES :**

• ENICA  
• CAR/TOULOUSE pr. Exécution

Le Directeur Technique et Industriel  
de l'Aéronautique

P.O. L'Ingénieur Général CARRY  
Directeur-Adjoint.

## 2.4. Les questions de fond : Qu'est ce qu'un technicien supérieur ? Ses fonctions ? Sa formation ?

Réunion du 2 avril 1963 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy

Participants :

MM Prax (Dassault), Domas (Hispano-Suiza), Pichon, Susini, Clerc (Nord-Aviation), Viannay (SEPR), Mme Drouin (SEREB), Brun, Cuhau (SOREAS), Brégeon (SNECMA), Meiller, Monard (Sud-Aviation), Dufour (Turboméca), Adenot, Malroux(USIAS)

### *Le diplôme d'études supérieures techniques*

Le chef du service formation fait un résumé de cette question. Les notices documentaires de l'UIMM et de l'USIAS qui étaient jointes au PV de la précédente réunion avaient pour but de bien définir les différents niveaux et modes de formation des techniciens supérieurs. (le N° 103 d'avril 1963 du « Bulletin d'information et de documentation scolaires et professionnelles » édité par le BUS contient une fiche très complète sur les divers modes et lieux de formation des « techniciens »).

La question de leur position hiérarchique et de leur statut professionnel est évidemment du domaine de la Commission Main d'œuvre (de l'USIAS) mais, avant de lui transmettre ce problème, il faut le débroussailler et en particulier bien définir les différentes catégories de techniciens supérieurs et surtout des deux qui intéressent particulièrement la profession : les techniciens brevetés supérieurs sortant des LTE Aéronautiques et les possesseurs du DEST du Conservatoire ou du DEST de la promotion supérieure du travail.

Le Président fait remarquer qu'il ne peut être question de prendre position en ce qui concerne les étudiants DEST de Facultés, étant donné que l'industrie est encore incapable de jauger leur valeur puisqu'elle n'en a pas encore reçus. Il a vu d'ailleurs M Reverdy à ce sujet, il n'est pas impossible que l'Université modifie sa manière de voir sur ce point. Mais il est important de bien situer les BTSA des Lycées Techniques ou les DEST du Conservatoire, de bien définir leur position entre les agents techniques et les cadres.

Certains membres de la Commission appuient cette manière de voir et craignent que, si la profession ne définit pas exactement leur place et leur statut, ces jeunes de valeur n'aillent ailleurs ou même que ne se tarisse leur recrutement. D'autres, par contre, signalent qu'il serait dangereux de les classer cadres, ce qui pourrait être l'objectif d'une convention collective. Mais, de toutes façons, on ne peut continuer à rester dans l'expectative et les classer AT2, AT3 ou ATP d'une société à une autre.

Le président signale qu'un projet les concernant est actuellement à l'étude à la SNECMA. Il faut que chacun réfléchisse à la question et envoie au service Formation de l'USIAS, le plus tôt possible, une note exposant ce qui se fait dans son entreprise et de ce qui est à l'étude ou en projet. Le service Formation fera un tableau comparatif et la question sera examinée à nouveau à la prochaine réunion avant d'être envoyée à la Commission de Main d'œuvre.

### *Réunion du 18 juin 1963 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy*

#### *Participants :*

MM Pichon, Clerc (Nord-Aviation), Viannay (SEPR), Brégeon (SNECMA), Noel (SEREB), Meiller (Sud-Aviation), Dufour (Turboméca), Malroux(USIAS)

#### *Compte rendu du Conseil de perfectionnement des lycées Techniques d'Etat Aéronautiques de Ville d'Avray et de Toulouse:*

Le Conseil de perfectionnement commun aux LTEA de Toulouse et Ville d'Avray s'est réuni le lundi 17 juin au Ministère de l'Education Nationale sous la présidence de Monsieur Reverdy.

Mais avant d'en faire le compte rendu, Monsieur Malroux estime nécessaire d'exposer ce qui s'est dit au cours d'une réunion préliminaire qui groupait, le 6 juin, autour de Monsieur Reverdy, MM. Crampe et Maxe, inspecteurs généraux de l'enseignement technique, Monsieur Hammond, sous-directeur au Ministère de l'Education Nationale, le président de la Commission et lui-même.

Cette réunion avait pour but d'examiner les projets de structures des LTEA et la fixation de la durée des études de techniciens supérieurs. Doit-on les former en deux ou en trois ans ? Deux thèses étaient en présence.

Celle de Monsieur Crampe : trois ans ; étant donné le niveau du programme du BTS Aéro, seuls les titulaires du baccalauréat math/technique entrent en 2<sup>ème</sup> année et ne font que deux ans (TS2 et TS3). Tous les autres, anciens élèves des ex-ENP, titulaires du BEI ou d'autres baccalauréats font une année préparatoire (TS1).

Ses arguments étaient les suivants : les résultats obtenus par Ville d'Avray qui applique ce système ; les facilités de recrutement en résultant, puisque tous les élèves bénéficieront de la sécurité sociale étudiant et des bourses de l'enseignement supérieur.

Celle de Monsieur Maxe : deux ans, car le règlement prévoit que la durée normale de formation des techniciens supérieurs est de deux ans (<sup>10</sup>) ; et il existe une sorte de contrat moral avec les ENP qui ont tout particulièrement vocation pour entrer dans les classes de techniciens supérieurs et ce serait le violer que de leur imposer une troisième année préparatoire.

Enfin, il ne faut pas confondre les techniciens supérieurs et les ingénieurs de fabrication qui sont formés en trois ans de scolarité (plus un stage dans l'industrie de neuf mois environ) dans les nouvelles écoles de Brest, Metz, Saint-Etienne, etc,... ou dans certaines écoles privées (Charliat par exemple).

Monsieur Reverdy semblait attendre un arbitrage de la profession tout en penchant lui-même pour la thèse de Monsieur Maxe mais en y apportant des modifications et en acceptant la nécessité pour certains candidats d'une année préparatoire ou de reconversion.

Au lendemain de cette réunion, Monsieur Dugué Mac Carthy a envoyé à Monsieur Reverdy une lettre donnant notre position sur ce point.

A la réunion du Conseil de Perfectionnement des LTEA, cette question de la structure des écoles était le n°1 de l'ordre du jour : Monsieur Crampe a exposé ses arguments pour la préparation du BTSA en trois ans, une année de reconversion pour les élèves des ENP, les titulaires du BEI, du Bac Math Elem, en deux ans pour les titulaires du Bac Math/Technique.

Monsieur Reverdy a repris les arguments donnés par Monsieur Maxe à la réunion du 6 juin en faisant remarquer :

- qu'officialiser la formation des BTSA en trois ans serait un dangereux précédent ;
- que ce sont les techniciens brevetés (c'est à dire actuellement les élèves des ENP) qui ont avant tous les autres, avant même les titulaires du Bac Math/Tech ; vocation à devenir techniciens supérieurs et que cette formation doit normalement se faire en deux ans.

Puis il a lu la lettre de Monsieur Dugué Mac Carthy et s'appuyant sur une note rédigée par l'Education Nationale à la suite de la réunion du 6 juin, a demandé :

---

<sup>10</sup> L'art. 35 du décret 59.57 du 6.1.59 portant réforme de l'enseignement prévoit que le titre de technicien supérieur breveté est la sanction d'un enseignement donné dans des écoles ou des sections spéciales dont chacune a un programme et une durée d'études « appropriés à la spécialité qu'elle enseigne ». Mais le décret du 26.8.57 relatif aux sections de techniciens fixe la durée du cycle des études à deux ans, admettant néanmoins que cette durée peut être « exceptionnellement » modifiée. Comme les BTS ont été obtenus par simple changement de dénomination des Brevets de techniciens type 1952, l'Education Nationale considère que le décret de 1957, bien qu'antérieur à la création des BTS, s'applique toujours.

- que le Conseil de Perfectionnement officialise que la durée de préparation du BTSA se fait en deux ans (TS1 et TS2) et non en trois ;
- et qu'en conséquence il soit reconnu que les techniciens brevetés, s'ils en sont capables, entrent en TS1 ;
- en conclusion, les LTE Aéronautiques recrutent normalement en classe de TS1 : les bacheliers math/technique, les élèves des ENP (et plus tard les techniciens brevetés) et les titulaires du BEI, s'ils sont reconnus aptes à la suite d'un examen probatoire, dont les modalités seront établies par les services de l'Education Nationale. Ceux qui n'auront pas réussi à cet examen ne feront pas une année préparatoire mais une année de reconversion ou de complément.

Quant à la question des bourses au niveau de l'enseignement supérieur et des avantages de la sécurité sociale étudiant, elle sera examinée par le Ministère de l'Education Nationale, mais il n'y a aucune chance d'obtenir satisfaction pour les BEI.

Au fond, Monsieur Reverdy a accepté la solution proposée par Monsieur Dugué Mac Carthy.

A la suite de cet exposé, des questions des membres de la Commission permettent à Monsieur Malroux de préciser certains points : admission en année préparatoire et en TS1, méthode appliquée pour sélectionner ceux qui seront admis en TS1, date de mise en application de ces décisions.

Les autres questions inscrites à l'ordre du jour du Conseil de Perfectionnement commun des LTEA de Ville d'Avray et de Toulouse étaient les suivantes :

- Section préparatoire au concours des ingénieurs militaires des travaux de l'Air. Le projet de cette création a été défini entre le Directeur de l'ENICA et le Directeur du LTEA de Ville d'Avray pour remplacer Cap Matifou, et présenté à la réunion de décembre dernier du Conseil de Perfectionnement. C'est une façon détournée de créer une section d'ingénieurs à Ville d'Avray et différer l'ouverture du concours B de l'ENICA. Mais le projet gouvernemental de fusion des corps d'ingénieurs des trois armées et de création d'une école de préparation unique a mis du plomb dans l'aile à la proposition de MM.Blouin et Cancet. Comme la profession lui est peu favorable, Monsieur Reverdy a décidé d'attendre que la DTIA, ayant mis au point son projet, le fasse remettre à l'ordre du jour.
- Programme hyperfréquence Programme approuvé : c'est une formation de spécialisation d'un an après le BTSA.
- Situation morale et matérielle des établissements :
  - Toulouse : Construction d'un nouvel établissement décidée, manque de professeurs qualifiés ;
  - Ville d'Avray : Crédit de 25 millions d'anciens francs accordé sur les crédits du rectorat pour continuer l'aménagement des laboratoires, corps professoral satisfaisant grâce à l'appoint d'ingénieurs de la profession (ce qui n'a pas été possible à Toulouse, l'ENICA ayant absorbé toutes les ressources locales).
- Placement des élèves en fin d'études : Le Directeur du LTEA de Toulouse signale que certains BTSA vont se diriger vers les ENSA. Ce qui ne fait pas évidemment l'affaire de la profession. Pas de problème de placement pour cette année ; mais Monsieur Boudigues signale que la tendance est en train de s'inverser et il est à craindre que les 250 BTSA prévus chaque année à partir de 1965 aient du mal à se caser.

- La « Société des amis des LTEA » (en cours de formation) pourrait se charger de faire de la propagande pour le recrutement des candidats aux LTEA ; le concours de l'Education Nationale est d'accord d'avance.
- Cours de promotion sociale. Monsieur Cercellet (inspecteur principal de l'Education Nationale, chargé de la promotion sociale) fait le point de cette question :

A la suite de la lettre du Président de l'USIAS, des interventions successives de la Direction Générale, de Monsieur Capelle, du Délégué général à la promotion sociale auprès du premier Ministre et d'autres personnalités auprès du Ministre des Finances et du Contrôle des dépenses budgétaires, on peut considérer la signature comme acquise et elle interviendrait sans doute mercredi soir, jeudi 20 au plus tard.

Monsieur Malroux prend bonne note de cette heureuse nouvelle et demande à Monsieur Cercellet de provoquer une réunion pendant la 1<sup>ère</sup> quinzaine de juillet, de la Commission de sélection des auditeurs du cours à plein temps et de publier le texte administratif réglementant l'attribution de l'indemnité compensatrice de perte de salaire et son mode de perception.

A ce sujet, Monsieur Bregeon demande s'il ne serait pas possible d'étendre la sélection des auditeurs du cours à plein temps à des candidats éventuels ayant suivi une autre voie de préparation, ce qui aurait l'avantage d'ouvrir plus largement le secteur du recrutement.

### *Réunion du 18 février 1964 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy*

#### *Participants :*

MM Prax (GAMD), Bergougnan (Breguet), Moissenet (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Viannay (SEPR), Kerdiles (SEREB), Legrand (SOREAS), Brégeon (SNECMA), Meiller, Autrusson, Monard (Sud-Aviation), Adenot, Guilbot, Malroux (USIAS)

#### *Compte rendu de la dernière réunion du Conseil d'Administration du LTA de Ville d'Avray*

Le Président estime que ce fut une réunion de routine, à laquelle d'ailleurs n'assistait aucun représentant de l'enseignement technique (Monsieur Roger, Inspecteur principal, n'est arrivé qu'à la fin de la séance).

Monsieur Cancet a insisté sur le sacrifice d'équipement que fait le lycée au profit du cours à plein temps de la promotion sociale, ce qui est une conséquence de la convention USIAS/Education Nationale sur le fonctionnement de ce cours (Art.23B). Il demande donc que les industriels augmentent leurs versements au titre de la taxe d'apprentissage.

Devant les objections des représentants de l'industrie, sollicitée de tous côtés (par les LTA de Toulouse et l'ENICA en particulier) il est décidé que dès que le lycée aura établi le budget de fonctionnement du cours à plein temps, une délégation du Conseil d'Administration ira demander une subvention spéciale à la délégation Générale à la promotion Sociale auprès du Premier Ministre.

Au sujet de ce cours de promotion sociale, Monsieur Susini signale à nouveau que Monsieur Cancet ne tient pas au courant les sociétés des résultats obtenus par leur personnel. Après discussion, il est décidé sur la proposition de Monsieur Adenot, que l'USIAS enverra une lettre à Monsieur Cancet lui demandant d'informer les sociétés du comportement de leurs agents aux divers cours de promotion sociale.

### *Enquête de Monsieur Capelle sur l'avenir des techniciens et des techniciens supérieurs.*

Monsieur Malroux informe la Commission que la lettre du Directeur Général de l'organisation et des programmes scolaires, dont le texte a été distribué en début de séance, a été envoyée à l'UIMM, à la chimie, au bâtiment, etc,... dans le but d'obtenir des industries une réponse nette à un problème qui a déjà été examiné en Commission – comme au CNPF ou à l'UIMM - à savoir : « Que vaut exactement le DEST de faculté » ?

Monsieur Bregeon précise qu'en plus des professions, certains ingénieurs ont été directement consultés par Monsieur Capelle : c'est ainsi que Monsieur Prittwitz directeur de l'école professionnelle de la SNECMA en a reçu un exemplaire.

Monsieur Dugué Mac Carthy donne lecture de la lettre de Monsieur Capelle.

Monsieur Pichon estime que nous nous trouvons devant un problème précis, mais il sera difficile de définir exactement la valeur et les possibilités d'emploi des titulaires des DEST de faculté, étant donné qu'il n'y en a encore qu'un très petit nombre en fonction dans l'industrie. D'autre part, certaines expressions des premiers paragraphes sont contestables ; il est faux en particulier de dire que les techniciens destinés à l'industrie aéronautique peuvent être d'intelligence moyenne.

Monsieur Malroux ajoute que l'UIMM souhaite avoir au plus tôt l'avis des différentes professions sur cette question ; l'UIMM estime que nous n'avons pas à répondre sur le paragraphe des rémunérations mais que par contre, nous devons faire connaître nettement l'avis général des professionnels, à savoir que les titulaires d'un BT et à fortiori d'un BTS sont bien supérieur au DEST de faculté. La lettre en question n'examine en effet que le cas des DEST de faculté et non ceux du CNAM ou de la promotion sociale type Grenoble.

Après échange de vues auquel participent plusieurs membres de la Commission, le Président esquisse le schéma de la réponse à faire :

- Il est bien difficile de dire ce que vaudront sur le tas les DEST de faculté, mais pour le moment l'industrie aéronautique préfère les DEST du CNAM et les BTS de l'enseignement technique.
- S'il n'est pas démontré que la création des DEST de faculté est une erreur, il n'en reste pas moins qu'il faudrait uniformiser et homogénéiser leur formation ; d'une faculté à une autre, le contenu d'un DEST de même appellation diffère.
- Ceci dit, ce n'est que dans cinq ans que l'industrie pourra dire exactement ce que valent les titulaires du DEST de faculté.

En conclusion, comme cette question a déjà été examinée à la Commission, l'USIAS répondra directement à l'UIMM pour la profession.

#### *Réunion du 16 juin 1964 présidée par Monsieur Moissenet, VP de la Commission formation*

##### *Participants :*

MM Prax (GAMD), Aumont (Breguet), Domas (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Legrand (SOREAS), Brégeon (SNECMA), Meiller, Autrusson, (Sud-Aviation), Malroux (USIAS)

## *Compte rendu de la dernière réunion du Conseil d'Administration du LTEA de Ville d'Avray*

Le Conseil d'administration du LTEA de Ville d'Avray s'est réuni le 29 mai dernier pour examiner le rapport financier concernant l'année 1963 (équilibre des dépenses et recettes, demande de crédits supplémentaires pour le chauffage et l'aménagement des locaux nouveaux, insuffisances des crédits de nourriture revalorisés en 1964, insuffisances des crédits d'équipement de l'internat).

Le Directeur du LTEA a ensuite présenté la situation morale de son établissement.

Le recrutement des élèves est actuellement une question préoccupante (une circulaire récente de M.Capelle, attire l'attention des membres de l'enseignement sur les difficultés de recrutement de tous les techniciens et techniciens supérieurs). La source d'inquiétude principale réside dans le recrutement des bacheliers Math/Tech dont les meilleurs sont très sollicités par les écoles d'ingénieurs, en particulier les nouvelles écoles de Brest, Belfort, etc.

Aussi un gros effort de propagande vient d'être entrepris ; il faut espérer que la diffusion de la notice sur les lycées Aéronautiques aura d'heureux résultats : revalorisation du niveau de recrutement par introduction plus massive de bachelier Math/Elèm en classe de reconversion, par admission de bacheliers Math/Tech ayant de meilleures connaissances de base, par admission de très bon brevetés techniciens (ex BEI) suffisamment forts en mathématiques et en physique pour suivre leur classe de reconversion.

Tant que la structure des LTEA ne permettra pas aux meilleurs BTSA d'accéder à une école d'ingénieurs – comme cela existe pour les BTSE - le recrutement des Lycées sera difficile et déficient. Mais faudrait-il aussi que les LTEA ne soient pas condamnés à former des chômeurs. Les élèves – aussi bien à Toulouse qu'à Ville d'Avray - sont très affectés de n'avoir pas trouvé d'embauche aussi facilement que les années passées, surtout dans les spécialités propulseurs et cellules.

Cet exposé par le Chef du Service Formation des conclusions du Conseil d'Administration de Ville d'Avray, retient l'attention de la Commission et soulève une discussion générale.

M.Bregeon estime que la situation des BTSA est liée à celle du statut des techniciens supérieurs dans les entreprises ; il faudra bien arriver à les situer convenablement à un niveau hiérarchique correspondant à leur compétence.

M.Adenot pense que la position des techniciens supérieurs dans l'industrie française est liée au problème d'équivalence des titres dans le marché commun et d'ici quelques années un alignement européen des dénominations professionnelles leur donnera le titre et la place qui doivent être les leurs.

M.Pichon évoque le cas de l'ENREA de Clichy.

M.Malroux rappelle qu'il existe pour les techniciens supérieurs de l'aéronautique une voie réglementaire d'accès à un titre d'ingénieur - celle du concours B de l'ENICA- mais son Directeur refuse toujours de l'ouvrir, et le DTI n'a toujours pas créé de Conseil de Perfectionnement pour cette école ; aussi ne sait-on plus à qui présenter cette question.

M.Moissenet arrête cette discussion qui s'écarte du problème, et rappelle que cette question des débouchés possibles vers un titre d'ingénieur des techniciens supérieurs a déjà fait l'objet d'études diverses de la Commission au cours des années

précédentes. Si les résultats du recrutement 64 se montraient catastrophiques, il faudra reprendre cette question à la rentrée d'octobre.

Le Président demande au Chef du Service Formation de faire le point des résultats obtenus par le cours de promotion sociale à plein temps.

- Les 10 élèves du cours ont été présentés au début du mois à l'examen public du BTSA. Neuf ont été déclarés admissibles aux épreuves orales et pratiques, ce qui est un très beau succès.
- Sur les 25 auditeurs assidus du cours préparatoire, on peut penser qu'on en sélectionnera une douzaine pour le cours à plein temps 64/65.

Pour augmenter le rendement de ce cours et diminuer le prix de revient des élèves, M.Cancet propose d'y admettre après examen des auditeurs qui auraient suivi pendant deux ans des cours préparatoires au Conservatoire ou dans des Centres annexes.

- Le service Formation de l'USIAS est très favorable à cette extension du recrutement ; tous les membres de la Commission approuvent cette proposition qui ne peut être que bénéfique.
- L'examen qui serait du niveau des connaissances des baccalauréats Math/Elèm, Math/Tech, comprendrait une épreuve de mathématiques, une de physique et une de dessin ; il pourrait avoir lieu dans la 1ère décennie de juillet, car le Conseil de perfectionnement du Cours de promotion sociale doit se réunir avant la fin du mois pour sélectionner les élèves de la promotion 64/65 et il y a tout lieu de croire qu'il acceptera cette proposition d'extension ; l'on peut donc penser que le Ministère de l'Education Nationale et la délégation Générale de la Promotion Sociale entérineront sa décision.
- Quant aux difficultés de placement, elles sont dues aux incertitudes momentanées de la profession et aussi aux réticences actuelles devant l'embauche de jeunes ingénieurs ou techniciens pour quelques mois seulement, avant le service militaire. Que les garçons sortant de Ville d'Avray ou de Toulouse aillent faire leur service militaire, dans dix-huit mois, on y verra plus clair.

Pour clore cette question, Monsieur Malroux signale que les indemnités compensatrices de perte de salaire pour les trois trimestres scolaires ont été ordonnancées par le Ministère de l'Education Nationale et que les versements aux intéressés vont intervenir sous peu. Ceux-ci pourront alors rembourser leur société.

#### *Cours de perfectionnement pour techniciens ;*

Monsieur Moissenet estime qu'avant d'examiner les points indiqués au procès verbal de la dernière réunion, et de leur trouver des solutions, il est nécessaire de bien définir ce que nous voulons que soient exactement ces cours de perfectionnement. Doivent – ils être de véritables cours de perfectionnement s'étendant suivant une progression définie sur une certaine période, ou bien de simples conférences d'information sur des sujets choisis ?

Après discussion, la Commission est d'avis que ces cours doivent être des cours de perfectionnement répartis sur plusieurs semaines, permettant aux auditeurs d'approfondir leurs connaissances dans un des sujets choisis (machines aérothermiques, espace, atome, etc,...).

En conséquence, il serait nécessaire de connaître au préalable les besoins des clients éventuels. Combien y aurait-il d'auditeurs ? Quels seraient les sujets traités (il semble que pour démarrer, nous pourrions nous contenter de 2 ou 3 thèmes) ? Quel en serait le programme ? Qui les professerait (en principe des ingénieurs des entreprises) ? Comment serait assuré leur financement ? Où seraient-ils dispensés ?

Monsieur Pichon pense qu'il faudrait s'inspirer de ce que fait l'association des Amis de l'ENSAE pour des stages de perfectionnement et qu'il serait sans doute possible de transposer le cycle de ces cours au niveau des techniciens supérieurs. Ce serait au moins une solution d'attente permettant de démarrer.

Cette suggestion recueille l'accord de la Commission. L'Association des Anciens Elèves des LTEA pourrait donc se charger de l'étude de cette question et voir avec Monsieur Cyvogt comment extrapoler les stages de Sup'aéro (programme, choix des cycles) ; les programmes établis seront soumis à la Commission puis envoyés aux entreprises, à qui nous demanderons des ingénieurs professeurs.

Monsieur Bregeon signale que Monsieur Carlier, détaché par le CUCES et l'OECE à la SNECMA pour faire une étude sur le recyclage des ingénieurs et des techniciens pourrait participer, car c'est tout à fait dans son rôle, à la mise au point de ces cours et nous faire des propositions de programmes.

L'USIAS demandera à l'ENSAE le prêt d'un amphithéâtre, les cours devant avoir lieu le samedi matin. Les professeurs seront des ingénieurs des entreprises de la profession.

En conclusion, il faut arriver à connaître les desiderata de perfectionnement de nos techniciens pour pouvoir choisir parmi les sujets énumérés au procès verbal de la dernière réunion, les deux ou trois thèmes qui seraient étudiés l'an prochain, chercher à savoir le nombre de techniciens qui seraient intéressés par ces cours qui pourraient s'étendre sur six mois ou sur une année scolaire - en adaptant certains cours de perfectionnement de SupAéro.

C'est à l'Association des anciens élèves des LTEA de faire ce premier travail de défrichage. Il faudrait aller assez vite pour pouvoir démarrer à la rentrée.

### *Réunion du 16 février 1965 présidée par Monsieur Dugué Mac Cathy*

#### *Participants :*

Prax (GAMD), Bergougnan, Aumont (Breguet), Bournazel, Brosse (CNES), Moisent, Domas (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord Aviation), Vianney (SEPR), Legrand (SOREAS), Bregeon (SNECMA), Meiller, Monard (Sud-Aviation), Malroux (USIAS.)

#### *Formation des techniciens supérieurs.*

Monsieur Malroux fait un petit résumé de la question et des circonstances qui ont conduit de nouveau l'UIMM à interroger les diverses professions de la métallurgie sur ce sujet. Au début de l'an dernier (Cf. PV de la 81ème réunion) nous avons déjà répondu à l'UIMM à propos de l'enquête du Directeur Général de l'organisation et des programmes scolaires sur la valeur respective des BTS et des DEST et notre réponse, qui était d'ailleurs analogue à celle de presque toutes les professions, était en résumé la suivante : si pour le moment l'industrie aéronautique préfère embaucher des BTS provenant des établissements de l'enseignement technique ou du CNAM, elle ne condamne pas a priori les DEST de la Faculté qui lui paraissent valables dans les bureaux de calcul, de programmation et la recherche appliquée, à condition que leurs programmes établis par l'enseignement supérieur soient uniformisés d'une faculté à l'autre et mis au point avec les professions intéressées.

Comme l'explique la lettre 337/27 F/65 du 27 janvier 1965, l'UIMM veut reprendre l'exposé de la question auprès des instances gouvernementales de l'Education Nationale, en partant de la définition subjective des fonctions et postes confiés effectivement à des techniciens supérieurs dans les diverses professions. C'est la raison des questions posées.

Il faut donc commencer par définir ce que nous entendons par technicien supérieur ; Monsieur Malroux propose que soit adoptée la définition présentée par Monsieur Cancet, Directeur du LTEA de Ville d'Avray à la journée de Royaumont de septembre 1962, et qui avait à l'époque recueilli les suffrages des représentants de la profession.

Monsieur Bregeon signale que la SNECMA a légèrement modifié cette définition et remplacé l'expression « avoir une connaissance technologique du travail pratique dans tous les métiers de base » par « avoir une connaissance approfondie de sa spécialité ainsi que des aperçus des spécialités voisines ».

Monsieur Dugué Mac Carthy reprend la lettre adressée aux membres de la Commission et propose de traiter l'une après l'autre les différentes questions qui sont posées.

La lettre suivante adressée à l'UIMM sur la formation des techniciens supérieurs annexée au compte rendu reprend en détail le contenu de la discussion au sein de la Commission.

*Monsieur le Directeur,*

*Avant de répondre aux questions que vous nous avez posées sur l'utilisation et la formation des techniciens supérieurs, il nous semble utile de préciser les points suivants :*

*Les techniciens supérieurs sont des créations récente (1959 – réforme de l'enseignement) ; les postes correspondants n'existaient pas il y a quelques années ; peut-être étaient-ils alors confiés soit à des ingénieurs sous-employés (surtout en début de carrière) soit à des techniciens utilisés au dessus de leur compétence réelle (malgré leur expérience et leur ancienneté) ? Quoi qu'il en soit, leur insertion récente soulève des difficultés et pose des problèmes d'utilisation entre les ingénieurs et les agents techniques ; il faut bien reconnaître qu'ils n'ont pas encore « fait leur trou » dans l'industrie, et que dans certaines entreprises des ingénieurs ont une certaine répugnance à utiliser des techniciens supérieurs (quelle que soit leur origine). Les causes de ces difficultés sont d'ailleurs différentes d'une entreprise à une autre (et sans doute d'une branche industrielle à une autre) et semble être fonction des dimensions et de la structure des entreprises, de leur organisation hiérarchique, des idées de leurs directions techniques ou autres. Elles tiennent parfois à la faible ancienneté actuelle des techniciens supérieurs, et influent aussi bien sur l'évolution de leur carrière que sur l'éventail des postes offerts.*

*Dans ces conditions il nous semble bien difficile de donner un portrait complet et exact du rôle, des fonctions, des postes des techniciens supérieurs pour l'ensemble de l'industrie aérospatiale. Néanmoins les éléments donnés ci-après recueillent l'approbation de la majorité de la profession, bien qu'ils puissent sur certains points être l'objet de discussions ou d'adaptations particulières.*

*1°) Fonctions confiés à des techniciens supérieurs*

*La définition généralement adoptée dans la profession est la suivante :*

*Le technicien supérieur a pour mission générale d'être l'interprète et l'intermédiaire entre d'une part la conception scientifique de l'ingénieur et d'autre part les différents échelons de développement et de réalisation pratique de cette conception.*

*Ceci implique particulièrement que le technicien supérieur :*

- puisse suivre, éventuellement détailler, et appliquer la pensée mathématique de l'ingénieur ;*
- ait une connaissance approfondie de sa spécialité ainsi que des aperçus sur les spécialités voisines et soit apte à utiliser efficacement les différents moyens d'expression et de mesures nécessaires pour l'exécution des travaux en cause ;*
- soit également apte à rédiger à l'intention de l'ingénieur des procès-verbaux et compte rendus possédant la précision et la clarté d'expression désirable.*

*2°) Postes affectés à des techniciens supérieurs.*

*De cette définition on déduit que :*

- l'on doit pouvoir confier à un technicien supérieur des essais coûteux et difficiles, à charge pour lui de les coordonner et d'en avoir la responsabilité ;*

- le technicien supérieur doit également être capable de suppléer au manque de pratique de l'ingénieur et de suivre ses développements.

On trouvera donc des techniciens supérieurs toujours sous les ordres directs d'un ingénieur et en collaboration étroite avec celui-ci au développement des matériels, au montage, aux essais, dans les laboratoires, les bureaux d'études ou de calculs, les services d'avant-projets, dans les postes exigeant une part de conception et une part de rédaction de procès verbaux.

### 3°) Formation reçues par les titulaires de postes de techniciens supérieurs

#### a - formation enseignement technique

- diplôme d'ENP ;
- brevet de techniciens supérieurs (aéronautique, électronicien, physicien, chimiste, fabrication mécanique, bureau d'études) ;
- diplôme ETACA (ancienne version).

#### b- CNAM

Diplôme d'études supérieures techniques.

#### c – Autodidactes

ayant subi en général dans leur entreprise un examen ou une épreuve ayant pour but de contrôler les connaissances scientifiques générales et les connaissances pratiques des intéressés.

#### d - enseignement supérieur

DEST de faculté (quelques unités pour le moment)

### 4°) Appréciation sur les diplômes actuels de BTS

La définition des programmes de BTS est dans l'ensemble satisfaisante, mais il faudrait réviser certains d'entre eux pour homogénéiser les niveaux d'études des différentes spécialités. Certains BTS ne nécessitent pas actuellement une formation générale aussi poussée (en particulier dans les matières scientifiques de base, par exemple en mathématiques), que ceux de physicien, de chimiste et surtout d'électronicien et d'aéronautique. Ce nivellement des brevets de technicien supérieur est indispensable pour faciliter l'insertion des techniciens supérieurs dans l'industrie.

Le BTSa représente une formation excellente, le programme d'études a été établi à la suite d'une collaboration étroite entre l'enseignement technique et la profession, des cadres industriels professent d'ailleurs dans les deux lycées techniques aéronautiques, présentent les sujets et sont membres des jurys d'examen.

### 5°) Formation souhaitée pour les techniciens supérieurs

De la définition des fonctions des techniciens supérieurs et des exemples de postes qui leurs sont attribués découle qu'il y a deux types de techniciens supérieurs :

Ceux qui, adjoints à un ingénieur de production, travaillent dans les services de fabrication ou d'essais, la formation des BTS prépare d'emblée à ce genre de fonction ; seules les méthodes de l'enseignement technique peuvent leur donner les connaissances nécessaires du point de vue expérimental et pratique.

Ceux qui, collaborateurs d'un ingénieur d'études ou de recherche, travaillent dans les bureaux d'études ou de calculs ou dans les services d'avant-projets. La formation des BTS, tout en leur donnant des connaissances techniques pratiques, peut révéler une certaine carence en ce qui concerne les connaissances scientifiques générales de base (mathématiques, aérodynamiques, thermodynamique, etc,...) Il semble préférable que ces agents aient une formation universitaire et sans doute est-ce là la place des titulaires de DEST de faculté (qui ne l'oublions pas, devraient normalement avant obtention de leur diplôme avoir effectué dans l'industrie un stage de neuf mois, qui s'il était bien conçu, pallierait leur manque de connaissances techniques pratiques).

Il y a donc à notre sens deux voies pour la formation des techniciens supérieurs et il ne faut pas chercher à rapprocher les BTS et les DEST : ils répondent à deux objectifs différents. Mais dans une profession aussi évolutive que l'industrie aérospatiale, le critère de base de toute formation de technicien supérieur doit être la faculté d'évoluer, une telle aptitude ne pouvant de plus en plus que résulter de la possession par les intéressés d'une formation théorique importante dans les domaines scientifiques et techniques.

6°) Problème de la carrière des techniciens supérieurs.

Actuellement la position hiérarchique des techniciens supérieurs varie suivant les entreprises ( Les conventions collectives ne comportant aucune mesure particulière à leur égard). Dans certaines ils sont « assimilés cadres » ou « cadres techniques » ; dans d'autres ils débutent comme agents techniques ; enfin dans une troisième catégorie d'entreprises ils sont « intermédiaires », classés ou non dans un groupe particulier, avec ou non une garantie d'évolution de carrière vers la position « cadres ».

Cette diversité prouve bien les difficultés rencontrées pour mettre en place les techniciens supérieurs dans la hiérarchie actuelle des entreprises et leur donner les possibilités de carrière auxquelles leur formation et leur valeur leur donnent droit. De toute façon, la formation des techniciens supérieurs ne doit pas être un « cul de sac » et ils doivent avoir la possibilité de devenir « cadre ». Il semble bien qu'il ne puisse y avoir trop de difficultés pour ceux ayant un DEST. Mais il n'en est pas de même pour les titulaires d'un BTS. Faute d'équivalence de diplômes, ils doivent repartir à zéro, même pour un diplôme du CNAM, et les seules possibilités d'évolution qui leur sont actuellement ouvertes sont celles d' « ingénieur-maison ». Il serait souhaitable que les diplômés de BTS (une fois qu'ils auront été mis au même niveau) ou certains d'entre eux tout au moins (si ce nivellement n'est pas obtenu) donnent lieu à certaines équivalences ou à certaines dispenses pour l'obtention des diplômes du CNAM ou de l'Université. Les BTS de physicien et de chimiste ont obtenu déjà certaines équivalences.

Ce problème de la carrière dans l'entreprise se rattache d'ailleurs à celui de l'équivalence des titres européens. Nous pouvons certifier, à la suite de comparaisons précises faites entre les programmes des cours et les sujets d'examens avec les professeurs et les élèves du Lycée Technique d'Etat de Ville d'Avray et la section aéronautique de la Staaliche Ingenieurschule für Maschinennwesen d'Aix la Chapelle que les BTSA français et les « fachingenieur » allemands ont exactement le même niveau de connaissances et les mêmes possibilités professionnelles.

## 2.5. Le débat sur les Instituts universitaires de technologie s'installe. Les réactions.

Réunion du 16 novembre 1965 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy

Participants :

MM Prax (Dassault), Aumont (Breguet), Bournazel, Maraudon (CNES), Moissenet, (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Ponchin, Kerdiles (SEPR), Pelle (SEREB), Legrand (SOREAS), Poyet (SNECMA), Meiller, Monard, Mukon (Sud-Aviation), Malroux (USIAS.)

Compte rendu de la réunion du Conseil de Perfectionnement des LTEA du 6 octobre 1965.

Monsieur Malroux fait le compte rendu de cette réunion, qui au début a été présidée par Monsieur Théron, Directeur de la Pédagogie, des enseignements scolaires et de l'orientation.

En ouvrant la séance, Monsieur Théron a indiqué que la réforme de l'enseignement supérieur actuellement à l'étude au Ministère de l'éducation nationale comportait la création d'établissements nouveaux les « Instituts Universitaires de Technologie ».

Cette décision entrainera la fermeture des sections de techniciens supérieurs des lycées techniques et peut-être celle des INSA. Certainement les lycées techniques aéronautiques seront englobés dans les IUT. Toulouse deviendra probablement un centre important. Mais de toute façon, quelques soient les modalités de la réforme en cours, on continuera, peut-être sous une autre appellation, de former des techniciens supérieurs de l'aéronautiques.

Les nouvelles structures prévues mettront fatalement en cause l'existence de l'actuel conseil de perfectionnement. Il y aura sans doute un conseil de perfectionnement unique pour tous les IUT avec des sections régionales. Quoiqu'il en soit il est convenu qu'il subsistera sous sa forme actuelle jusqu'à nouvel ordre et qu'il peut traiter en toute conscience de sa validité des questions prévues à l'ordre du jour.

Monsieur Crampe, Inspecteur Général, a demandé qu'un texte officiel prolonge la durée du mandat du présent conseil qui a régulièrement pris fin au début de l'année. Monsieur Théron a donné son accord. Le représentant de l'USIAS a demandé que la désignation des six membres représentant les employeurs prévus par l'arrêté ministériel du 9 mars 1960 fixant la composition du conseil soit effectuée en indiquant impersonnellement des titulaires de fonctions et non pas en utilisant des appellations nominatives. Il a été convenu qu'il ferait parvenir au secrétariat du conseil une liste établie de cette façon. Il a aussi été convenu que les salariés adresseraient également une liste analogue.

Sur ce Monsieur Théron, appelé par d'autres réunions, a cédé la présidence à Monsieur Crampe. Et après avoir approuvé le procès verbal de la précédente réunion (qui était le 17 juin 1963 !) le conseil est passé à l'application des nouveaux programmes, c'est à dire du programme qui avait été établi par la profession dans le courant de 1961, avalisé par un arrêté ministériel du 4 avril 1963 et enseigné depuis deux ans.

Le représentant de l'USIAS a fait part de ses projets de modifications légères du programme de l'option propulseur et de celui de l'option équipement. Monsieur Crampe a obtenu facilement l'accord du conseil et il est entendu que des que l'USIAS aurait précisé ses modifications (il manque la réponse de Turboméca et Hispano), la commission des programmes sera réunie à la diligence des Services de l'Education Nationale.

Monsieur Duchevalard a demandé des simplifications à l'intérieur du programme commun aux trois options ; il le juge trop vaste, trop confus ; il faudrait le moderniser en abordant plus profondément le domaine spatial. Tout cela sera examiné par la commission des programmes, mais en 1965/1966, on suivra le programme actuel.

Puis les Directeurs des deux lycées ont résumé leur rapport moral sur la situation de leur établissement. Messieurs Duchevalard et Sadoc (Directeur des études à Ville d'Avray, remplaçant Monsieur Cancet malade) ont été d'accord pour reconnaître que le niveau de recrutement s'améliore, que si le placement des élèves ne pose pas encore trop de problèmes, bien qu'il ait été plus difficile en 1965 qu'en 1964, tout le monde a pu être casé (affirmation contre laquelle s'est élevé le représentant des anciens élèves qui a signalé que huit BTS cellule et quinze BTS propulseur n'avaient pas trouvé de place).

A ce propos le conseil a été unanime pour attirer l'attention du Ministre de l'Education Nationale sur le problème de l'insertion des BTS dans la hiérarchie industrielle, du fait que les conventions collectives ignorent le terme « technicien supérieur », et a émis un vœu demandant au Ministre d'obtenir que les titulaires du brevet de technicien supérieur soient classés dans les conventions collectives « à la place qui leur revient ». Le conseil a aussi demandé – une fois de plus – que les élèves des classes de reconversion bénéficient des bourses et de la sécurité sociale étudiant.

Monsieur Malroux a renouvelé l'offre de stages d'information en usine pour les professeurs des LTEA. Messieurs Cervelet (Inspecteur principal chargé de la promotion sociale) et Malroux ont demandé que soit organisé à Toulouse un cours de promotion supérieure du travail analogue à celui de Ville d'Avray.

Monsieur Duchevalard a été chargé de voir comment cette mise en route pourrait être réalisée.

L'association des anciens élèves a fourni un certain nombre de renseignements sur les situations occupées par les BTSA (voir annexe I)

### Annexe I

Statistiques sur la situation des anciens élèves  
des "lycées techniques aéronautiques de Toulouse et Ville d'Avray".

-----  
Nombre d'élèves sortis à ce jour : 1 580.

Statistiques établies sur cinq secteurs industriels :

PARIS	pour 54 % des anciens élèves.			
TOULOUSE	"	35 %	"	"
MARSEILLE	"	6,5 %	"	"
SAINTE-NAZAIRE	"	3,5 %	"	"
BOURGES	"	2 %	"	"

Répartition par branches industrielles spécialisées :

	Aéronautique	Métallurgie	Nucléaire	Electronique	Admin.
PARIS	72 %	0,5 %	17 %	6 %	2 %
TOULOUSE	91 %	3,5 %	chimie 3,5%		1,5 %
MARSEILLE	100 %				
SAINTE-NAZAIRE	100 %				
BOURGES	94,5 %	5,5 %			

Répartition par secteurs industriels :

	Bureau d'études	Fabrication	Essais	Avant Projet	Contrôle	Commercial Adminis.
PARIS	34,5 %	8,5%	33 %	10 %	6 %	8 %
TOULOUSE	42 %	33 %	11 %	7 %	6 %	1 %
MARSEILLE	30,5 %	51,5 %	10 %	3 %		4 %
SAINTE-NAZAIRE	15,5 %	57,5 %	15,5 %		7 %	4 %
BOURGES	44,5 %	50 %			5,5 %	

Positions Hiérarchiques :

	Cadres	Assimilés Cadres	AT 3	Avant Sce militaire	
				(	AT 2
PARIS	40 %	15	30 %	(	15 %
TOULOUSE	20 %	20 %	21 %	)	39 %
MARSEILLE	25 %	20 %	10 %	(	45 %
SAINTE-NAZAIRE	10 %	10 %	20 %	)	40 %
BOURGES	20 %	35 %	15 %	(	30 %

NOTA - Le % cadres et assimilés est d'environ 80 % pour les promotions ayant 5 ans ou plus d'expérience industrielle au retour du Sce militaire.

Monsieur Crampe a informé le conseil que si la création d'une section terminale d'ingénieurs était envisagée pour les meilleurs élèves obtenant le BTSA, cette création aurait certainement lieu à Toulouse à cause des règles imposées par la doctrine de décentralisation.

Le conseil a finalement décidé de se réunir à nouveau en février 1966, et tout le monde s'est congratulé en pensant à la déclaration du Directeur Théron « *rien ne sera changé à vos BTSA* ».

### *Les conséquences de la réforme de l'enseignement sur la formation des techniciens supérieurs (BTSA et IUT)*

Le Président demande à Monsieur Malroux de raconter, avant de passer à son exposé, dans quelles conditions il a appris le déclenchement de cette réforme.

Le 6 octobre la conseil de perfectionnement des LTEA se déroule comme il a été exposé ci-dessus.

Le 15 octobre Monsieur Duchevalard, Directeur du LTEA de Toulouse, alerte par téléphone l'USIAS. Un Institut Universitaire de Technologie de construction mécanique étant ouvert le 18 octobre à Toulouse, le Directeur de l'INSA de Toulouse nommé Directeur de cet IUT est venu au LTEA de Toulouse faire du débauchage parmi les élèves pour recruter des étudiants pour son institut.

Monsieur Duchevalard n'a pu que s'incliner ayant reçu l'ordre de collaborer de Monsieur Campa (Inspecteur Général de l'Enseignement Technique). La formation donnée dans cet institut n'aura rien d'aéronautique ; le programme doit être établi par une commission pédagogique mixte, mais il portera sur la construction mécanique en général.

C'est l'USIAS qui a prévenu de cette innovation Monsieur Crampe, vice-président du conseil de perfectionnement et Monsieur l'Ingénieur Général Pascaud, Secrétaire permanent du conseil.

Depuis cette date deux réunions à l'UIMM ont permis de faire le point. Monsieur Bernard (Conseiller permanent auprès du Directeur de l'enseignement supérieur) a reçu le Président Dugué Mac Carthy et monsieur Malroux le trois novembre pour leur exposer la philosophie et la finalité de la réforme. La commission mixte de l'IUT de Toulouse a été constituée. Monsieur Dufour, Directeur de l'usine Sud-Aviation de Toulouse en fait partie en tant qu'industriel toulousain mais non comme représentant de l'aéronautique.

Ces renseignements donnés, Monsieur Malroux fait le point de la réforme. La formation des techniciens supérieurs (ou des ingénieurs techniciens, comme on envisage de les appeler) sera dorénavant assurée dans les IUT ; cette formation dans les IUT remplacera aussi celle des DEST dans les facultés.

En effet dans le cadre de la réforme générale de l'enseignement du second degré et de l'enseignement supérieur le gouvernement a décidé que :

- des Instituts Universitaires de Technologies donneront aux bacheliers une formation technique supérieure ;
- l'orientation des étudiants vers les IUT ou vers les facultés sera déterminée au niveau du baccalauréat ;
- la formation donnée dans les IUT sera plus concrète que celle des facultés et sera dispensée en deux ans.

Une commission ministérielle a été chargée de définir les modalités de la mise en œuvre de ces IUT. Cette commission composée de treize représentants de l'Education Nationale, cinq hauts fonctionnaires et seulement trois représentants des milieux industriels, s'est réunie entre janvier et juin 1965.

Des conclusions des travaux de cette commission il faut retenir qu'il est nécessaire de former, à un niveau intermédiaire entre le baccalauréat et le diplôme d'ingénieur des

grandes écoles, des « titulaires de postes » ayant pour rôle d'être les collaborateurs directs de l'ingénieur ou du cadre supérieur, de traduire dans le concret les conceptions de l'ingénieur, de transmettre et d'interpréter éventuellement les instructions générales des responsables, aussi bien dans la production, la recherche que la gestion.

Monsieur Malroux fait remarquer que cette définition correspond parfaitement à celle que la Commission avait établie en son temps pour caractériser les fonctions de nos BTSA.

La commission ministérielle a décidé que les spécialités dans lesquelles serait assurée cette formation de technicien supérieur devraient être assez larges pour permettre une orientation vers de nombreuses professions et surtout pour faciliter leur reconversion éventuelle. Elle a estimé que pour toute l'économie nationale une quinzaine de spécialités étaient suffisante. En particulier pour le secteur secondaire, on peut envisager les sept spécialités suivantes :

- Génie civil ;
- Construction mécanique ;
- Energétique/électrotechnique ;
- Electronique/automatisme ;
- Génie chimique ;
- Biologie appliquée ;
- Métrologie de laboratoire.

Pour le secteur tertiaire on peut envisager quatre ou cinq spécialités (gestion des entreprises, gestion des collectivités, informatique, relations publiques).

La Commission posant en principe que le nombre de ces spécialités devait être limité, a néanmoins accepté la possibilité de création de spécialités nouvelles si le besoin s'en faisait sentir et envisagé, dans quelques cas, une séparation en options en fin de scolarité. Mais elle a beaucoup insisté sur les difficultés et les inconvénients majeurs présentés par une spécialisation fine.

Un IUT pourra être créé dans chaque université (celle de Paris en ayant deux, et deux ou trois n'en ayant pas). Chacun de ces établissements aura autant de départements que de spécialités offertes, la création de celles-ci étant fonction à la fois des besoins nationaux et du contexte industriel régional.

Un département pourra accueillir 100 à 150 élèves chaque année. L'horaire hebdomadaire sera de 30 heures (6 heures de culture générale, 7 heures de technologie, 7 heures de travail dirigé sur le cours de technologie, 10 heures d'atelier et de laboratoire) plus une quinzaine d'heures de travail personnel. L'année s'étendra sur 42 semaines dont 8 semaines de stages professionnels, qui auront lieu vers le mois de février.

Les études seront sanctionnées par un diplôme universitaire de technologie (DUT) qui conformément aux traditions de l'enseignement supérieur, sera délivré à la suite d'examens organisé dans chaque institut par le corps professoral de l'institut.

Les étudiants DUT les mieux doués pourront continuer leurs études et s'orienter vers la faculté ou les grandes écoles. La commission ministérielle admet que 20% des DUT continueront ainsi leurs études.

Les enseignements préparant au BTS ou au DEST seront supprimés au fur et à mesure de la création de nouveaux IUT.

Les INSA aussi subiront les conséquences de cette réforme, il est envisagé de les transformer à la fois en IUT et en établissements de perfectionnement conduisant les meilleurs DUT au diplôme d'ingénieur.

Un projet de décret portant création de ces IUT est en instance de signature. Mais, avant même qu'il soit promulgué, le Ministère de l'éducation nationale a décidé d'entreprendre une expérience préliminaire. Cinq IUT expérimentaux ont ouvert à la mi-octobre :

- Génie chimique à Rouen ;
- Construction mécanique à Toulouse ;
- Biologie appliquée à Nancy ;
- Génie civil à Chevreuse,

avec des sections restreintes dont les élèves proviennent soit de sections de techniciens supérieurs de lycées techniques, soit de facultés (étudiants préparant des DEST) soit d'INSA. C'est le cas en particulier pour l'IUT de Toulouse (Directeur Monsieur Farran, Directeur de l'INSA) dont la quarantaine d'élèves proviennent du LTEA ou de l'INSA.

Chaque expérience est suivie par un comité d'études en cours de constitution chargé de définir précisément les programmes en les rédigeant dans l'esprit de l'enseignement supérieur, les contours des spécialités enseignées, la répartition des matières enseignées dans l'horaire imposé, les stages professionnels (dans les ateliers spéciaux de la FPA ou dans les entreprises ? au niveau ouvrier ? au niveau technicien ?), les niveaux de départ ( le baccalauréat, mais lequel ? avec ou sans classes de reconversion ?). Ces comités doivent remettre leur rapport en juin 1966 et faire toutes propositions jugées constructives.

Voici les principales innovations de la réforme. Monsieur Malroux insiste sur la nature du vrai problème de la réforme de l'enseignement professionnel : c'est celui de l'objectif à atteindre, des débouchés à envisager et des moyens à employer pour répondre aux besoins des utilisateurs. L'Université doit comprendre qu'elle ne peut pas se borner à confectionner des diplômés sans se préoccuper de savoir à quoi ils serviront et il rappelle la phrase de Gaston Berger « l'Université n'est pas en elle-même sa propre fin, elle est faite pour la vie ».

La finalité des enseignements des grandes écoles et des IUT doit être de préparer des professionnels pour l'économie nationale et en particulier pour l'industrie.

La formation polyvalente donnée dans un département d'IUT ne sera pas la partie commune des divers programmes de BTS mais un programme entièrement nouveau. Il est bien évident qu'il est impossible d'amalgamer des programmes de niveaux très différents. C'est très net en prenant l'exemple du DUT de construction mécanique qui doit remplacer les sept BTS de la mécanique (BTS de bureau d'études des constructions mécaniques, BTS en construction métalliques, BTS en construction navale, BTS de traitements thermiques et métallographiques, BTS en micromécanique, BTS de fabrication mécaniques, BTS en instruments d'optique et de précision, BTS aéronautique).

Les uns comme notre BTSA sont déjà des DUT (2 ans d'études après le baccalauréat mathématiques/technique), d'autres sont au niveau de l'ancienne première partie du baccalauréat. En outre certains correspondent à des besoins réellement marginaux (2 à 15 brevetés par an). Il est bien évident que certains BTS ont été créés pour répondre à des desiderata bien particuliers de certaines professions.

Monsieur Dugué Mac Carthy fait remarquer que tout n'est pas à rejeter dans la réforme de l'enseignement ; ce désir d'homogénéisation et de mise à niveau est louable, il facilitera d'ailleurs l'insertion des diplômés dans la hiérarchie industrielle. Il faut aussi que l'industrie sache bien ce qu'elle peut demander à l'enseignement public et ce que celui-ci peut lui donner.

Monsieur Malroux termine son exposé en donnant quelques indications statistiques. Actuellement (1964) on forme en France 6000 ingénieurs diplômés et 2000 techniciens supérieurs, tandis qu'en Allemagne, dont l'industrie est grosso-modo deux fois plus puissante, on forme 5 à 6000 ingénieurs diplômés et 11000 ingénieurs techniciens. Les Allemands envisagent jusqu'en 1970 de maintenir autour de 6 à 7000 le nombre d'ingénieurs diplômés et de porter le nombre d'ingénieurs techniciens à au moins 15000 (la proportion souhaitée est de trois techniciens supérieurs pour un ingénieur diplômé) (Nota : la comparaison entre les deux pays ne peut pas être fondamentalement exacte car les ingénieurs diplômés français sont de niveau variable tandis que tous les ingénieurs diplômés allemands sont de niveau « grandes écoles ». Néanmoins elle donne un ordre de grandeur des besoins).

A la suite de cet exposé s'instaure une courte discussion. Toute la commission est unanime pour s'élever contre la suppression de la spécialisation aéronautique et elle demande à l'USIAS de prendre nettement position sur ce sujet.

Monsieur Dugué Mac Carthy estime que cette question devrait être portée devant le Conseil de l'Union Syndicale. Dans la lettre au Ministre, il faudra bien faire valoir l'argument de l'industrie aérospatiale industrie de pointe entraînant les autres industries, et bien préciser que les fonctions de techniciens supérieur et les programmes du BTSA ont été étudiés et définis avec beaucoup de soin par la profession.

Monsieur Adenot est bien d'accord et il informera le Conseil.

Un membre de la Commission ayant demandé s'il n'est pas possible en partant d'un tronc commun d'avoir une spécialisation ou une option aéronautique en deuxième année : il lui est répondu que l'on ne pourra pas obtenir en un an le même résultat qu'en deux. Une autre possibilité est envisagée : former des spécialités de l'aéronautique après deux ans d'IUT au cours d'un an d'études particularisées ? Monsieur Malroux fait remarquer que cette année complémentaire devra se faire dans l'industrie, aux frais de celle-ci, et qu'il paraît peu raisonnable de vouloir former en trois ans un diplômé qui ne sera certainement pas supérieur au BTSA de lycées techniques, alors que le système actuel donne satisfaction à tout le monde et ne dure que deux ans.

Le Chef du Service formation signale que la DTCA a pris déjà position contre la suppression des BTSA et il donne lecture de la lettre de l'Ingénieur Général Lecamus, Directeur de la DTCA adressée à ce sujet à la Délégation Ministérielle pour l'Armement.

Monsieur Pichon et Monsieur Meiller demandent si au niveau des IUT il y aura des cours de promotion sociale.

Monsieur Malroux peut répondre par l'affirmative, car le professeur Bernard, après que Monsieur Dugué Mac Carthy lui ait exposé les expériences du Centre Inter-entreprises et du LTEA de Ville d'Avray, a reconnu leur intérêt et leur valeur et a donné l'assurance que ces expériences seront maintenues. Mais pour obtenir les mêmes résultats qu'actuellement il faut obtenir au préalable qu'un département aérospatial soit créé dans les IUT.

## *Réunion du 21 décembre 1965 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy*

### *Participants :*

MM Bournazel, Maraudon (CNES), Moissenet, (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Kerviles (SEPR), Pelle (SEREB), Legrand (SOREAS), Poyet (SNECMA), Grimaux, Mulon, Meiller (Sud-Aviation), Malroux (USIAS.)

### *Réunion à la Direction Ministérielle pour l'Armement (compte rendu de Monsieur Malroux)*

Le Chef du service formation de l'USIAS a été convoqué le mardi 12 décembre 1965 par Monsieur Pagézy, Chef du bureau « Organisation Méthodes » du Département « Administration Générale » de la DMA avec l'Ingénieur Général Pascaud et Monsieur Dupuy de la DTCA. Le but de cette réunion était de faire le point sur les projets de réforme de l'enseignement. Monsieur Pagézy a pris une position très nette, et va demander au Ministère des Armées d'intervenir auprès du Ministère de l'Education Nationale pour que la méthode actuelle de formation des techniciens supérieurs aéronautiques dans les établissements de Ville d'Avray et de Toulouse soit continuée et maintenue.

A cette réunion Monsieur Dupuy a fait part d'un entretien qu'il a eu avec l'Inspecteur Général Crampe, qui lui a dit que la réforme n'était pas encore sortie. Ses auteurs ont voulu aller trop vite et trop loin. Le Ministre et Monsieur Laurent sont épouvantés par la levée de boucliers que de tous côtés provoquent ces projets. Il ne faut pas désespérer, le bon sens reprendra le dessus et l'on continuera de former des techniciens supérieurs de l'aéronautique répondant aux besoins de la profession.

Le Chef du Service Formation rappelle que le Conseil supérieur de l'Education Nationale a repoussé, au début de ce mois, le projet de décret portant création des Instituts Universitaires de Technologie.

Monsieur Malroux termine son exposé en rappelant les décisions prises par l'USIAS. Pour permettre au Président de l'USIAS d'avoir l'avis le plus complet possible, Monsieur Adenot a décidé de faire examiner ces projets de réforme par le Comité Production et a demandé aux membres de la Commission formation de recueillir l'avis des Directeurs techniques de leurs entreprises. On en discutera à la prochaine réunion de la Commission en Janvier.

## *Réunion du 15 mars 1966 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy*

### *Participants :*

MM Prax (AMD), Aumont, Bergougnan (Breguet) Donon, Bournazel (CNES), Richet, Moissenet (Hispano-Suiza), Van Wynsberghe (Messier), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Kerdiles, (SEPR), Pelle (SEREB), Poyet (SNECMA), Dor (Sud-Aviation), Legrand (SOREAS), Guilbot, Malroux (USIAS)

### *ANNEXE au compte rendu*

*Lettre de Monsieur Jean Cahen-Salvador, Président de l'USIAS (1965-1967), adressée à Monsieur Pierre Laurent, Secrétaire Général du Ministère de l'Education Nationale 110 rue de Grenelle Paris 7ème.*

Paris, le 22 février 1966

Monsieur le Secrétaire Général,

Parmi les réformes entreprises dans l'enseignement technique et l'enseignement supérieur, l'une a trait à la constitution d'Instituts Universitaires de Technologies. Cette création a de profondes répercussions sur les méthodes et niveaux de formation des techniciens supérieurs, collaborateurs indispensables des ingénieurs. C'est pourquoi il m'appartient de vous exposer la position de l'industrie aéronautique et spatiale sur cette importante question.

L'industrie aéronautique et spatiale a traditionnellement considéré qu'il était nécessaire de former des collaborateurs intermédiaires entre l'agent technique et l'ingénieur. De la définition de ce type de collaborateur et de la détermination des fonctions qu'il pourrait ou devrait occuper a découlé la fixation du niveau de connaissance qu'il devait posséder. Il en a été déduit un programme d'études – deux ans après le baccalauréat de mathématique et technique – dont la dernière version a été établie en 1962 par un accord entre l'enseignement technique, la Direction Technique et Industrielle de l'Air et l'USIAS. Depuis treize ans les deux établissements de Ville d'Avray et de Toulouse forment des jeunes gens – les techniciens supérieurs brevetés « aéronautiques » - qui donnent entière satisfaction aussi bien dans les usines de constructions aérospatiales que dans les compagnies de transport ou dans les Services de la Direction Technique et Industrielle de l'Air.

La capacité des deux lycées techniques aéronautiques de Ville d'Avray et de Toulouse est de l'ordre de deux à trois cents brevetés techniciens supérieurs par an, ce qui correspond aux besoins actuels de l'aéronautique et de l'espace. Leur équipement, ateliers et laboratoires, fourni presque entièrement par la profession et la Direction technique et Industrielle de l'Air, est parfaitement adapté à leur rôle. Recrutant au niveau baccalauréat ces établissements ont été dans le fond, sinon dans la forme, des précurseurs des Instituts Universitaires de Technologie.

Forte de cette expérience, l'industrie aéronautique et spatiale ne peut qu'être entièrement acquise à la création des Instituts Universitaires de Technologie ; mais un point préoccupe la profession : d'après les renseignements que nous avons obtenus, l'orientation qui est donnée à l'expérience de Toulouse, les Instituts ne comporteraient pas de spécialisation aéronautique et spatiale.

Or comme vous le savez, la construction aérospatiale se distingue des autres industries mécaniques par sa haute technicité. Son pourcentage d'ingénieurs et de techniciens est le plus élevé de toute l'industrie française ; ses bureaux d'études et de recherches utilisent le sixième de ses effectifs. Industrie de pointe elle stimule l'ensemble de l'industrie nationale, dont tous les secteurs bénéficient de son avance technologique. Industrie pilote, en expansion scientifique constante, il est nécessaire de particulariser les connaissances enseignées à ses techniciens pour favoriser le progrès technique et l'avancement de la recherche appliquée.

D'ailleurs, une spécialisation aéronautique – qui répond le plus souvent à l'appel d'une vocation – n'est pas un enseignement professionnel lié étroitement à une qualification déterminée empêchant toute reconversion ultérieure ; au contraire il faut noter que les techniques aérospatiales permettent de donner aux élèves une grande valeur de formation qui, en cas de nécessité de reconversion, ne pose pas de problème, alors qu'à l'inverse, l'adaptation à l'industrie aérospatiale est beaucoup plus longue et difficile.

Cette préoccupation d'un enseignement spécialisé se retrouve dans tous les pays possédant une industrie aérospatiale. Les « Colleges of Technology » anglais ou les « Ingenieurschulen » allemandes ont des départements aéronautiques qui forment des techniciens supérieurs. Il en est de même aux Etats-Unis ou en Russie.

La compétitivité de l'industrie aérospatiale qui est l'un des objectifs de la politique gouvernementale dépend, dans une large mesure, du nombre, de la qualité et de l'adaptation de ses ingénieurs et techniciens aux tâches qui lui sont propres.

Si les méthodes et programmes actuels de formation de spécialistes pour la profession donnent satisfaction, si les techniciens supérieurs sortant des lycées techniques d'Etat aéronautiques de Ville d'Avray et de Toulouse, présentent l'avantage d'une adaptabilité très rapide aux fonctions industrielle qui leurs sont réservées, c'est parce que les problèmes complexes d'enseignement posés par la constitution de cadres intermédiaires ont été résolus à la satisfaction de tous – élèves, enseignants, utilisateurs - , parce que les méthodes d'enseignement et le programme des études qui sont depuis une décennie employés dans les lycées techniques d'Etat aéronautiques de Ville d'Avray et de Toulouse répondent bien à l'objectif poursuivi.

*C'est pourquoi, au nom de la profession, je viens vous demander que dans la liste des spécialités qui doivent être enseignées dans les Instituts Universitaires de Technologie, soit retenue, pour ceux de Paris et de Toulouse, une spécialité aérospatiale dénommée « aéronautique-espace ».*

*Je vous prie de bien vouloir agréer, Monsieur le Secrétaire Général, l'assurance de ma haute considération.*

*Signé : Le Président*

*Jean Cahen-Salvador*

## **Réunion du 19 avril 1966 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy**

### **Participants :**

MM Bournazel (CNES), Richet, Moissenet (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Kerdiles, (SEPR), Poyet (SNECMA), Meiller (Sud-Aviation), Legrand (SOREAS), Malroux (USIAS)

### **Problème des Instituts Universitaires de Technologie**

Monsieur Malroux donne lecture de la réponse du Secrétaire Général du Ministère de l'Education Nationale à la lettre du Président de l'USIAS demandant la création d'un département « aéronautique-espace » dans les IUT de Paris Sud et de Toulouse. (Copie de cette lettre en annexe I). Cette lettre du Secrétaire Général du Ministère de l'Education Nationale soulève de multiples observations.

Si d'une part le Ministre de l'Education Nationale répond par la négative à notre demande, d'autre part, il nous donne l'assurance

*« qu'il n'est pas question de procéder à la fermeture des lycées techniques aéronautiques de Ville d'Avray et de Toulouse qui continueront à délivrer leurs diplômes actuels »*

Cette affirmation est en contradiction avec les prescriptions du décret n° 66/27 du 7 janvier 1966 portant création des IUT (« art.10 – au fur et à mesure de la création des enseignements dans les IUT... les enseignements correspondant préparant à des brevets de techniciens supérieurs seront supprimés »). L'existence simultanée d'IUT (sans spécialisation aéronautique) et de deux lycées techniques aéronautiques peut-elle nous donner satisfaction ? Cette coexistence ne va-t-elle pas poser des problèmes de recrutement ?

- On peut craindre qu'à cause des mesures prises en faveur des IUT (possibilités plus grandes de continuer des études vers le titre d'ingénieur ; c'est l'argument qui fut utilisé en octobre 1965 pour débaucher une vingtaine d'élèves du LTEA de Toulouse), les lycées techniques aéronautiques, qui recrutent sur le plan national, ne reçoivent que les moins bons élèves bacheliers (math-élémentaire ou math-technique). Mais il sera sans doute assez facile de défendre le niveau des lycées techniques aéronautiques, en organisant astucieusement la propagande en leur faveur (vocation aéronautique de ces lycées, opposée à la désécialisation des IUT de construction mécanique) et surtout en embauchant par priorité les techniciens supérieurs brevetés (sortant de lycées).
- L'expérience récente des DEST – qui fut un échec de l'aveu même de la Direction de l'enseignement supérieur – prouve que cette dualité de formation n'est pas à redouter, les milieux industriels préférant les techniciens formés suivant les disciplines de l'enseignement technique.

Monsieur Meiller tout en reconnaissant la valeur de ces arguments craint que, face à la coexistence des IUT et des LTEA, il n'y ait dépréciation du BTSA.

C'est aussi l'avis de Monsieur Susini qui pense en outre que l'on rencontrera beaucoup de difficultés de recrutement, malgré une propagande, si bien menée soit-elle. A son sens, il faudrait absolument donner aux techniciens supérieurs un statut bien déterminé dans nos entreprises.

Pour Monsieur Poyet cette question de statut n'est pas seule en cause, et il cite le cas de la SNECMA où il y a pratiquement un statut des techniciens supérieurs, ce qui n'empêche pas les difficultés d'insertion de cette catégorie de collaborateurs.

Monsieur Malroux fait remarquer que, d'après les renseignements qu'il a obtenus, la réponse ambivalente du Ministre de l'Education Nationale serait l'écho des rivalités existant au sein du Ministère : d'un côté les « technocrates de la réforme » qui veulent déspecialiser l'enseignement (sous prétexte de faciliter les reconversions éventuelles) et de l'autre un groupe d'inspecteurs généraux de l'enseignement technique qui estime que le rôle des établissements scolaires est de former du personnel répondant aux besoins des industries utilisatrices.

Par ailleurs la réponse du Ministre laisse la porte entr'ouverte :

*« il ne me paraît pas s'imposer de créer une spécialité aéronautique-espace. Je me propose toutefois d'étudier attentivement cette question, d'en saisir la Commission compétente... ».*

Cette commission est la Commission pédagogique provisoire des IUT instituée par arrêté ministériel du 6 novembre 1965. Dans une circulaire récente (21 mars 1966), le Ministre vient de préciser qu'une de ses tâches était de définir et fixer les limites de la spécialité « constructions mécaniques ».

Au point où en sont actuellement ses travaux, cette Commission a décidé de rédiger un projet de programme répondant aux besoins de la construction mécanique en général ; elle verra ultérieurement si ce programme peut s'appliquer à l'industrie aéronautique et s'il faut ou non créer une spécialisation aéronautique. Au cas où la création de cette spécialisation aéronautique serait refusée, on pourrait envisager trois solutions :

1. Conserver les LTEA et la formation actuelle des techniciens supérieurs brevetés aéronautique (C'est la formule qu'envisage le Ministre).
2. Dans le cadre du programme général, orienter le département Construction mécanique de l'IUT de Toulouse vers la construction aéronautique (Cette solution ne concernerait que les cellules).
3. Ajouter aux deux ans de formation générales « Construction mécanique » une année de spécialisation aéronautique (dans la profession et aux frais de celle-ci, on aurait en trois ans ce qu'on forme actuellement en deux ans).

De ces trois palliatifs, le seul admissible est le premier (avec les inconvénients éventuels soulignés plus haut pour le recrutement des élèves), car dans le contexte général de la réforme de l'enseignement, la seule solution qui puisse nous donner pleinement satisfaction est la création d'une spécialisation aéronautique-espace dans les IUT de Paris et de Toulouse, autrement dit la transformation (et qui n'est même qu'un simple changement d'appellation) des LTEA de Ville d'Avray et de Toulouse en départements Aéronautique-Espace des IUT de Paris-Sud et de Toulouse.

Il nous est facile d'agir sur la Commission pédagogique provisoire « construction mécanique » qui compte parmi ses dix-sept membres, huit représentant des milieux industriels et neuf membres de l'enseignement, dont :

- M Grimaud de Sud-Aviation (remplaçant M Dufoir, Directeur de l'usine de Sud-Aviation de Toulouse, initialement désigné) ;
- M Corpet du CNPF ;
- M Guillen de l'UIMM ;
- M Laurent, Directeur de l'ENSMA de Poitiers ;
- M Duchevalard, Directeur du LTEA de TOULOUSE ;
- M Archambeaud, Directeur de la formation professionnelle de Peugeot.

Nous pouvons intervenir auprès d'eux pour qu'ils défendent notre position et fassent aboutir notre solution.

C'est de l'avis de Monsieur Malroux la voie à suivre, plutôt que de continuer à écrire au Ministre de l'Education Nationale, qui hésite sur l'ampleur, le sens, et les modalités de la réforme entreprise, en butte aux opinions divergentes de ses différents conseillers.

Monsieur Moissenet, qui préside en l'absence de Monsieur Dugué Mac Carthy retardé, estime qu'il n'y a pas lieu de répondre à la lettre du secrétaire général ; quant à la propagande à entreprendre, c'est au sein des entreprises surtout qu'il faut la mener, de façon que l'on embauche en priorité des BTSA.

Monsieur Malroux termine son exposé en donnant lecture de l'extrait du procès verbal de la réunion du bureau de l'USIAS en date du 14 avril dernier qui a examiné cette question. Il faut donc informer Monsieur Grimaud et les autres membres de la Commission Pédagogique provisoire de la position de l'USIAS et leur demander de la faire prévaloir.

#### **Extrait du PV du Bureau du 14 avril 1966**

*Le président donne lecture d'une lettre N°7191 du 17 mars 1966 du Secrétaire Général du Ministère de l'Education Nationale relative à une demande formulée à l'USIAS au sujet de la formation qui sera organisée dans les Instituts Universitaires de Technologie.*

*L'USIAS avait demandé la création d'un département aéronautique-espace dans les IUT de Paris-sud et de Toulouse.*

*Monsieur Laurent, Secrétaire Général du Ministère, sans faire droit à la demande de l'USIAS, ne se refuse pas à procéder à un examen ultérieur de la question à la lumière de l'expérience. Il indique en outre :*

- *que les deux lycées techniques de Ville d'Avray et de Toulouse seraient maintenus ;*
- *que le recours auprès de la Commission compétente (Commission Pédagogique provisoire des IUT de constructions mécaniques) est toujours possible.*

*Monsieur le Général Pujet signale que Monsieur Grimaud, ancien directeur de l'usine de Sud-Aviation de Toulouse, est d'ailleurs membre de cette Commission.*

*Le Bureau enregistre ces communications.*

## **2.6 Maintenir la spécificité aéronautique des établissements de Ville d'Avray et de Toulouse : un combat difficile.**

***Réunion du 20 décembre 1966 présidée par Monsieur Moissenet, VP de la Commission de formation***

***Participants :***

MM Aumont (Breguet), Bournazel (CNES), Domas (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Poyet, de Prittwitz (SNECMA), Monard, Meiller (Sud-Aviation), Autin, Malroux (USIAS)

## *Conséquences pour les LTEA de l'ouverture des Instituts Universitaires de technologie*

Le Ministère de l'Education Nationale ayant décidé d'ouvrir dès le 1er octobre 1966 des IUT dans certaines Universités, en particulier à Paris et Toulouse (décret 66653 du 30 août 1966 JO du 3 septembre 1966 ; et AM du 13 septembre 1966, JO du 30 septembre 1966), ces créations vont avoir des conséquences graves sur l'existence même des lycées aéronautiques de Toulouse et Ville d'Avray.

Pour éclairer la Commission, Monsieur Malroux fait l'historique des tractations en cours.

Fin novembre, Monsieur Dufour, Directeur de l'IUT de Paris, réunit à Cachan les Directeurs des lycées techniques de Paris et de la banlieue pour les informer de la mise en place définitive de cet IUT qui a ouvert le 1er octobre 1966 deux départements :

- un chimie à Orsay ;
- un électronique, télécommunications et automatisme à Cachan

et prochainement un département de génie civil.

Au 1<sup>er</sup> octobre 1967, l'IUT de Paris doit comporter dix départements dont un « électronique » et un « construction mécanique », qui seront installés dans les locaux actuels du LTEA de Ville d'Avray, qui ipso facto ne formera plus de BTSA.

Monsieur Cancet, s'est élevé contre cette décision et a demandé que la vocation aéronautique de son établissement soit conservée.

Monsieur Dufour s'appuyant sur le fait que le LTEA a une structure qui depuis plusieurs années déborde le second degré, estime qu'il doit être le premier établissement de l'Académie à être intégré dans le cadre des IUT ; les seuls départements retenus sont ceux fixés par la Commission Nationale d'Etude des IUT (électronique, construction mécanique, chimie, etc...).

Il ne saurait y avoir de problème particulier à l'industrie aéronautique : les anciennes options cellule du BTSA proviendront du département construction mécanique, l'option propulseur du département énergétique, l'option équipements du département électronique. Les départements correspondants des IUT de Paris et de Toulouse auront une « teinture » aéronautique : elle est prévue dès maintenant dans le projet d'arrêté fixant les programmes d'études dans les départements de constructions mécaniques.

Finalement Monsieur Cancet obtint que Monsieur Dufour vienne voir le LTEA de Ville d'Avray. Le 28 novembre en mettant au courant de cette situation le Chef du service formation de l'USIAS, il signala que Monsieur Fritsch, Inspecteur Général de l'Enseignement Technique (qui pourrait remplacer Monsieur Crampe ?), venu inspecter le lycée le samedi 26 novembre, s'était montré un ferme partisan d'un département aérospatial dans les IUT de Paris et Toulouse et avait suggéré que l'USIAS et le Ministère des Armées fassent une forte pression sur le Ministère de l'Education Nationale, la profession menaçant de créer une école privée et la DTCA de reprendre son matériel.

Monsieur Dufour est venu le 2 décembre visiter le LTEA, de quinze heures à vingt heures, pour étudier les conditions de réalisation des divers départements de l'IUT de Paris.

Monsieur Cancet a informé l'USIAS par lettre de cette visite. Monsieur Malroux en donne lecture :

« Cette prise de contact s'est déroulée selon le procédé habituel d'accueil de nos visiteurs : exposé de l'organisation de l'établissement, visite des locaux.

Au cours de la première partie nous avons mis l'accent :

- sur l'ouverture scientifique et technique et le niveau de la formation donnée à nos élèves ainsi que sur les exigences particulières à chacune des familles industrielles aérospatiales, - propulseurs, cellules, équipements de bord, télécommunications - dans lesquelles nous les introduisons ;
- sur la collaboration étroite existant depuis la création du lycée, entre l'établissement, le département Air et la profession et qui se traduit par le versement de taxe d'apprentissage, participation à l'élaboration des programmes d'études et des sujets d'examens, présence active aux jurys d'examens, prise en charge d'une partie de enseignement par les ingénieurs, prêts gratuits de matériel technique par la DTCA, intégration des TEFSTA et TEFSCAN en TS1 et TS2, classes qui deviennent pour eux scolarité d'application.

Au cours de cet exposé qui a révélé à notre visiteur :

- les conventions passées entre l'Air et l'Education Nationale lors de la dissolution de l'EFPIA dans le but de sauvegarder ultérieurement la formation aérospatiale ;
- les promesses faites par le Secrétaire Générale du Ministère de l'Education Nationale au président de l'USIAS ;
- les vaines démarches du Ministère des Armées auprès du Ministère de l'Education Nationale en 1966 ;
- choses dont personnes ne lui avait parlé. Monsieur Dufour s'est attaché à l'étude de l'intégration des formations assurées par le lycée technique d'Etat aéronautique dans les départements d'IUT prévus pour notre lycée : selon lui cette intégration peut-être jugée :
  - immédiate pour l'option télécommunications, qui n'a d'ailleurs aucun caractère spécifiquement aérospatial, dans le département d'IUT électronique ;
  - possible pour l'option cellules dans le département constructions mécaniques (vaguement adapté aux besoins de l'industrie cellule par adjonction de la mécanique du vol au programme de mécanique) ;
  - difficile pour l'option propulseurs, à moins que l'on crée un département d'énergétique thermique ;
  - quasiment impossible pour l'option équipement qui excède tous les cadres prévus et nécessite une polyvalence scientifique non retenue dans les IUT ;
- quant à l'option hyperfréquence jugée très intéressante, elle exige une année complémentaire.

La visite des locaux a confirmé ces impressions en même temps qu'elle a donné la valeur réelle de la part prise par la DTCA à l'équipement de l'établissement par les prêts gratuits ayant fait l'objet d'un inventaire spécial : cette infrastructure de caractère aérospatial a, dans les divers laboratoires, souffleries, propulseurs modernes, très nombreux instruments de bord, matériel hyperfréquences, appartenant presque en totalité à la DTCA, frappé spécialement notre visiteur.

Les conclusions énoncées par Monsieur Dufour au terme d'un entretien et d'une visite qui devait durer plus de cinq heures, ont été les suivantes :

- Ces difficultés sont plus nombreuses qu'il ne les soupçonnait, vu la participation considérable de la profession aux activités du lycée technique d'Etat aéronautique et la complexité de certaines formations.
- La profession ne doit pas être heurtée en aucune façon et sa collaboration aux multiples aspects ne doit pas être réduite : en conséquence l'étude de l'ensemble du problème de l'intégration des lycées techniques d'Etat aéronautique dans les IUT doit être faite en fonction de principes à déterminer à l'échelon ministériel, puisque le problème se situe au niveau national – Paris et Toulouse et recrutement national - et concerne deux ministères : l'Education Nationale et les Armées. Le Recteur devra donc intervenir auprès de l'enseignement supérieur pour que des contacts soient pris avec les représentants qualifiés de la profession, DTCA et USIAS.

Toutefois, toujours selon Monsieur Dufour, l'implantation d'un département électronique à Ville d'Avray pourrait avoir lieu dès octobre prochain. (Il est à noter cependant que les effectifs prévus pour ce département non aéronautiques auraient pour effet de réduire dans l'immédiat les effectifs des sections spécifiquement aérospatiale, l'internat ne pouvant être transformé en locaux scolaires qu'après la construction d'une Maison des Elèves !)

*Pour notre part nous avons ajouté à ces difficultés de principe ou de fonctionnement retenus par Monsieur le Directeur de l'IUT de Paris, celle majeure soulevée par la situation du personnel qui en vingt années a fait l'établissement jusqu'à lui donner l'alléchante saveur qu'on lui reconnaît actuellement, en particulier du personnel des ateliers (PTA) et du personnel administratif pour lesquels il n'est pas prévu dans les IUT de cadres susceptibles de les accueillir. »*

En résumé, Monsieur Dufour qui est venu reconnaître la mise en place de ses deux départements d'IUT au 1er octobre 1967 a découvert des difficultés insoupçonnées qui ne peuvent être résolues au niveau du Rectorat, mais à celui du Ministre et qui doivent l'être avant le 1er octobre prochain. Mais il faut retenir deux phrases de Monsieur Dufour :

*« il ne faut en aucun cas heurter la profession mais au contraire travailler avec elle »*

*« Il ne faut pas démolir pour le plaisir de démolir »*

Monsieur Cancet a été convoqué le samedi 10 décembre par Monsieur Dufour pour s'entendre notifier les décisions prises par MM Laurent, Aigrain et Bernard, décisions qui auraient reçu l'accord du Ministère des Armées, dicit Monsieur Dufour.

La vocation aéronautique des deux LTE de Toulouse et de Ville d'Avray sera respectée et pour cela une structure spéciale sera mise en place à Toulouse et Ville d'Avray ; chaque lycée, supprimé, sera remplacé par deux départements d'IUT construction mécanique et électronique, où les élèves feront la scolarité normale de deux ans. La spécialisation aérospatiale sera donnée en une année supplémentaire, qui comportera les trois options cellules, propulseurs, équipements et l'examen final sera du niveau de celui du BTSA.

Monsieur Cancet a transmis oralement cette décision à l'USIAS le lundi 12 décembre.

Il faut reconnaître que cette nouvelle organisation sauvegarde la spécialisation aéronautique ; mais elle est quand même un compromis absurde puisque l'Education Nationale entreprend de faire en trois ans ce qu'elle faisait auparavant en deux ans à la satisfaction de l'industrie et de la DTCA.

L'ingénieur Général Pascaud , mis au courant, ignore qu'elle est la « haute personnalité » du Ministère des Armées qui a donné son approbation à cette proposition de l'enseignement supérieur.

Il semble bien que l'on ne puisse songer à obtenir davantage du Ministère de l'Education nationale ; il ne faut pas demander aux auteurs de la réforme de l'enseignement supérieur d'aller à Canossa. D'ailleurs a priori cette solution ne semble pas devoir léser l'industrie aérospatiale qui ne peut que préciser le niveau des connaissances à donner aux diplômés, le Ministère étant seul maître des voies et moyens pour y parvenir.

Le Professeur Bernard a convoqué Monsieur Cancet le lundi 12 décembre après-midi. En présence de monsieur Aigrain, Directeur de l'enseignement supérieur, il a tenu à donner tous apaisements concernant la spécialisation aéronautique; il a affirmé que le « polissage final » sera conforme aux desiderata de la profession et répété le schéma d'organisation en trois ans.

Puis il a demandé à Monsieur Cancet d'informer la profession de cette décision, charge qu'a déclinée M. Cancet qui estime que c'est au Ministre lui-même de faire connaître au Président de l'USIAS les mesures nouvelles puisqu'elles modifient la réponse faite par celui-ci en son temps à la lettre du Président.

Monsieur Bernard s'est rendu à ces raisons et a promis de convoquer prochainement Monsieur Dugué Mac Carthy, l'Ingénieur Général Pascaud et le Chef du service

formation de l'USIAS. Il a en outre promis de remettre le Conseil de Perfectionnement en marche. Monsieur Cancet a informé oralement l'USIAS le 13 décembre et a été de nouveau convoqué par Monsieur Dufour le 15 décembre pendant trois heures.

L'entretien a porté sur la façon de résoudre les inconvénients signalés :

- il n'y a pas de problème pour la promotion sociale; les cours continueront mais il y aura des réajustements à faire ;
- la question des TEFSTA et TEFSCAN sera résolue dans une organisation un peu spéciale (choix de certains cours) qui se fera en deux ans ; Monsieur Dupuy en est satisfait ;
- le trou dans la production sera évité en continuant de former des BTSA suivant le système actuel jusqu'en 1969. On embauchera encore en octobre 1967 des bacheliers math/technique (100 à Ville d'Avray, 100 à Toulouse) pour les conduire directement en deux ans au BTSA, tandis que dès octobre 1967 commencera la formation IUT.

L'organisation des IUT de Paris et de Toulouse sera la suivante, abstraction faite des autres départements d'IUT qui pourront y être créés :

Chaque établissement comprendra quatre départements :

- un département de construction mécanique ;
- un département d'électronique ;
- un département d'énergétique ;

recrutement normal d'IUT, scolarité de deux ans, examen terminal : DUT correspondant ;

- un département aérospatial, scolarité un an, recrutement national sur dossier dans les départements correspondants de tous les IUT de l'hexagone, choix sévère (si la note exigée est de 12 pour obtenir le DUT, il faudra avoir par exemple 14 pour être admis dans le DUT aérospatial).

Il y aura quatre options :

- Cellules (provenant des départements Construction mécanique) ;
- Propulseurs (provenant des départements Energétique) ;
- Equipements (provenant des départements Construction mécanique ou électronique) ;
- Hyperfréquences (provenant des départements Electronique).

Le diplôme final s'appellera « DUT approfondi aérospatial » par analogie avec les diplômes d'études approfondies créés en 1964 pour les doctorats de spécialité). Il sera du niveau des BTSA.

Le Ministère de l'Education Nationale va informer officiellement l'USIAS de ces décisions.

Monsieur Malroux a soigneusement attiré l'attention de Monsieur Cancet sur une des conséquences prévisibles dès maintenant de cette formation en trois ans ; s'appuyant sur des analogies prises dans les autres pays du Marché Commun les titulaires de ce DUT approfondi vont réclamer le diplôme et le titre d'ingénieur spécialisé.

Le mardi 20 décembre trois heures avant l'ouverture de la réunion de la Commission, Monsieur Cancet a informé l'USIAS qu'il y avait eu la veille une réunion au rectorat,

sous la présidence de Monsieur Gauthier, Vice recteur de l'Académie de Paris pour la mise en place des départements de l'IUT de Paris.

Les services administratifs du Ministère de l'Education Nationale se sont élevés contre la troisième année prévue dans le département aérospatiale sous prétexte que les textes actuels sur les IUT prévoient une durée des études de deux ans. Les services administratifs semblent vouloir que cette troisième année soit créée par convention entre la profession et le Ministère de l'Education Nationale, ce qui peut laisser supposer qu'elle aurait à participer au financement et l'on reviendrait ainsi à une des premières propositions du Professeur Bernard :

*« si la profession estime une spécialisation aérospatiale nécessaire, elle n'a qu'à la faire à ses frais dans une troisième année après l'obtention du DUT »*

Cette convention ne pourrait porter que sur :

- l'utilisation de la taxe d'apprentissage ;
- le maintien des prêts de matériel de la DTCA ;
- la participation d'ingénieurs de la profession à l'enseignement.

Mais il ne saurait être question que, par analogie avec les cours de promotion sociale, l'USIAS prenne à sa charge le tiers des frais de fonctionnement (c'est à dire les salaires des enseignants et administratifs, chauffage, éclairage, frais de laboratoires, etc) de cette troisième année.

Monsieur Malroux a demandé à Monsieur Cancet d'avoir l'obligeance d'informer par écrit l'USIAS de ces nouvelles décisions et propositions qui modifient totalement les renseignements donnés dans sa précédente lettre du 7 décembre, ce qu'il a promis de faire.

Monsieur Moissenet remercie Monsieur Malroux de son exposé, il estime que devant une pareille situation il faut que l'USIAS prenne position, en disant nettement ce qu'elle veut. Il complète sa déclaration en précisant que l'USIAS doit utiliser dans sa réponse au Ministère de l'Education Nationale le décret de 1959 qui au moment de la suppression de l'E.F.P.I.A avait nettement réservé le caractère aérospatial des établissements.

### *Réunion du 17 janvier 1967 Présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy*

#### *Participants :*

MM Aumont (Breguet Aviation) Donon, Bournazel (CNES), Richet, Moissenet (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Kerdiles, (SEPR), Noel (SEREB), Poyet (SNECMA), Monard, Meiller (Sud-Aviation), Legrand (SOREAS), de Longeaux (UIMM), Autin, Malroux (USIAS)

#### *Programme des études dans les départements de constructions mécaniques des IUT*

Avant d'étudier cette question, Monsieur Dugué Mac Carthy donne la parole à Monsieur Autin, qui a quelques observations à faire sur le projet de lettre à envoyer au Ministre de l'Education Nationale à propos de la réforme des IUT;

Monsieur Malroux rappelle le déroulement de l'opération ; au cours de la dernière réunion de la commission, le 20 décembre 1966, il avait été décidé qu'une petite sous-commission composée de MM Dugué Mac Carthy, Moissenet et Pichon, se réunirait avec Monsieur Autin pour discuter et bâtir le projet de lettre du Président de l'USIAS au Ministre de l'Education Nationale.

Cette réunion a eu lieu le 5 janvier; suivant les directives reçues, Monsieur Malroux a établi un projet de lettre.

Monsieur Autin, après avoir réexaminé la question estime que ce projet n'est pas satisfaisant, car il semble accepter sans discussion le projet de la Direction de l'Enseignement Supérieur d'une troisième année de spécialisation aérospatiale. Cette solution étant illogique aussi bien sur le plan humain que du point de vue financier, Monsieur Autin pense qu'il faut continuer à se battre.

Monsieur Malroux donne une information complémentaire qui lui est parvenue tout récemment: il y a eu le 12 janvier une réunion à Ville d'Avray à laquelle assistaient MM Dufour (Directeur de l'IUT de Paris), Farran (Directeur de l'IUT de Toulouse), Salomon (de la Direction de l'enseignement supérieur), Cancet (Directeur du LTEA de Ville d'Avray et Duchevalard (Directeur du LTEA de Toulouse), et qui avait pour but d'examiner les modalités de la transformation des LTEA en départements d'IUT.

Le représentant de la Direction des Enseignements supérieurs a laissé entendre que la troisième année aérospatiale devrait être largement subventionnée par la profession. Il semble que le Ministère de l'Education Nationale prévoyant l'opposition du Ministère des Finances à la création de cette troisième année (le décret du 7 janvier 1966 portant création des IUT prévoit deux années d'études) veut prendre les devants et s'opposer aux objections de la rue de Rivoli en disant: cette troisième année ne coûte rien, elle est financée par la profession. Cette idée est d'ailleurs conforme aux directives du V° Plan qui a prévu que les professions devaient prendre en charge « les actions d'adaptation ».

Monsieur Autin estime qu'il ne faut pas, de quelque façon donner l'impression que nous acceptons ce projet de troisième année et qu'il faut donc remanier la lettre en s'en tenant au principe de deux années d'étude comme il était fait jusqu'à maintenant à la satisfaction de la profession.

Le Président demande à Monsieur Malroux si à sa connaissance une troisième année de spécialisation est envisagée dans d'autres professions ?

Monsieur Malroux répond qu'il n'en connaît pas jusqu'à maintenant, mais il faut noter que dans une circulaire récente de Monsieur Aigrain (1.12.66, BOEN n° 47 du 15.12.1966) on peut lire :

*« L'enseignement donné dans les IUT est un enseignement de caractère concret, ayant pour but de former des étudiants dans le cadre d'une technologie large telle que la construction mécanique, la gestion des entreprises ou la biologie appliquée. L'issue normale de telles études dont la durée est de deux années, est l'entrée dans la vie professionnelle soit immédiatement soit à l'issue d'une période de formation complémentaire, permettant la spécialisation dans une technologie étroite ».*

Quelques membres de la Commission font remarquer qu'ils ne voient pas très bien les raisons pour lesquelles la biologie est considérée comme une « technologie large » tandis que la construction aérospatiale ne serait qu'une technologie étroite.

Le Président demande aux membres de la Commission de faire connaître leurs avis sur cette nouvelle position: doit-on encore insister pour essayer d'obtenir le maintien de la formation en deux ans ? Les membres de la Commission sont unanimes: il faut défendre le principe de la formation en deux ans.

Le président demande à Monsieur Malroux de rédiger un nouveau projet tenant compte de cette prise de position, mais étant donné la décision prise par l'Education Nationale, il faut le faire avec beaucoup de précautions, et qu'en particulier cette lettre puisse servir à s'opposer au financement de cette troisième année par la profession.

Ce sujet étant épuisé, il demande à Monsieur Malroux de traiter la question inscrite à l'ordre du jour.

Le chef du Service Formation rappelle la genèse de cette affaire. Au cours des études préliminaires sur l'organisation des IUT et des conversations du Président avec le Professeur Bernard, il avait été envisagé que le département de Constructions Mécaniques de l'IUT de Toulouse (et peut-être celui de Paris) aurait une « teinture aéronautique ».

Cette idée a été en partie reprise dans le projet d'arrêté relatif à l'organisation des études dans les départements de Constructions mécaniques dont le texte a été envoyé à tous les membres de la Commission, bien que la Commission Pédagogique qui avait été constituée pour étudier l'organisation de ces départements ait envisagé pour certaines qualifications du brevet de technicien supérieur « des solutions particulières à étudier » aussi bien que des « orientations locales ».

Cette orientation locale doit en particulier être comprise de la façon suivante: les étudiants du départements Constructions Mécaniques de l'IUT de Toulouse feront leurs stages industriels dans les usines de construction aéronautiques de la région toulousaine. Mais il faut noter que cette formation ne pourra remplacer que l'option « cellules » et que la question des options « propulseurs » et « équipements » reste entière.

Monsieur Autin ayant demandé si la profession a été consultée à propos de ce projet d'arrêté, Monsieur Malroux répond qu'elle ne l'a pas été spécialement, car elle était représentée par Monsieur Grimaud (de Sud-Aviation) à la Commission Pédagogique préparatoire dont les travaux ont servi de base à cet arrêté.

Monsieur Dugué Mac Carthy pose la question de savoir si, du fait des projets actuels d'une troisième année aérospatiale, l'examen du programme des études dans les départements de Construction mécanique conserve encore quelque intérêt.

Monsieur Malroux estime que, que tant que rien de définitif n'a été arrêté réglementairement, il faut pouvoir répondre rapidement à toute demande et que par conséquent la question posée par la lettre du 7 décembre 1966 garde sa valeur. Les réponses reçues lui permettraient de constituer un dossier.

Monsieur Dugué Mac Carthy conclut cette question en priant les Membres de la Commission, à la lumière des explications qui viennent d'être données, d'examiner ce projet de programme et d'envoyer leurs observations au service formation de l'USIAS.

### *Réunion du 21 février 1967 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy*

#### *Participants :*

MM Prax (AMD), Aumont (Breguet Aviation), Donon, Bournazel (CNES), Richet, Moissenet (Hispano-Suiza), Van Wynsberghe (Messier), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Bourgeois (SEREB), Poyet (SNECMA), Grimaux, Monard, Meiller (Sud-Aviation), Legrand (SOREAS), Carre (SFENA), de Longeaux (UIMM), Malroux (USIAS)

#### *Problème des Lycées Techniques d'Etat Aéronautiques et des Instituts Universitaires de Technologie.*

Monsieur Malroux : Depuis la dernière réunion de la Commission il y a eu peu de faits nouveaux.

- Le Secrétaire Général (du Ministère de l'Education Nationale) a répondu à la lettre du Président en acceptant le principe d'un rendez-vous.

- Monsieur Adenot étant absent à la date indiquée a fait reporter ce rendez-vous au 8 mars.
- Il semble que toute mesure concernant les départements des IUT de Paris et de Toulouse soit actuellement suspendue dans l'attente des décisions qui sortiront de cette entrevue. Monsieur Dufour en particulier ne se manifeste plus.
- L'UIMM a pris position sur la question d'une troisième année (voir texte de sa lettre du 3 février en annexe II)
- Les Conseils d'administration des Lycées Techniques d'Etat Aéronautiques de Ville d'Avray et de Toulouse ont émis des vœux demandant que soit conservé, sous une autre appellation au besoin, le caractère, l'unité et l'originalité de la formation des brevetés techniciens supérieurs « aéronautiques ». La section syndicale du SNES du lycées de Toulouse a émis une motion analogue.
- Monsieur Malroux a vu Monsieur Farran, Directeur de l'INSA et de l'IUT de Toulouse. Il lui a exposé ce que désire la profession. Monsieur Farran a dit qu'il trouvait cette position très satisfaisante, qu'il était d'accord mais qu'il n'était pas le maître. S'il reçoit l'ordre de la Direction des Enseignements Supérieurs de créer un département aérospatial à deux ans d'études, il sera très satisfait, car il n'aura qu'à prendre le lycée de Toulouse et lui changer simplement d'étiquette. Les solutions les plus simples sont les plus élégantes.
- Par l'intermédiaire de l'UIMM, l'USIAS a eu communication du projet de création d'IUT établi par le Ministère de l'Education Nationale pour 1967 et 1968 et ne concernant que les constructions neuves. Il n'est rien prévu à Ville d'Avray.

Monsieur Grimaud précise que dans le secteur tertiaire un département documentation avait été envisagé. Les IUT ont été créés dans deux buts bien distincts :

1. Régler le problème des bacheliers qui ne peuvent pas continuer des études supérieures et qui n'ont pas été à temps aiguillés vers le technique où ils auraient eu plus de chances de succès.
2. L'enseignement technique a voulu donner satisfaction à toutes les professions en créant beaucoup de BTS – 45 environ – mais lorsqu'on étudie le programme d'une spécialité on s'aperçoit que le spécialiste a donné une part plus large à sa spécialité qu'à l'enseignement de base; or comme il sera de plus en plus difficile de rester dans la même spécialité et qu'il faudra changer de spécialisation il faut une instruction de base plus large.

Si jusqu'à maintenant l'Education Nationale n'a prévu que huit départements dans le secteur secondaire, il a bien été dit que l'on pourrait toujours en créer d'autres. Pour la formation des techniciens supérieurs en deux ans dans les IUT les programmes des brevets de techniciens supérieurs ont été sauvegardés tout en donnant une part plus large à l'enseignement de base. Un point important, c'est la question des stages ; il y a d'ailleurs là un grave problème, car la formation technique n'est pas complète s'il n'y a pas d'imprégnation dans le milieu du travail.

Monsieur Dugué Mac Carthy est bien d'accord mais n'en pense pas moins qu'il faut d'abord une spécialité et un métier.

Monsieur Grimaud pense que la formation des IUT sera peut-être moins bonne que celles des Lycées Techniques actuels car le programme du baccalauréat de technicien aura moins de mathématique mais plus de technique que le baccalauréat mathématique et technique.

Monsieur Dugué Mac Carthy répète qu'il ne faut pas faire de l'enseignement technique un enseignement abstrait, les IUT doivent s'accrocher à un métier, sinon ce sera l'échec comme les DEST.

Monsieur Malroux signale pour finir qu'au cours d'une conversation avec Monsieur Cancet une petite réunion de quelques représentants de la profession avec monsieur Dufour, Directeur de l'IUT de Paris a été envisagée.

Il demande si la Commission estime qu'une telle entrevue, qui serait bien entendu informelle et officieuse serait intéressante et fertile.

Tous les Membres de la Commission pensent que ce serait une bonne chose et demande à Monsieur Malroux de voir par l'intermédiaire de Monsieur Cancet à quelle date elle pourrait avoir lieu. Y participerait MM Autin, Dugué Mac Carthy, Pichon et Domas.

A N N E X E II

U.I.M.M.  
56, avenue Wagram (17e)

Paris, le 3 février 1967

N/Réf / PG/CC

Formation Professionnelle

Monsieur le Président,

Nous avons appris que dans le cadre de la réorganisation des préparations de technicien supérieur, il serait envisagé de laisser à la charge des industries aéronautique et spatiales le soin d'adapter à l'emploi au cours d'une troisième année d'études les jeunes gens ayant accompli deux années de scolarité dans les Instituts Universitaires de Technologie.

Cette solution nous paraît lourde de conséquences pour l'ensemble des professions. Nous avons déjà eu beaucoup de mal à faire accepter des programmes d'I.U.T. faisant la part nécessaire à la préparation pratique à l'emploi. Si l'Education Nationale s'apercevait que les professions acceptent d'un coeur léger d'assurer une année d'adaptation elle ne manquerait pas de laisser les I.U.T. dériver vers l'abstraction, les transformant en premier cycle d'enseignement supérieur à caractère vaguement technologique.

En outre il deviendrait délicat d'insérer dans la hiérarchie professionnelle des gens ayant accompli trois années d'études au delà du baccalauréat ... à moins de leur donner dès le départ un statut d'ingénieur.

Ces raisons nous paraissent militer en faveur du maintien à deux années de la préparation des techniciens supérieurs.

En espérant que vous partagerez nos préoccupations, nous vous prions d'agréer, Monsieur le Président, l'expression de nos sentiments les plus dévoués.

Signé / P. GUILLEN

## *Réunion du 18 avril 1967 présidée par Monsieur Moissenet VP de la Commission Formation*

### *Participants :*

MM Aumont (Breguet,) Bournazel (CNES), Domas (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Kerdiles (SEPR), Bourgeois (SEREB), Poyet (SNECMA), Grimaux, Monard, Meiller (Sud-Aviation), Legrand (SOREAS), Carre (SFENA), de Longeaux (UIMM), Autin, Malroux (USIAS)

### *Problèmes des Lycées Techniques d'Etat Aéronautiques et des Instituts Universitaires de technologie*

Monsieur Malroux rappelle que Monsieur Laurent ayant accordé audience à MM Adenot et Autin, cette entrevue a eu lieu le 8 mars dernier. A la suite de cette dernière Monsieur Laurent a écrit une lettre à l'USIAS.

Cette lettre a été étudiée par la sous-commission prévue au cours de la dernière réunion (MM Autin, Moissenet, Meiller, Pichon, Poyet et Malroux). Elle a relevé quatre points qui lui semblent très importants :

- reconnaissance du caractère de la formation technique et professionnelle des techniciens et de leur vocation aéronautique et spatiale ;
- adaptation des programmes des départements de constructions mécaniques de l'IUT de Toulouse et des départements d'énergétique et d'électronique de l'IUT de Paris (Ville d'Avray ou Cachan) aux besoins de l'aéronautique ;
- présence parmi les enseignants d'ingénieurs de la profession et de représentants de l'aéronautique dans les Conseils des établissements
- mention de cette formation particulière dans le DUT délivré aux élèves qui suivent les cours de ces départements de ces IUT.

Après examen et discussion la sous-commission a estimé qu'il fallait répondre à cette lettre, en relevant les points qui nous donnaient satisfaction et en suggérant – comme il reste de nombreuses questions à préciser ou à résoudre, en particulier la formation des techniciens supérieurs option « équipements », - la constitution d'une commission paritaire mixte université/industrie; elle a demandé que le Bureau de l'USIAS se penche sur ce problème.

Au cours de sa réunion du 6 avril, le Bureau l'a examiné et a accepté les suggestions de la sous-commission. Le Président Blum<sup>11</sup> a écrit le 14 avril au Secrétaire Général du Ministère de l'Education Nationale en lui proposant la création d'une commission paritaire mixte Université/industrie pour régler les questions qui restent encore en litige.

On pouvait donc penser que la formation de nos techniciens supérieurs aéronautique ne sortirait pas trop altérée de la réforme des enseignements supérieurs, mais Monsieur Malroux n'est cependant guère optimiste. Il a en effet obtenu certains renseignements et recueilli divers échos lui laissant penser que l'Education Nationale n'a pas l'intention de suivre les propositions contenues dans la lettre de Monsieur Laurent, et que cette lettre n'aurait été écrite que pour gagner du temps.

Le Chef du service formation base sa conviction sur un texte dont il a eu connaissance, postérieurement à la lettre de Monsieur Laurent et qui est en contradiction avec ce qui était annoncé.

---

<sup>11</sup> Robert Blum a présidé l'USIAS de 1967 à 1968

Cette décision du Directeur des Enseignements Supérieurs prévoit l'ouverture de départements de l'IUT de Paris pour la rentrée d'octobre 1967 à savoir :

- construction mécanique et énergétique à Cachan ;
- construction mécanique et électronique à Ville d'Avray.

Or il serait logique, étant données les installations matérielles des laboratoires et ateliers des lycées techniques de Cachan et de Ville d'Avray et les réalisations envisagées dans la lettre de Monsieur Laurent qu'un département énergétique moteurs orienté vers les techniques aérospatiales soit ouvert à Ville d'Avray. Par contre la décision du Directeur des Enseignements Supérieurs envisage de créer un département énergétique sans spécialisation à Cachan et rien de ce type à Ville d'Avray. Monsieur Malroux voit dans cette décision de la Direction des Enseignements Supérieurs une preuve manifeste de ce qu'il subodore.

Plusieurs membres de la Commission s'étonnent d'une telle décision et Monsieur Moissenet note que si ces faits s'avéraient exacts il faudrait revoir notre position, la lettre du Président Blum en particulier ayant été rédigée sur des bases devenues erronées.

Monsieur Pichon souhaite que l'USIAS demande au Ministère de l'Education Nationale de fixer une date au plus tôt pour la création de la Commission bipartite prévue.

Monsieur Moissenet pense qu'il faut attendre un peu, ne serait ce qu'à cause de la lenteur des transmissions, mais si dans une quinzaine de jours l'Education Nationale n'a pas répondu à la lettre du Président il faudra la relancer en lui demandant toutes explications utiles et de proposer une date la plus rapprochée possible pour la réunion de la Commission mixte.

Monsieur Autin ne pense pas que le document cité par Monsieur Malroux soit en contradiction avec la lettre de Monsieur Laurent. La Commission a toujours su en effet que l'Education Nationale ne voulait pas créer un département aéronautique qui aurait été, à son sens, contraire à l'esprit des textes créant les IUT et il était certain qu'un jour ou l'autre Ville d'Avray et Toulouse deviendraient des départements d'IUT.

D'ailleurs le Ministère de l'Education Nationale avait promis de donner une orientation aéronautique plus certaine aux programmes de certains départements de Ville d'Avray et de Toulouse, ceci se concrétisant de multiples façons : ingénieurs de la profession dans le corps professoral, représentants des industriels dans les conseils, travaux pratiques axés sur l'aéronautique, etc.

Monsieur Moissenet estime après avoir examiné de plus près les deux textes en question que la décision du Directeur des Enseignements Supérieurs est peut-être plus dangereuse qu'elle le paraît. Aussi, si dans les quinze jours le Ministère n'a pas répondu dans le sens demandé et en accord avec ce qu'il avait laissé espérer, il faudra exiger une prise de position plus nette et non discutable.

Monsieur Grimaud est de l'avis de Monsieur Autin. Il ne pense pas que les deux textes se contredisent. La Commission désirait la création d'un département aéronautique, mais il faut revenir à l'esprit de la réforme. On reprochait, lorsqu'il a décidé de créer les IUT à l'Enseignement Technique d'avoir créé un trop grand nombre de CAP, de brevets de technicien, de BTS. Il était fatal qu'il y eut une réaction. La deuxième lettre ne contredit pas la première. La création du département construction mécanique de Ville d'Avray ne veut pas dire qu'il n'aura pas une coloration aéronautique. Cette année vont être créés onze départements d'IUT de constructions mécaniques ; avec les quatre existants déjà, cela fera quinze départements de constructions mécaniques.

Il serait normal, proportionnellement à l'importance de la construction aéronautique vis à vis de l'ensemble des industries de construction mécaniques, qu'au moins un des quinze départements soit orienté vers l'aéronautique. Les autorités universitaires toulousaines contactées sur ce sujet sont d'accord pour cette orientation.

Monsieur Domas résume une enquête faite parmi les élèves de Ville d'Avray et de Toulouse, note que le recrutement s'étend à la France entière et qu'ils possèdent une vocation aéronautique à laquelle répond le « label » de ces établissements. Il s'étonne en outre qu'on le supprime en France alors qu'on crée des écoles spécialisées aéronautiques en Allemagne et en Angleterre.

### *Réunion du 20 juin 1967 présidée par Monsieur Moissenet VP de la Commission Formation*

#### *Participants :*

MM Donon (CNES), Richet (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Poyet (SNECMA), Bourgeois (SEREB), Dor, Meiller (Sud-Aviation), de Longeaux (UIMM), Revil, Stephano (UTA), Autin, Malroux (USIAS)

#### *Transformation des LTEA en départements d'IUT*

Avant de donner des précisions sur la question inscrite à l'ordre du jour, Monsieur Malroux estime nécessaire de faire le point sur l'ensemble du problème des IUT.

En octobre 1966, ont été ouverts en France treize IUT comprenant vingt-deux départements offrant sept disciplines

- Construction mécanique ;
- Electronique ;
- Energétique ;
- Chimie ;
- Biologie appliquée ;
- Génie civil ;
- Gestion des entreprises.

Le Ministre de l'Education Nationale vient d'annoncer qu'en octobre 1967, neuf IUT seront créées à Besançon, Caen, Le Mans, Clermont-Ferrand, Lyon, St Etienne, Nantes, Strasbourg et Metz. Ces créations portent le nombre des départements à soixante-et-onze et celui des disciplines à onze.

A la rentrée 1967 les départements d'IUT ouvert à Paris seront donc les suivants :

- département d'électronique de Cachan ;
- département de chimie d'Orsay (Faculté des sciences, laboratoire de synthèse organique) ;
- département d'électronique, de mécanique et d'énergétique (à titre expérimental) de Ville d'Avray (au LTEA) ;
- département d'informatique (LTE) Boulevard Bessières Paris ;
- département d'information-documentation (Centre Albert Chatelet) rue Calvin Paris.

Les deux premiers de ces départements existaient déjà à la rentrée de 1966. Les autres seront nouveaux. Une seule discipline nouvelle est créée dans le secteur secondaire « mesures physiques » (Spécialistes sachant faire des mesures sur des appareils scientifiques en laboratoires, à Caen).

Par contre dans le secteur tertiaire, trois disciplines nouvelles sont créées :

- relations-informations à Bordeaux (formation de journalistes) ;
- relations-documentation à Nancy et Toulouse (formation de documentalistes), à Paris et à Strasbourg (formation de documentalistes-traducteurs capables de traduire des documents techniques) ;
- carrières sociales : assistantes sociales, éducateurs, animateurs sociaux-culturels.

La section « gestion des entreprises » ouverte l'an passé à Grenoble, Reims et Angers, sera dès octobre prochain remplacée par deux départements distincts :

- techniques et commercialisation ;
- administration des collectivités et entreprises.

Mais jusqu'à maintenant il n'y a pas de programme et la mise en place de ces départements se fait dans le désordre et l'incohérence, car les divers organismes publics et privés qui ont à connaître ces problèmes du secteur tertiaire ont des avis parfaitement divergents. Ce qui est important de retenir pour la profession, c'est la création de nouvelles disciplines : il y a là un précédent favorable à notre demande d'ouverture d'un département aérospatial.

Dans le secteur secondaire, il n'y a pas de problème pour l'électronique (l'ancien programme du BTSE a servi de base au programme du DUT d'électronicien) et l'électrotechnique (qui s'est séparée de l'énergétique).

Pour l'aéronautique la situation est toujours au point mort. Monsieur Cancet a demandé par lettre du 23 mai que la profession participe à l'harmonisation des programmes des DUT et des anciens BTSA. Comme il n'y avait pas alors de réponse du Secrétaire Général du Ministère de l'Education Nationale à la lettre du Président sur la constitution d'une commission mixte, le Délégué Général a envoyé au Directeur du LTEA de Ville d'Avray une réponse dilatoire.

Quelques jours après, la réponse de Monsieur Laurent est parvenue à l'USIAS : il accepte la constitution d'une commission paritaire mixte et demande les noms des représentants de la profession. Le Conseil d'Administration de l'USIAS a examiné la réponse à faire au cours de sa réunion du 8 juin. La représentation de l'USIAS comprendra :

- les Présidents de l'USIAS et du GEU ;
- le président de la Commission de Formation et le Chef du Service Formation-Promotion de l'USIAS ;
- trois Membres représentant les principales sociétés et désignés après avis de la Commission Formation, leur niveau étant déterminé après contact avec l'administration.

L'USIAS a répondu dans ce sens. Il reste donc à choisir les trois représentants des sociétés. Après discussion la Commission Formation désigne :

- pour Sud-Aviation Monsieur Meiller ;
- pour Nord-Aviation Monsieur Pichon ;
- pour les Avions Marcel Dassault Monsieur Prax.

Monsieur Malroux ajoute que Monsieur Farran rencontré au Salon de Toulouse lui a dit avoir reçu une lettre de Monsieur Laurent lui communiquant photocopie de la correspondance échangée entre le Secrétaire Général et l'USIAS et lui demandant de veiller au maintien de la vocation aérospatiale des départements d'IUT remplaçant le LTEA de Toulouse. Monsieur Farran l'a chargé de répéter au Président de l'USIAS qu'il était fermement décidé à respecter l'orientation vers l'aéronautique des

départements d'IUT remplaçant le lycée de Toulouse. Par ailleurs Monsieur Cancet a informé l'USIAS que le 5 juillet doit se réunir la Commission de sélection des étudiants candidats au Centre IUT de Ville d'Avray. Cette Commission doit être constituée de professeur d'IUT et de membres des secteurs industriels.

Monsieur Dufour souhaite que ces derniers soient exclusivement des représentants de l'aéronautique. Proprio-motu, Monsieur Cancet a proposé pour la construction mécanique et l'énergétique MM Moissenet et Malroux et pour l'électronique MM Joffrin et Boudiques qui ont déjà donné leur accord.

Monsieur Malroux estimant qu'il n'y a pas lieu de décliner la proposition faite, la Commission avalise les désignations en question. En outre Monsieur Cancet a fait savoir au Chef du Service Formation qu'en ce qui concerne le Conseil d'Etablissement (qui s'occupera de tous les départements de l'IUT de Paris et pas seulement du Centre de Vill d'Avray) quatre personnalités doivent y représenter l'industrie ; sur ces quatre, une place sera réservée à l'industrie aéronautique.

Monsieur Dufour doit écrire en ce sens au Délégué Général de l'USIAS pour lui demander de désigner le représentant de l'aéronautique au sein de ce Conseil.

Monsieur Autin fait remarquer que cette proportion n'est pas défavorable à la profession, bien au contraire, mais il estime qu'il serait souhaitable d'avoir également un représentant dans les places réservées au corps professoral. Il demande à la Commission qui désigner pour ce Conseil d'Etablissement ?

Monsieur Malroux estime que ce ne peut être que le Président de l'USIAS avec possibilité de se faire représenter par le Président de la Commission de Formation.

Monsieur Moissenet recueille l'accord de la Commission.

Monsieur Malroux termine son exposé sur les IUT en donnant quelques renseignements complémentaires sur les perspectives ouvertes par cette réforme. Quel que soit le jugement porté sur la nécessité de la généralisation d'un tel niveau de formation, on peut se demander si l'on n'est pas en train de créer trop d'IUT. Chaque ville de quelques dizaines de milliers d'habitants veut avoir le sien.

Que va-t-on faire de tous les diplômés universitaires de technologie qui vont dans les deux ans sortir de tous ces départements ? Et que vont devenir les Ecoles Nationales d'Ingénieurs de Brest, Saint-Etienne, Belfort, Metz, Tarbes et les INSA de Lyon et de Toulouse ?

Enfin il faut signaler qu'un petit groupe de travail, émanation de la Commission du Titre, essaie de définir le profil de l'ingénieur et d'articuler la formation des ingénieurs avec celle des DUT. Il semble que ce groupe prendra position sur la protection du titre d'ingénieur diplômé et sur l'appellation à donner aux élèves diplômés des IUT : ingénieur technicien ?

Le CNPF et l'UIMM alertés sont en train de contrebattre cette position, car le patronat ne veut pas que les élèves des IUT aient un titre d'ingénieur, fut-il d'ingénieur - technicien à cause des répercussions possibles sur les conventions collectives et les salaires.

## 2.6. La transformation des LTEA en départements d'IUT est engagée.

### *Réunion du 18 juillet 1967 présidée par Monsieur Moissenet VP de la Commission Formation*

#### *Participants :*

MM Bournazel (CNES), Richet (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Bourgeois (SEREB), Meiller (Sud-Aviation), de Longeaux (UIMM), Gagey (UTA), Adenot, Autin, Malroux (USIAS)

#### *Transformation des LTEA en départements d'IUT*

Monsieur Moissenet fait part à la Commission de l'excellente impression qu'il a rapportée de deux réunions avec le Directeur et les professeurs de l'IUT de Paris auxquelles il a assisté avec MM Joffrin et Malroux. Ce sont des gens extrêmement compréhensifs et d'une grande honnêteté intellectuelle. En particulier le Vice-Recteur de l'Académie de Paris est un homme remarquable avec qui les contacts ont été cordiaux, contacts qu'il souhaite poursuivre. Il a écouté nos observations, trouvé nos arguments valables et les a en général approuvés.

Quand à l'admission à Ville d'Avray elle a fait l'objet d'un examen très approfondi. Monsieur Malroux donne les détails relatifs à ces travaux.

Une Commission de sélection s'est réunie le mercredi 5 juillet au LTEA de Ville d'Avray pour choisir les élèves à admettre dans les trois départements d'IUT qui en octobre 1967 remplacent les classes de reconversion et la première année de TS. Cette Commission comprenait Monsieur Dufour, Directeur de l'IUT de Paris, les deux professeurs de Facultés nommés Directeurs des départements d'énergétique thermique et de construction mécanique (Monsieur Crabol) et d'électronique - automatisme (Monsieur Badoual) du « Centre de Ville d'Avray » et trois représentants de la profession : MM Joffrin, Moissenet et Malroux.

Ce choix sur dossier de présentation a été fait avec beaucoup de minutie et il n'y a pas à craindre, bien au contraire, une diminution de la valeur des étudiants à l'entrée dans l'IUT par rapport à celle des élèves du Lycée technique les années précédentes.

Le 11 juillet le jury d'admission à l'IUT de Paris s'est réuni sous la présidence du Vice-Recteur, Monsieur Chalin, du Rectorat de l'Académie de Paris. Le rôle de ce jury était d'avaliser les listes d'admission établies pour tous les départements d'IUT par les Commissions de sélection et d'étudier quelques cas particuliers. Il comprenait sous la présidence du Vice-Recteur et la vice-présidence de Monsieur Dufour, les six directeurs des départements de l'IUT de Paris :

- Electronique Cahan : M Bubus ;
- Chimie Orsay : M Condanne ;
- Informatique boulevard Bessières : M Cortillot ;
- Centre de Ville d'Avray : MM Cancet, Badoual et Crabol ;

et six représentants des professions MM :

- Clément (Kodak) pour la chimie ;
- Romieux (CFTH) pour l'électronique ;
- Couso (Galerie Lafayette) pour l'informatique ;
- Joffrin, Moissenet et Malroux pour les trois départements du Centre de Ville d'Avray.

Après que Monsieur Dufour ait exposé les critères adoptés pour la sélection des étudiants et que le jury ait examiné en détail quelques cas litigieux, les listes établies par les Commissions ont été approuvées.

Il a été décidé, faute de candidats, de locaux disponibles et de programme de reporter à une date ultérieure l'ouverture, initialement prévue pour octobre 1967, du département relations publiques/documentation.

Les représentants de la profession ayant eu l'occasion de faire remarquer la valeur, du point de vue propagande et maintien d'un haut niveau de recrutement, de la vocation vers l'aéronautique et l'espace d'un grand nombre de candidats et donc la nécessité d'incorporer le terme aérospatiale dans le nom du Centre de Ville d'Avray, pour bien marquer son orientation, le Vice-Recteur a approuvé chaleureusement cette proposition. Il en a pris note et il demandera à Monsieur Aigrain de l'autoriser à appeler l'ensemble des trois départements de Ville d'Avray « Centre aérospatiale de l'IUT de Paris ». Il souhaite que cela puisse être réalisé au moment où en février/mars 1968 commencera la propagande de recrutement.

En ce qui concerne la mise en route de ces IUT on en est au stade expérimental. L'année scolaire 1967-1968 va permettre de détecter les imperfections du système et aussi ses avantages. En particulier les programmes devront être adaptés aux besoins des professions et ils devront être établis en accord complet avec les industriels.

Monsieur Malroux donne des indications sur la réglementation concernant les IUT parue récemment :

- AM du 22 juin 1967 (JO du 05/07) : Commission pédagogique nationale pour chacune des spécialités ;
- Circulaire du 25 juin 1967 (BOEN du 6 juillet) Organisation interne des IUT ;
- AM du 28 juin 1967 (JO du 18/07) Conditions d'admission dans les IUT et conditions d'obtention du DUT.

Monsieur Malroux termine son exposé en faisant remarquer que les bonnes dispositions des autorités parisiennes à notre égard se retrouvent à Toulouse. Le Recteur de l'Académie de cette ville a demandé à l'USIAS de lui faire connaître les noms de neuf personnalités (trois par spécialités) qui pourraient représenter l'industrie aéronautique et spatiale au sein du Comité local qui aura pour mission de maintenir l'orientation des enseignements vers les domaines propres de la profession.

L'USIAS, après avoir pris contact avec Monsieur Grimaud, a répondu au Recteur dans le sens demandé.

Monsieur Pichon a bien noté que les élèves des classes de reconversion du LTEA avaient été admis automatiquement à l'IUT, mais il voudrait savoir ce que deviennent les élèves qui étaient en première année de technicien supérieur.

Monsieur Malroux précise qu'ils continuent leurs études en TS2 et qu'ils passeront le BTSA en juin 1968. Il y aura donc au cours de l'année scolaire 1967-1968 dans l'établissement de Ville d'Avray des élèves de lycée technique internes et des étudiants d'IUT ayant toutes les libertés de l'enseignement supérieur.

Monsieur Adenot demande où en est l'élaboration des programmes.

Monsieur Malroux demande de se reporter aux organigrammes des études distribués en début de séance. Les programmes généraux des départements de construction mécanique, énergétique-thermique et électronique mis au point par les commissions pédagogiques nationales seront enseignés à Ville d'Avray.

Mais ils seront complétés par deux mois de cours de spécialisation aérospatiale qui remplaceront les stages industriels prévus. Monsieur Dufour tient beaucoup à ce que l'an prochain ces programmes soient définitivement mis au point en accord entre l'université et la profession.

Monsieur Adenot se réjouit de constater un revirement de tendance à l'Education Nationale en faveur d'une collaboration étroite avec la profession et Monsieur Moissenet en profite pour demander, que pendant quelques temps, on laisse évoluer cette affaire plutôt que d'indisposer les autorités responsables par des lettres de rappel où nous risquerions d'exprimer des exigences pour des détails et qui risqueraient d'obtenir des résultats inverses de ceux souhaités alors que nous sommes déjà bien près d'avoir obtenu satisfaction.

### *Réunion du 19 décembre 1967 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy*

#### *Participants :*

MM Aumont (Breguet Aviation), Bournazel (CNES), Domas (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Bourgeois (SEREB), Poyet (SNECMA), Carre (SFENA), Meiller, Monard (Sud-Aviation), Legrand (SOREAS), de Longeaux (UIMM), Gagey (UTA), Dufour (IUT Paris), Cancet (LTEAVA), Malroux (USIAS)

#### *Questions concernant l'IUT de Paris*

Monsieur Malroux fait rapidement le point de la situation des IUT.

Un arrêté du 16/11/67 publié au JO du 15 décembre ((complétant l'arrêté du 13/9/66) donne la liste des spécialités enseignées dans les IUT et les dates d'ouverture des départements correspondants. Parmi ceux-ci intéressent la profession :

- Paris (à Ville d'Avray) :
  - Electronique, télécommunication, automatismes ;
  - Energétique, électrotechnique ;
  - Génie mécanique (construction et fabrication).

Ces trois départements ouverts le 1/10/67

- Toulouse :
  - Electronique, automatisme, télécommunications  
département ouvert le 1/10/67 ;
  - Génie mécanique (construction et fabrication)  
département ouvert le 1/10/66.

L'article 2 de cet arrêté au 16/11/67, indiquant que pour l'année 67/68 l'IUT créé à Paris (Ville d'Avray) fonctionnera comme département de l'IUT de Paris (Cachan) nous permet de supposer qu'ultérieurement l'établissement de Ville d'Avray sera administrativement autonome ; c'est donc semble-t-il une facilité, un argument pour obtenir que ce groupe de département porte une appellation caractérisant sa vocation aéronautique; il pourrait s'appeler pour le moment « Centre aérospatiale de l'IUT de Paris »

Par contre la question est moins simple à Toulouse. Si comme on peut l'espérer, les départements :

- Génie mécanique (construction et fabrication) ;
- Energétique, électrotechnique ;
- Electronique, télécommunications et automatisme ;

correspondent approximativement aux trois anciennes spécialisations du BTSA : « cellules », « propulseurs » et « équipements », nous constatons qu'il n'est pas prévu actuellement de département « énergétique » (c.à.d propulseurs) à Toulouse. En outre, comme l'avait indiqué Monsieur Farran, Directeur de l'IUT de Toulouse lorsque la Commission l'avait rencontré au printemps dernier, les départements concernant la profession ne resteront pas dans l'immeuble actuel du LTEA et seront d'ici deux ans transférés dans le « Campus » universitaire de Rangueil.

Monsieur Malroux rappelle que le Président de l'USIAS avait demandé au Ministère de l'Education Nationale la constitution d'une commission mixte Université/industrie aérospatiale pour mettre au point sur le plan national les programmes des départements à vocation aérospatiale des IUT de Paris et de Toulouse. En juillet le Ministre, répondant à cette lettre, avait fait connaître que le Directeur des enseignements supérieurs prendrait contact avec l'USIAS dès le mois de septembre afin de fixer une date de réunion de cette commission.

Aucune autre précision n'étant parvenue à l'USIAS, le chef du Service Formation a communiqué toute cette correspondance au Directeur de l'IUT de Paris en lui demandant d'intervenir.

Au sujet de la convention liant la profession à l'Education Nationale pour la formation des Techniciens supérieurs, la publication au JO du 17 novembre 1967 (décret n° 67-996 du 15/11/67 relatif aux conventions types de formation professionnelle ou de promotion sociale, et circulaire du 15/11 relative à leur application) de deux modèles de conventions établies en application de la loi programme du 3/11/1966 n'apporte pas de modification préjudiciable à l'action entreprise ; il semble que celle-ci puisse facilement s'accorder avec les textes nouveaux.

A la suite de cet exposé le président demande aux membres s'ils ont des suggestions à formuler ou des éclaircissements à demander. Après un court échange de vues le Président estime que la discussion avec Monsieur Dufour Directeur de l'IUT de Paris sera menée dans ce sens.

### *Réunion du 19 mars 1968 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy*

#### *Participants :*

MM Prax (AMD), Bournazel, Donon (CNES), Moissenet, Domas (Hispano-Suiza), Susini (Nord-Aviation), Bourgeois (SEREB), Carré (SFENA), Poyet (SNECMA), Meiller, Monard (Sud-Aviation) Couturier (SOREAS), Dufour (Turboméca), de Longeaux (UIMM), Gagey (UTA), Malroux (USIAS)

#### *IUT de Paris*

Après installation du Conseil par Monsieur le Recteur Roche, Monsieur Dufour, Directeur de l'IUT a exposé les points suivants :

- organisation générale de l'IUT de Paris – structure par départements ;
- liste des départements créée et envisagés ;
- structure d'un département ;
- effectifs ;
- articulation avec l'Enseignement du 2ème degré et l'Enseignement supérieur traditionnel.

Puis Monsieur Dufour a insisté sur la réalisation du Centre de Ville d'Avray, où la transformation du LTEA en IUT ne posait pas de problème pédagogique (du fait qu'il n'y avait que des élèves ayant dépassé le niveau de baccalauréat), ni de problème d'équipement (le LTEA étant remarquablement équipé par la profession et le Ministère

des Armées), mais par contre soulevait une grosse question technique, la profession et la DMA voulant conserver la vocation aérospatiale de l'établissement (ce qui était en principe contraire aux volontés de la Direction des Enseignements supérieurs)

Monsieur Dufour a donné lecture de la correspondance échangée entre l'USIAS et le Secrétaire Général du Ministère en terminant par la dernière lettre de Monsieur Laurent accordant à Ville d'Avray l'appellation « Techniques aérospatiales ».

Cet exposé terminé, le Recteur, le Vice-Recteur et Monsieur Dufour se sont félicités que le Ministère ait reconnu la vocation aérospatiale des 3 départements de Ville d'Avray et donné satisfaction à la demande de l'USIAS.

Puis Monsieur Dufour a demandé au Conseil d'avaliser la constitution des 3 sous-groupes de travail constitués en accord avec la profession aérospatiale pour mettre au point le programme des 3 départements de Ville d'Avray. Ce qui a été fait.

Le Conseil a approuvé le projet de budget (qui n'est d'ailleurs que provisoire et se monte à 1,5 millions), puis examiné les rapports pédagogiques des départements de chimie (à Orsay) et d'électronique (à Cachan) qui fonctionnent depuis 1966.

### *Réunion du 23 avril 1968 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy*

#### *Participants :*

MM Prax (AMD), Aumont (Breguet Aviation), Donon (CNES), Gouttières (EMD), Moissenet, Richet (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Bourgeois (SEREB), Poyet (SNECMA), Carre (SFENA), Meiller, Monard (Sud-Aviation) Couturier, (SOREAS), de Longeaux (UIMM), Gagey (UTA), Adenot et Malroux (USIAS)

#### *Réunion du Comité spécialisé de l'IUT de Toulouse*

Au cours du voyage et de la réunion à Toulouse, l'an dernier, de la Commission de formation avec Monsieur Farran, Directeur de l'IUT, il avait été décidé qu'un comité comprenant des personnalités locales de l'industrie aérospatiale et des représentants de l'Université de Toulouse serait constitué pour assurer l'orientation vers les domaines propres à l'aéronautique de l'enseignement dispensé dans certains départements de l'IUT. Monsieur Richard, Recteur de l'Académie de Toulouse, a par arrêté du 1er mars, constitué ce comité, qui comprend, sous sa présidence :

- Neuf représentants des professions rattachées à l'aéronautique :
  - MM. Dufour, Directeur de l'usine de Toulouse de Sud-Aviation ;
  - Grimaud, Conseiller Technique pour la région du Sud-Ouest de l'usine de Sud-Aviation ;
  - Hourcadet, Directeur des ateliers d'aviation Louis Bréguet ;
  - Markich, Directeur Administratif de la Sté Industrielle d'aviation Latécoère ;
  - Bayard, Président Directeur Général des ateliers SEMCA (Sté d'étude du matériel du contrôle aéronautique) ;
  - Nadler, Directeur de la Sté Générale d'Equipements à Villemur ;
  - Martin-Neuville, Directeur de lq Sté d'Aéronautique et de Mécanique Générale Turboméca à Bayonne ;
  - Huet, Directeur de la Division Aéronautique Ratier-Forest à Figeac,
  - Arnaud, Sous-Directeur de l'usine de Toulouse de Sud-Aviation.
- Huit représentants de l'Education Nationale :
  - MM. Farran, Directeur de l'IUT,
  - Combes, Chef du département de génie mécanique de l'IUT ;
  - Wind, Professeur au département de génie mécanique de l'IUT ;
  - Constansa, Professeur au département de génie mécanique de l'IUT ;
  - Bras, Professeur au département de génie mécanique de l'IUT ;

- Duchevalard, Directeur du Lycée technique aéronautique ;
- Martin, Professeur au département de génie électrique de l'IUT ;
- Galaud, Professeur au département de génie électrique de l'IUT.

Une première réunion de ce comité a eu lieu le 22 mars et le Recteur avait demandé à l'USIAS d'y assister.

Monsieur Richard et Monsieur Farran ont exposé la situation actuelle des divers départements de l'IUT de Toulouse :

- 1 département génie mécanique créé en octobre 1965 ;
- 1 département électronique créé en Octobre 1966 ;
- 1 département informatique créé en octobre 1967 ;
- 1 département génie électrique créé en octobre 1967 ;
- 1 département information/documentation créé en octobre 1967.

Prévus en octobre 1968 :

- 1 département administration des collectivités ;
- 1 département génie chimique.

Monsieur Richard a insisté sur la nécessité de contacts fréquents et précis avec les industriels, pour que l'enseignement des IUT soit efficace et corresponde aux exigences des industriels.

S'il n'y a pas de problème pour les départements de génie mécanique et d'électronique qui prennent la suite des sections cellules et équipements du Lycée aéronautique, il s'en pose un pour les propulseurs.

On ne peut créer à Toulouse 1 département de génie thermique comme à Ville d'Avray, puisqu'un département d'IUT doit compter 150 élèves et que l'on ne peut guère escompter trouver des débouchés pour 300 diplômés dans cette spécialité. Mais les industriels et les Universitaires toulousains sont unanimes pour en avoir un.

Il a donc été décidé que le département de constructions mécaniques de l'IUT de Toulouse aurait une section « propulseurs ».

Décision qui a permis à Monsieur Dufour de déclarer que l'on se retrouvait pratiquement au point de départ et que l'on refaisait le Lycée aéronautique sous un autre nom.

Monsieur Malroux termine cet exposé en donnant lecture de la lettre n° 5800 du 9/4/1968 du Secrétaire Général du Ministère de l'Education Nationale qui a décidé d'étendre aux départements de l'IUT de Toulouse, qui ont pris la suite du Lycée aéronautique, la mesure prise pour Ville d'Avray, c'est à dire que leur appellation sera complétée par la mention « technique aérospatiale ».

## *2.7. IUT et LTEA ultimes négociations, place à la formation aux DUT.*

*Réunion du 18 juin 1968 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy*

*Participants :*

MM Bournazel (CNES), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Bourgeois (SEREB), Carré (SFENA), Monard (Sud-Aviation) Cuau, Legrand (SOREAS), de Longeaux (UIMM), Gagey (UTA), Malroux (USIAS)

*IUT et LTEA – Commissions – perspectives*

Monsieur Malroux rend compte de la dernière réunion du Conseil d'Administration du LTEA qui avait une importance particulière puisqu'elle mettait fin à l'existence du LTEA dont les installations matérielles vont être transférées à l'IUT de Paris (enseignement) et COPAR (Comité parisien des œuvres universitaires – pour les locaux de vie). Les crédits disponibles ont été utilisés pour achever certains aménagements, cour, jardins, salles à manger et de réunion, etc...

Les événements de mai/juin et les émeutes du Quartier Latin ont eu peu d'écho à Ville d'Avray où les Lycéens et Etudiants voulaient continuer leurs études. Mais les grèves de certains Membres du corps professoral, les pressions des étudiants de Nanterre, le départ du personnel subalterne en grève, ont entraîné quelques défections et ont conduit les élèves à vivre un temps en autarcie.

Les étudiants de l'IUT ont bien sûr, présenté des revendications ; le service Formation n'en a eu que des échos : elles paraissent en général pertinentes, rejoignent parfois les positions de l'industrie, et insistent sur le maintien de l'orientation aérospatiale de l'Etablissement.

Quoiqu'il en soit, ils étaient partisans à une grosse majorité du maintien de l'examen du BTSA. Celui-ci devait avoir lieu les 17, 18 et 19 juin, ce qui n'entraînait aucune difficulté, les sujets ayant été établis et choisis et le jury désigné par écrit.

Mais le 16 au soir, le Directeur des enseignements scolaires a donné l'ordre de ne pas faire passer un tel examen et de se conformer à un arrêté sur les modalités de délivrances des BTS en 1968, qui allait paraître au JO (AM du 18/6/68 paru au JO du 23/6) : le BTSA serait, comme tous les autres BT et BTS, attribué au vu de l'examen des dossiers des élèves, un examen d'appel devant avoir lieu à la rentrée pour ceux qui n'auraient pas été admis en juin.

Aucun Membre de la Commission ne posant de question sur les LTEA, Monsieur Malroux passe aux travaux de la Commission pédagogique nationale des départements de génie mécanique des IUT. Au cours de sa réunion du 28 mars, elle a pris nettement position contre la décision du Secrétaire Général de l'Education Nationale d'attribuer aux départements de Ville d'Avray et de Toulouse l'appellation « techniques aérospatiales » Cette Commission n'a pas pris de décision au sujet des options possibles estimant que la création des IUT était encore trop récente pour pouvoir le faire.

Mais les événements de ces dernières semaines ont suspendu jusqu'à nouvel ordre ses réunions.

Le Ministère de l'Education Nationale a décidé d'étudier dans le cadre de la loi du 3/12/1966 et des décrets subséquents, la refonte de la Convention liant l'USIAS et le Ministère pour les cours de promotion sociale. Il semble qu'il n'y aura pas grand chose de changé, et le cours à plein temps aboutira au DUT.

Quant aux CAP de l'aéronautique, ils se passent normalement aux CET de Levallois et de Malakoff.

A la suite de cet exposé, le Président demande aux Membres s'ils ont des remarques à formuler. Il n'y en a pas.

### *Réunion du 17 septembre 1968 présidée par Monsieur Dugué Mac Carthy*

#### *Participants :*

MM Prax (AMD), Bergougnan, Aumont (Breguet Aviation), Bournazel (CNES), Gouttières (EMD), Richet (Hispano-Suiza), Pichon, Susini (Nord-Aviation), Bourgeois (SEREB), Bechu, Poyet (SNECMA), Dor, Monard (Sud-Aviation) Couturier, Legrand (SOREAS), de Longeaux (UIMM, Gagey (UTA), Adenot et Malroux (USIAS).

Monsieur Malroux rend compte des réunions qui ont eu lieu à Ville d'Avray et à Toulouse avant les vacances

#### *Ville d'Avray - le 28 juin 68, examen du BTSA*

Conformément aux prescriptions de l'arrêté ministériel du 18.6.68, le Brevet de technicien supérieur de l'aéronautique a été décerné non après examen comme les années précédentes, mais après discussion du dossier de chaque candidat par un jury dont il faisait partie. Ce dossier comprenait :

- les notes obtenues en compositions et interrogations au cours des deux années d'études, coefficient 1 pour la première année, 2 pour la deuxième année ;
- une note d'appréciation générale donnée par l'ensemble des professeurs réunis en « conseil de classe ».

En comparant les résultats donnés par ce mode de classement aux pourcentages de succès des années passées, le jury a décidé de recevoir les candidats ayant plus de 10 de moyenne, de discuter un par un le cas des candidats ayant entre 9,5 et 10 (compris), et d'éliminer les autres. Ces derniers pouvant se présenter à un examen d'appel qui est prévu « à la rentrée prochaine » mais dont les modalités ne sont pas fixées.

Les candidats du cours de promotion sociale ont été soumis à la même règle, puisque la convention entre l'USIAS et le Ministère prescrit qu'ils subissent en fin de cours l'examen national du BTSA.

Les résultats sont les suivants :

- option cellules : 28 candidats, 24 admis dont 1 TEFSTA, 4 renvoyés en appel dont 2 TEFSTA ;
- option propulseurs : 19 candidats, 15 admis, dont 3 TEFSTA, 4 renvoyés en appel dont 1 TEFSTA ;
- option équipements : 49 candidats, 41 admis, dont 8 TEFSTA, 8 renvoyés à l'examen dont 1 TEFSTA ;
- option hyperfréquences : 14 candidats, 14 admis ;
- cours à temps plein de Promotion Sociale :
  - option propulseurs : 6 candidats, 6 admis ;
  - option Equipements : 7 candidats, 7 admis.

Deux candidats n'ayant que 9,5 ont été admis, car le jury a estimé qu'ils n'auraient pas été équitable de les renvoyer à septembre/octobre (leur plein temps s'arrêtant fin juin) et parce qu'ils étaient de bons éléments, sérieux et travailleurs.

## *Toulouse : Situation de l'IUT et résultats du BTSA*

### 1. Situation de l'IUT :

Les événements de mai et juin se sont déroulés dans le calme au lycée technique ; il n'en a pas été de même à l'IUT, sans doute à cause de son installation dans les locaux de l'INSA et de la Faculté des Sciences à Rangueil ; ses étudiants ont, dès le début, « contesté » avec leur camarades des facultés, pris à partie les autorités universitaires et participé à de multiples réunions où tous les sujets de discussion possibles ont été brassés.

La Direction, l'organisation, la structure de l'IUT ont été violemment « contestés » et les comités d'étudiants ont demandé que les deux années d'IUT soient pratiquement assimilées aux premières années de Faculté, la « maîtrise » et le « DUT » étant fondus l'un dans l'autre.

Ces propositions, qui ont trouvé un écho favorable chez certains dirigeants et professeurs, mettant en cause le principe même d'IUT et de toute formation technologique, ont quand même soulevé quelques oppositions.

Profitant de cette occasion, Monsieur Duchevalard, Directeur du LTEA a réussi à constituer avec des élèves du lycée et quelques étudiants de l'IUT un « comité de réflexion provisoire », qui après discussion a émis le vœu que la structure des IUT soit maintenue, qu'elle soit adaptée aux débouchés industriels et qu'en particulier un Département aéronautique et spatial soit constitué à l'IUT de Toulouse.

Le Recteur Richard a retenu cette proposition ; elle a été soumise au Ministre de l'Education Nationale qui l'a accepté et, un texte va prochainement paraître instituant à l'IUT de Toulouse un « Département aérospatial », distinct et autonome ; les cours y seront organisés ainsi :

Première année commune,

Deuxième année diversifiée en deux options :

- Mécanique (recouvrant les anciennes spécialisations Cellules et Propulseurs) ;
- Physique (autrement dit, Equipement).

### 2. Résultats du BTSA :

Conformément aux décisions ministérielles, un jury a délivré les BTSA sur examen des dossiers, les normes adoptées étant à peu près les mêmes que celles suivies à Ville d'Avray. Les résultats sont les suivants :

- Cellules, 20 admis, 14 renvoyés à l'examen de septembre
- Propulseurs, 20 admis, 12 renvoyés à l'examen de septembre
- Equipements, 36 admis, 25 renvoyés à l'examen de septembre.

Le pourcentage de reçus (70% environ) est analogue à celui des années précédentes.

Les élèves de la 1<sup>ère</sup> année de la section propulseurs (qui avaient été recrutés le 1/10/67) sont admis en 2<sup>ème</sup> année et doivent entrer en principe à l'IUT Aéronautique.

*Le LTEA de Toulouse est comme celui de Ville d'Avray, dissous à la date du 1<sup>er</sup> octobre 1968. Les locaux de la rue Mondran sont répartis entre l'IUT (ateliers, salles de classes, laboratoires) et un lycée technique d'Etat (dortoirs, réfectoires). Le corps enseignant est affecté soit à l'IUT, soit à des lycées et collèges toulousains. Monsieur Duchevalard est nommé Directeur du Lycée Technique d'Etat de Béziers.*

**C'est ici que s'arrête l'histoire retracée dans ce document :**

avec l'attribution des derniers BTSA de la promotion 1968 et la disparition des lycées techniques d'Etat aéronautiques de Ville d'Avray et de Toulouse.

Les discussions pour mettre au point le nouveau dispositif des IUT vont se poursuivre entre l'Education nationale, le Ministère des Armées et l'industrie aérospatiale. Les archives de la Commission de formation de l'USIAS, toujours aussi riches en détails et rebondissements, en témoignent.

Par exemple, la dissolution des deux lycées a rendu caducs tous les accords pris antérieurement avec la profession. Ceci concerne notamment les dispositions relatives aux cours de promotion, les accords avec la Défense pour la formation des TEFSTA, etc. Tout est à renégocier avec l'Enseignement supérieur.

### 3. EPILOGUE

Les projets de réformes de l'enseignement prévoyaient dans les années 60 le remplacement des BTS par des DUT. (Cf. art 10 du décret n° 66/27 du 7 janvier 1966 portant création des IUT). Mais les réformateurs n'étaient pas les seuls et leur projet fut âprement discuté au sein même de l'Education nationale et par l'ensemble de l'industrie comme le montrent les archives de la Commission formation de l'USIAS devenu depuis le GIFAS et d'autres documents concernant l'Education nationale.

*Contrairement au projet initial, les BTS se sont maintenus et même développés plus que les DUT.*

« En fait les BTS ont été développés par les sections supérieures des lycées techniques et les lycées polyvalents et sont passés de 10000 diplômes décernés en 1970 à près de 53000 en 1990 et 237000 en 1993 alors que les DUT sont passés de 6500 en 1970 à près de 28000 en 1990 et 90000 en 1994.

Il n'y a pas eu véritablement concurrence entre les deux structures, Mais aussi et peut-être surtout, l'une et l'autre des structures ne constituent pas au même titre un débouché réel pour les titulaires des baccalauréats technologiques : s'ils fournissent en moyenne 75% des effectifs des BTS, ils n'alimentent qu'à hauteur de 30% les IUT, ce qui justifie, dans la fin des années 1980, de multiples campagnes pour compenser de manière volontariste ce déséquilibre, en particulier en tentant d'imposer des quotas de bacheliers technologiques à l'entrée des IUT. » Cf Histoire de l'enseignement technique par P. Pelpel et V. Troger (page 122)

*Pour les responsables des IUT, l'histoire fut moins simple que prévu :*

« C'est la loi N° 84-52 du 26 janvier 1984, dite loi SAVARY, relative à l'enseignement supérieur qui a donné aux instituts créés au sein des universités le cadre juridique qui régit toujours les IUT. Cette loi qui, depuis sa promulgation, n'avait fait l'objet que de quelques retouches, régit toujours l'enseignement supérieur en France. Son inconvénient majeur, en ce qui concerne les IUT, est qu'elle « banalise » le DUT en l'intégrant dans le premier cycle de l'enseignement supérieur sans prendre en considération le nombre d'heures de formation dispensées dans les instituts, lequel est sans commune mesure avec celui de tel ou tel DEUG de l'époque. D'où l'appellation erronée de « Bac + 2 » passée dans les mœurs (et surtout dans les médias) pour qualifier le niveau d'un DUT en l'assimilant à un simple premier cycle universitaire, ce contre quoi nous devons nous élever en permanence, aucun premier cycle n'offrant une formation aussi intensive et concentrée qu'un IUT.

Dans le même temps, cette loi a largement bénéficié aux STS (sections de techniciens supérieurs) créées en 1952 lesquelles, en se voyant reconnaître une équivalence de premier cycle universitaire, avec la possibilité d'accès direct au second cycle que cela

implique pour les BTS, ont connu un formidable développement. Ce dernier a été favorisé également par la facilité avec laquelle une section de TS peut être ouverte dans un lycée, alors que l'ouverture d'un nouveau département d'IUT est un véritable « parcours du combattant », difficulté à laquelle s'ajoute le blocage de la croissance des IUT de 1975 à 1990 » Cf Memento du président de l'IUT

### *Concernant l'aéronautique :*

Par décision ministérielle du 19/2/1969, l'IUT de Paris Ville d'Avray est devenu un établissement autonome.

Pour des raisons d'influences locales, les solutions retenues initialement à Ville d'Avray et à Toulouse comportent quelques différences :

- A Ville d'Avray :
  - le BTS Cellule est remplacé par le DUT génie mécanique avec adaptation locale et trimestre post-DUT ;
  - le BTS Propulseur est remplacé par le DUT génie thermique et trimestre post-DUT ;
  - le BTS Equipements de bord est remplacé par le DUT génie électrique (option automatisme) avec adaptation locale ;
  - la 3ème année hyperfréquence est remplacée par un trimestre post-DUT.
- A Toulouse :
  - le BTS cellule est remplacé par le DUT génie mécanique avec la seule adaptation locale (20%) aéronautique ;
  - le BTS propulseur est remplacé par le DUT génie mécanique avec en option en 2ème année une formation « construction propulseurs » ;
  - le BTS équipements de bord est remplacé par le DUT génie électrique (automatique) avec 20% d'adaptation aéronautique.

« Ville d'Avray » est resté un symbole fort pour les milieux aéronautiques qui ont finalement trouvé au sein de l'IUT une place répondant à leurs besoins, à la fois pour la formation des personnels de la DGA au titre d'une convention et pour la formation des personnels de l'industrie aéronautique. La profession participe toujours activement à la formation et aux orientations de l'IUT au sein des commissions consultatives et pédagogiques.

Malgré le blocage évoqué par le président des IUT, le nombre d'IUT créés avant ou après 1990 et préparant des diplômes à orientation aéronautique (DUT et licences professionnelles) est relativement conséquent sur l'ensemble du territoire. (Voir le catalogue GIFAS/ISSAT)

Un nouveau BTS Maintenance et exploitation des matériels aéronautiques MEMA a été redéfini en 1985 pour sanctionner des formations dans de nouveaux lycées techniques à orientation aéronautique. En 2009, ce BTS a été rénové et rebaptisé BTS « aéronautique » (dénomination plus attractive) plus de quarante ans après la fin des premiers BTSA. Le BTS Aéronautique est actuellement préparé dans 12 établissements de formation en France.

## 4. ANNEXES

### Liste des personnes citées

Nom	Prénom	organisme	fonction
Adenot	J N	USIAS	Délégué Général
Aigrain		Enseignement Supérieur	Directeur
Archambeaud		Peugeot	Dir Formatio professionnelle
Aumont		Breguet	Resp formation
Autin		USIAS	Dél Général Adjoint
Autresson		Sud Aviation	
Barot		Hispano Suiza	
Bayard		SEMCA	PDG
Beausoleil Mlle		AMD/BA	
Bechu		SNECMA	
Bergougnan		Breguet Aviation	
Bernard		Cabinet du Dir Ens Sup	Conseiller permanent
Berge		Sud Aviation	
Billecocq	Pierre	Min Education Nationale	Cabinet du ministre
Blouin	Emile	ENICA	Directeur
Blum	Robert	USIAS	Président
Bourgeois		SEREB	
Bournazel		CNES	
Bregeon		SNECMA	
Brosset		CNES	
Cahen-Salvador	Jean	USIAS	Président
Campas		Enseignement Technique	Inspecteur Général
Campe		Enseignement Technique	Inspecteur Général
Cancet	Henri	ETA-LTEA VA	Directeur
Cancet	Robert	Enseignement Technique	Directeur de Cabinet
Capelle		Education Nationale	Directeur Prog Scolaires
Carre		SFENA	Chef du Personnel
Cervellet		Education Nationale	Inspecteur Pincipal
Chalin		Rectorat Aca Paris	Vice recteur
Chapulut		CNPF	Pdt commission formation
Clerc		Nord Aviation	
Corpet		CNPF	
Corroller		Nord Aviation	
Couturier		SOREAS	
Cuau		SOREAS	Secrétaire Général
de Longeaux		UIMM	
Domas		Hispano Suiza	
Donon		CNES	
Dor		Sud-Aviation	
Duccray		Cabinet du SG Min Ed Natl	Chargé mission
Duchevalard	Georges	ETA-LTEA Tlse	Directeur
Dufour		Sud Aviation Tlse	Directeur Usine
Dufour		Turboméca	

<b>Nom</b>	<b>Prénom</b>	<b>organisme</b>	<b>fonction</b>
Dugué Mac Carty		SNECMA	Dir relations du travail
Dupuy		DTIA	Bureau Formation
Eckert		Breguet	
Farran		INSA Toulouse	Directeur
Fritsch		Enseignement Technique	Inspecteur Général
Gagey		UTA	
Gouttieres		EMD	
Grimaud		Sud-Aviation	Ancien Direct Tlse
Guilbot		USIAS	Directeur
Guillen		UIMM	
Hammond		Ministère Ed Nationale	Sous Directeur
Harlaut		USIAS	
Helloboid			
Huot-Marchand		GIFAS	
Kerdiles		SEPR	
Laurent		ENSMA	Directeur
Laurent	Pierre	Education Nationale	Secrétaire Général
Legrand		SOREAS	
Longeot		Instruction Publique	Inspecteur Général
Malavoit		AFORP	
Malroux		USIAS	Chef Service Formation
Manson		ENSMA	
Marandon		CNES	
Maxe		Enseignement Technique	Inspecteur général
Meiller		Sud Aviation	
Moissenet		Hispano Suiza	
Monard		Sud Aviation	
Morice	André	Enseignement Technique	Secrétaire d'Etat
Noel		SEREB	
Pagezy		DMA	DPAG
Pascaud		DTIA	
Pelle		SEREB	
Pichon		Nord Aviation	
Plan	Max	IUT Orléans	Directeur
Ponchin		SEPR	
Poyet		SNECMA	
Prax		GAM Dassault	
De Prittwitz		SNECMA	Directeur école
Puget		USIAS?	
Reverdy		Enseignement Technique	Conseiller permanent
Richet		Hispano Suiza	
Roche		Educ Nationale	Recteur
Roger		Enseignement Technique	Inspecteur Principal
Revil		UTA	
Sadoc		LTEA VA	Dir des études
Saigne		ENSMA	
Schaaff		GIMRP	Dir format professionnelle
Stephano		UTA	
Susini		Nord Aviation	
Theron		Min ED Natl	Directeur pédagogie
Van Wynsberghe		Messier	
Viannay		SEPR	

## Principaux sigles et abréviations

<b>AMD</b>	Avions Marcel Dassault
<b>BEI</b>	Brevet d'enseignement industriel
<b>BTS</b>	Brevet de technicien supérieur
<b>BTSA</b>	Brevet de technicien supérieur aéronautique
<b>CNAM</b>	Conservatoire national des arts et métiers
<b>CNES</b>	Centre national d'études spatiales
<b>CNPF</b>	Conseil national du patronat français
<b>COMAERO</b>	Comité pour l'histoire de l'aéronautique
<b>CUCES</b>	Centre universitaire de coopération économique et sociale
<b>DCAé</b>	Direction des constructions aéronautiques(1977)
<b>DEST</b>	Diplôme d'études supérieures techniques
<b>DGA</b>	Délégation générale pour l'armement (1977)
<b>DGAC</b>	Direction générale de l'aviation civile
<b>DGESCO</b>	Direction générale de l'enseignement scolaire
<b>DGESIP</b>	Direction générale pour l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle
<b>DMA</b>	Délégation ministérielle pour l'armement (1961)
<b>DPAG</b>	Direction des personnels et des affaires générales
<b>DPAI</b>	Direction des programmes et des affaires industrielles
<b>DPAI</b>	Direction des programmes et des affaires industrielles
<b>DTCA</b>	Direction technique des constructions aéronautiques(1961)
<b>DTIA</b>	Direction technique et industrielle de l'aéronautique
<b>DUT</b>	Diplôme universitaire de technologie
<b>EFPIA</b>	Etablissement de formation professionnel de l'industrie aéronautique
<b>EMD</b>	Electronique Marcel Dassault
<b>ENAC</b>	Ecole nationale de l'aviation civile
<b>ENICA</b>	Ecole nationale d'ingénieurs des constructions aéronautiques
<b>ENP</b>	Ecole nationale professionnelle
<b>ENPA</b>	Ecole nationale professionnelle de l'air (Cap Matifou)
<b>ENSAE</b>	Ecole nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace
<b>ENSAé</b>	Ecole Nationale supérieure de l'aéronautique
<b>ENST</b>	Ecole nationale supérieure des télécommunications
<b>ENSMA</b>	Ecole nationale supérieure de mécanique et d'aérotechnique
<b>ENTA</b>	Ecole nationale des travaux aéronautiques
<b>EPNER</b>	Ecole du personnel navigant d'essais et de réception
<b>ESACM</b>	Ecole supérieure d'aéronautique et de construction mécanique
<b>ESTA</b>	Ecole spéciale des travaux aéronautiques
<b>ETACA</b>	Ecole de techniques aéronautiques et de construction automobile
<b>ETA</b>	Ecole technique aéronautique
<b>GAMD</b>	Générale aéronautique Marcel Dassault
<b>GIFAS</b>	Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales

<b>INSA</b>	Institut national des sciences appliquées
<b>IUT</b>	Institut Universitaire de technologie
<b>LEPIIA</b>	Lycée d'enseignement professionnel privé de l'industrie aéronautique
<b>LTEA</b>	Lycée technique d'Etat aéronautique
<b>SEPR</b>	Société d'étude de la propulsion par réaction
<b>SEREB</b>	Société pour l'étude et la réalisation d'engins balistiques
<b>SFACT</b>	Service de la formation aéronautique et du contrôle technique
<b>SFENA</b>	Société française d'équipements pour la navigation aérienne
<b>SGACC</b>	Secrétariat général à l'aviation civile et commerciale
<b>SNCAN</b>	Société nationale de construction aéronautique du nord
<b>SNCASE</b>	Société nationale de construction aéronautique du sud-est
<b>SNCASO</b>	Société nationale de construction aéronautique du sud-ouest
<b>SNECMA</b>	Société nationale de construction de moteur d'avion
<b>SOREAS</b>	Syndicat des fabricants d'organes et d'équipements aéronautiques et spatiaux
<b>TEFSTA</b>	Technicien d'études et de fabrication des services techniques de l'aéronautique
<b>UIMM</b>	Union des industries et métiers de la métallurgie
<b>USIAé</b>	Union syndicale des industries aéronautiques
<b>USIAS</b>	Union syndicale des industries aéronautiques et spatiales
<b>UTA</b>	Union de transport aérien

### Bibliographie :

- COMAERO, la formation, tomes 1 et 2
- Les archives de la commission formation du GIFAS
- Histoire de l'enseignement technique, Patrice Pelpel et Vincent Troger , l'Harmattan.
- Les centres d'apprentissages de 1940 à 1960 : le temps des initiatives, Vincent Troger, Formation Emploi N° 27-28, Cereq
- L'aéronautique, salariés et patrons d'une industrie française 1928-1950, Herrick Chapman, presse universitaires de Rennes.
- Introduction à une sociologie de la formation. Anthologie de textes français 1944-1994. Les pratiques constituantes et les modèles. Volume 1 Yves Palazzeschi. L'Harmattan
- La doctrine de la CGT sur la formation des adultes : entre pragmatisme et lutte des classes (1945-1955) , Guy Bruzy, Travail et emploi N° 86 avril 2001.
- Les Ailes, hebdomadaire des années publié de 1921 à 1963 (sauf de 1940 à 1944), consultable au Musée de l'air et de l'Espace.
- Dossier de financement, de l'EFPIA, Education nationale, archives nationales (versement 19780190, cote : Art 10)
- Congrès national de l'aviation française (éditions 1945, 1946, 1947), secrétariat général permanent SHD Vincennes.
- Sites de anciens élèves des écoles techniques aéronautiques de ville d'Avray et de Toulouse : cyranorion.fr/ETA
- Presse toulousaine du 21 mai 1961, le baptême de la promotion Robert Cancet au lycée technique aéronautique