

COMAERO

**Un demi-siècle
d'aéronautique
en France**

Centres et moyens d'essais (I)

COMAERO
COMITE POUR L'HISTOIRE DE L'AERONAUTIQUE

UN DEMI-SIÈCLE D'AÉRONAUTIQUE EN FRANCE
CENTRES ET MOYENS D'ESSAIS

Ouvrage coordonné par Jean-Pierre Marec

TOME I

TABLE DES MATIÈRES DU TOME I

EXTRAIT DE LA TABLE DES MATIERES DU TOME II.....	8
PRÉFACE.....	11
AVANT-PROPOS.....	13
INTRODUCTION.....	15
1 – La place des centres d’essais et leur évolution.....	15
1.1 – Une mission commune ; des rôles distincts et évolutifs.....	15
1.2 – Les évolutions liées aux mutations technologiques.....	16
1.3 – La transformation du paysage industriel et ses conséquences.....	16
1.4 – La réorganisation de 1997.....	17
2 – Historique succinct de quelques établissements.....	18
3 – Chronologie.....	21
CHAPITRE 1 : LE CEV (CENTRE D’ESSAIS EN VOL).....	23
Préambule.....	23
1 – Introduction.....	23
1.1 – Des débuts de l’aviation à l’immédiat après-guerre.....	23
1.2 – L’évolution du contexte après la guerre.....	25
2 – Les missions du CEV.....	26
2.1 – Le texte de 1948.....	26
2.2 – Le texte de 1979.....	27
2.3 – Commentaires.....	27
3 – Organisation.....	29
3.1 – L’organisation interne.....	29
3.1.1 – Répartition géographique.....	29
3.1.2 – Commentaires sur la dispersion géographique des moyens.....	31
3.1.3 – Le cœur du dispositif technique : le « Service des méthodes et moyens d’essais ».....	32
3.2 – Relations avec l’extérieur.....	32
4 – Les personnels.....	33
4.1 – Les directeurs.....	33
4.2 – Les effectifs.....	34
4.2.1 – Répartition géographique.....	34
4.2.2 – Répartition par catégories.....	34
4.2.3 – Répartition par activités.....	35
4.2.4 – Le cas des personnels navigants. Les risques des vols d’essais.....	35
4.2.5 – Les départs dans l’industrie.....	37
5 – Moyens matériels du CEV.....	37
5.1 – Les emprises.....	37
5.2 – Les moyens aériens. La « flotte » du CEV.....	38
5.3 – Les moyens de mesure.....	40
5.3.1 – Les moyens de mesure en vol.....	40
5.3.2 – Les moyens de mesure au sol.....	41
5.4 – Autres moyens techniques au sol (hors laboratoires spécialisés)...	42
5.4.1 – Les bancs d’essai de systèmes et les bancs de	

<i>stimulation</i>	42
5.4.2 – <i>Les moyens de la simulation pilotée</i>	42
5.4.3 – <i>Moyens divers</i>	43
5.5 – <i>Le LAMAS</i>	43
5.6 – <i>Le LEA</i>	43
6 – <i>Les activités du CEV</i>	44
6.1 – <i>Essais d'aéronefs nouveaux</i>	46
6.2 – <i>Les essais de moteurs et d'hélices en vol</i>	47
6.3 – <i>Les essais d'équipements et de systèmes</i>	49
6.4 – <i>Les essais d'armement</i>	50
6.5 – <i>Les activités d'études générales</i>	51
6.6 – <i>La section « Etudes et simulation »</i>	52
6.7 – <i>Les DC7 AMOR (Avions de mesure et d'observation au réceptacle)</i>	52
6.8 – <i>Les essais de réception des avions de série</i>	53
6.9 – <i>Liaisons aériennes et transport de matériels</i>	54
6.10 – <i>Activités aéronautiques diverses</i>	54
6.11 – <i>Activité du LAMAS</i>	55
6.12 – <i>Les activités du LEA</i>	55
6.13 – <i>Le soutien à l'Aviation civile</i>	55
6.14 – <i>Formation et entraînement</i>	57
6.14.1 – <i>L'EPNER</i>	57
6.14.2 – <i>La formation aérienne des « Corps techniques »</i>	57
6.14.3 – <i>L'EFTN de Villebon</i>	57
7 – <i>Gestion du CEV</i>	58
7.1 – <i>La maîtrise des moyens</i>	58
7.2 – <i>La variété des missions</i>	58
7.3 – <i>La suffisance des moyens humains et financiers</i>	58
7.4 – <i>Les interventions de l'extérieur</i>	59
7.5 – <i>L'activité du CEV au profit des tiers et la comptabilité</i>	60
7.6 – <i>Le regroupement d'implantations</i>	61
8 – <i>Conclusion</i>	61
8.1 – <i>La dimension mythique du Centre d'essais en vol</i>	61
8.2 – <i>Le bilan pratique du Centre d'essais en vol</i>	62
Sources.....	62
Remerciements.....	63
Figures.....	65
 CHAPITRE 2 : LE CEAT (CENTRE D'ESSAIS AERONAUTIQUES DE TOULOUSE).....	73
1 – <i>Historique</i>	73
1.1 – <i>Les origines</i>	73
1.2 – <i>De l'EAT au CEAT</i>	74
1.3 – <i>La décennie « Concorde » (1966-1975)</i>	75
1.4 – <i>La consolidation des acquis (1976-1984)</i>	77
1.5 – <i>La maturité (1984-1995)</i>	78
2 – <i>Les missions du CEAT</i>	79
3 – <i>Les activités</i>	79
3.1 – <i>L'aérodynamique</i>	79
3.2 – <i>Les essais de matériaux</i>	80
3.3 – <i>Les essais de structures</i>	81

3.3.1 – Les essais statiques.....	81
3.3.2 – Les essais de fatigue.....	82
3.3.3 – Les essais dynamiques des structures.....	84
3.4 – Les essais d'équipements et de systèmes.....	84
3.4.1 – Les essais dynamiques d'atterrisseurs.....	84
3.4.2 – Les essais de pneumatiques, roues et freins.....	85
3.4.3 – Les essais d'équipements électriques.....	85
3.4.4 – Les essais d'équipements hydrauliques.....	86
3.4.5 – Les essais des équipements et systèmes de conditionnement d'air.....	86
3.4.6 – Les essais des équipements de sécurité et de sauvetage.....	87
3.4.7 – Les essais des équipements d'optique et d'optronique.....	87
3.4.8 – Les essais des équipements de pilotage et de navigation.....	88
3.4.9 – Les agressions électromagnétiques.....	88
3.4.10 – La certification des logiciels embarqués.....	88
Annexes.....	89
A1 – Le CEAT et ses principaux clients.....	89
A2 – Le CEAT et l'ONERA.....	89
A3 – Le « Détachement SOPEMEA ».....	90
A4 – L'apport de la comptabilité industrielle.....	91
A5 – Le CEAT et l'ENSICA.....	92
A6 – La direction de l'EAT et du CEAT.....	93
Bibliographie.....	93
Remerciements.....	94
Figures.....	95
 CHAPITRE 3 : LE CEPr (CENTRE D'ESSAIS DES PROPULSEURS)	105
Avertissement.....	105
1 – Les origines du CEPr.....	105
2 – De la création jusqu'aux années 70 : la mise en place de l'outil.....	109
2.1 – La source d'énergie.....	109
2.2 – Les moyens d'atmosphérisation.....	109
2.3 – Les caissons d'essais.....	109
2.4 – Les essais de fusées.....	110
2.5 – Les essais de composants.....	111
2.5.1 – Essais de chambres de combustion.....	111
2.5.2 – Essais de compresseurs.....	111
2.5.3 – Essais de turbines.....	112
2.5.4 – Essais de givrage.....	112
2.5.5 – Essais acoustiques.....	112
2.6 – Les bancs d'essais au sol.....	113
2.7 – Les moyens d'accompagnement.....	114
2.7.1 – Les mesures.....	114
2.7.2 – Les moyens de laboratoire.....	114
3 – Les années 70 : la consolidation, les grands programmes.....	115
3.1 – Les moyens d'atmosphérisation.....	116
3.2 – Les bancs d'essai.....	116
3.2.1 – Les bancs d'essais de moteurs.....	117
3.2.2 – Le banc C3.....	117
3.2.3 – Le banc d'ingestion TX.....	117

3.3 – Les essais acoustiques.....	118
3.4 – Les essais de sous-ensembles.....	118
3.5 – Les moyens d'accompagnement.....	119
3.6 – Les expertises.....	120
4 – Les années 80-95 : la rénovation.....	120
5 – Au-delà des moyens, des hommes et des femmes.....	122
5.1 – Une volonté de bien faire.....	122
5.2 – Un vivier de compétences.....	124
5.3 – Un point noir.....	124
5.4 – Un établissement difficile.....	124
6 – Conclusion.....	125
Annexe 1 : Les essais en vol simulés.....	126
Annexe 2 : Les directeurs du CEPr.....	128
Bibliographie.....	129
Remerciements.....	129
Figures.....	131
 CHAPITRE 4 : LE CAP (CENTRE AEROPORTE DE TOULOUSE).....	151
1 – Introduction.....	151
2 – Historique.....	151
3 – Implantation – Moyens d'essais.....	154
4 – Les missions du CAP.....	155
5 – Nouvel avion, nouvelle approche.....	156
6 – Evolution du Centre d'essais.....	157
7 – Nouveau parachute d'arme et moyens d'instruction associés.....	157
8 – Equipements pour sauts à ouverture commandée.....	158
9 – Le système d'arme lié au Transall C160.....	160
10 – L'amélioration des méthodes de largage.....	161
Bibliographie.....	162
Figures.....	163
 CHAPITRE 5 : LE CIEES (CENTRE INTERARMEES D'ESSAIS D'ENGINS SPECIAUX)....	169
1 – Introduction.....	169
2 – Missions et organisation du Centre.....	170
3 – Les implantations du CIEES.....	173
4 – Les moyens techniques du CIEES jusqu'aux années 1959-60.....	175
5 – Les essais de la DTIA.....	177
6 – Les essais de la DEFA.....	179
7 – Les fusées-sondes.....	180
8 – La gestation du champ de tir pour engin balistique.....	181
9 – Du projet initial à la réalisation.....	182
10 – Les équipements du champ de tir pour engins balistiques.....	183
11 – Le déroulement des essais du programme d'engin balistique.....	184
12 – Le CNES, Diamant et le premier satellite.....	185
Annexe : Les directeurs et sous-directeurs techniques Air et Armement terrestre du CIEES.....	187
Bibliographie.....	187
Remerciements.....	188
Figures.....	189

CHAPITRE 6 : LE SECT (SERVICE DES EQUIPEMENTS DE CHAMPS DE TIR).....	201
Introduction.....	201
1 – Première partie : Historique du service et de sa succession.....	201
1.1 – Création du SECT (1961).....	201
1.2 – L'équipement du CIEES.....	203
1.3 – La création du Centre d'essais des Landes (CEL).....	205
1.4 – L'édification du Centre d'essais des Landes (1961-1967).....	206
1.5 – Le réceptacle – Florès, les AMOR, les moyens navals (1962-1968).....	207
1.6 – Le rattachement du CEM à la DRME (1961-1968).....	209
1.7 – L'activité du SECT de 1967 à sa dissolution en 1975.....	209
1.8 – Du SECT au CTME.....	211
1.9 – Création du CTME au sein de l'ETCA.....	212
1.10 – L'activité du CTME (1975-1997).....	214
1.11 – La fin du CTME.....	215
2 – Deuxième partie : Les domaines techniques où le SECT, puis le CTME sont intervenus.....	216
2.1 – Réalisation de l'antenne de Florès.....	216
2.2 – Réalisation des avions AMOR.....	217
2.3 – Le Petit AMOR.....	219
2.4 – Les moyens navals.....	219
2.5 – Les télémesures.....	222
2.6 – Les radars de trajectographie.....	229
2.7 – Trajectographie électromagnétique : systèmes multistatiques.....	232
2.8 – L'observation de la rentrée dans l'atmosphère.....	233
2.9 – L'optique.....	234
2.9.1 – Les problèmes optiques.....	234
2.9.2 – La trajectographie optique.....	234
2.9.3 – L'observation rapide.....	235
2.9.4 – L'observation à grande distance.....	236
2.9.5 – La désignation infrarouge.....	239
2.10 – Les cibles et la proximétrie.....	239
2.11 – TREMAIL (Trajectographe d'engins sous-marins à l'île du Levant).....	241
2.12 – Le CEV et le SECT.....	242
2.13 – Les rails de simulation du CEL.....	244
2.14 – L'hydrodynamique.....	247
2.15 – Le CEAT et le SECT.....	248
Annexe : Textes officiels régissant le rôle de la DRME en ce qui concerne les moyens d'essais.....	249
Bibliographie.....	250
Remerciements.....	251
Figures.....	253

EXTRAIT DE LA TABLE DES MATIERES DU TOME II

CHAPITRE 7 : LE CEL (CENTRE D'ESSAIS DES LANDES)

- 1 – Le CIEES
- 2 – Le développement des moyens techniques à Hammaguir
- 3 – La création du CEL
- 4 – Les sites techniques
- 5 – Dixième anniversaire
- 6 – La maturité
- 7 – L'évolution préparatoire aux essais du M4
- 8 – L'activité dans les années 1980
- 9 – La nouvelle génération des engins tactiques
- 10 – Les adaptations majeures des années 1990
- 11 – Les essais des missiles tactiques en développement en 1995
- 12 – L'entraînement des forces en 1995
- Bibliographie
- Remerciements
- Figures

CHAPITRE 8 : LE CEM (CENTRE D'ESSAIS DE LA MEDITERRANEE)

- 1 – Introduction
- 2 – Origine
- 3 – Création du CERES
- 4 – Développement du GTES
- 5 – Rattachement du GTES à la DRME
- 6 – Rattachement du polygone de La Renardière au GTES
- 7 – Création du CEM
- 8 – Développement des moyens d'essais et de mesures du CEM
- 9 – Les moyens d'essais navals du CEM
- 10 – Les moyens d'essais aériens du CEM
- 11 – La vie sur le Centre et sa logistique
- 12 – Les campagnes de lancement
- Bibliographie
- Remerciements
- Figures

CHAPITRE 9 : LE CAEPE (CENTRE D'ACHEVEMENT ET D'ESSAIS DE PROPULSEURS ET D'ENGINS)

- 1 – Les origines
- 2 – Activité essais, missiles balistiques
- 3 – Activité essais, missiles tactiques
- 4 – Les mesures
- 5 – Ariane 5 et CAEPE
- 6 – Activité achèvement
- 7 – Effectifs
- Bibliographie
- Remerciements
- Figures

CHAPITRE 10 : LE LRBA (LABORATOIRE DE RECHERCHES BALISTIQUES ET AÉRODYNAMIQUES)

- 1 – Introduction
- 2 – Implantation domaniale
- 3 – L’acquisition des connaissances techniques
- 4 – Les premiers grands projets
- 5 – La situation des organisations étatiques industrielles
- 6 – Maturité de l’expertise technique, d’abord l’inertie et les systèmes stratégiques
- 7 – La qualité, les essais et l’environnement
- 8 – L’aérodynamique au LRBA
- 9 – Vers de nouveaux horizons
- Annexe : Les directeurs du LRBA
- Bibliographie
- Remerciements
- Figures

CHAPITRE 11 : LE CEG (CENTRE D’ETUDES DE GRAMMAT)

- 1 – Le CEG de 1947 à 1980
- 2 – Le CEG de 1980 à 2000
- Bibliographie
- Remerciements
- Figures

CHAPITRE 12 : LE CELAR (CENTRE D’ELECTRONIQUE DE L’ARMEMENT)

- Introduction
- 1 – Le SCTI
- 2 – La création du CELAr
- 3 – Création du CCSA
- 4 – Les années 1970
- 5 – Les années 1980
- 6 – Les années 1990
- 7 – La suite
- Bibliographie
- Figures

CHAPITRE 13 : L’ONERA (OFFICE NATIONAL D’ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES)

- Introduction
- 1 – Les grandes souffleries et les bancs d’essais
- 2 – Les moyens d’analyse modale ONERA-SOPEMEA
- 3 – L’ONERA et les centres d’essais de la DCAé
- Bibliographie
- Remerciements
- Figures

ANNEXE : DISSUASION NUCLEAIRE ET MISSILES BALISTIQUES

BIOGRAPHIES DES AUTEURS

SIGLES

INDEX DES NOMS

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

PRÉFACE

Notre camarade Jean-Pierre Marec m'a demandé d'écrire quelques mots en guise de préface pour le fascicule *Centres et moyens d'essais* de la collection « Un demi-siècle de l'aéronautique en France » du COMAERO (Comité pour l'histoire de l'aéronautique). J'ai accepté bien volontiers car je tenais à rendre hommage à l'énorme énergie qu'il a déployée et à la ténacité exemplaire dont il a fait preuve pour rassembler, en vue d'une éventuelle publication, les travaux écrits qui avaient servi de base au colloque du 22 novembre 2007 et leurs nécessaires compléments. Je ne le regrette pas, surtout que je prends aujourd'hui la juste mesure de ce que j'ai à faire, ou plus exactement de ce qu'il me reste à faire, pour présenter l'ouvrage, c'est-à-dire *rien*, tant l'introduction de Jean-Luc Monlibert et l'avant-propos que Jean-Pierre a lui-même écrit me paraissent éclairer l'ensemble du texte et donner au lecteur la plus grande envie d'aller rapidement plus loin dans la découverte de son contenu précis. Que puis-je faire de plus sinon de faire part de mon ressenti personnel sur cette question ?

Je voudrais tout d'abord m'associer pleinement aux remerciements de Jean-Pierre à l'équipe rédactionnelle et surtout témoigner de l'enthousiasme de tous ceux qui l'ont assisté dans sa tâche, c'est-à-dire notamment, sans exception, tous les membres du COMAERO. Il est toujours difficile de citer des noms mais, après avoir félicité collectivement tous ceux qui ont fait parvenir leur contribution écrite, je ferai une mention spéciale pour l'action de Georges Bousquet, de Marcel Bénichou, de Jean Carpentier et de Jean-Marc Weber qui ont particulièrement soutenu les efforts du « coordinateur-en-chef » et lui ont apporté une aide précieuse. Michel de Launet, bien qu'alors chargé de la présidence du ComHArT (Comité pour l'histoire de l'armement terrestre), a également beaucoup contribué à la rédaction ou la coordination de certains chapitres, dans un excellent esprit de coopération entre nos comités respectifs.

J'ai pu mesurer tout au long des cinq années de réunions périodiques - deux par trimestre en moyenne - l'énorme travail de recherche, de collationnement, d'examen critique méthodique qui a été accompli sans jamais voir se manifester le moindre découragement. Le résultat de ce travail conduit en tâches réparties, constitue une base fort documentée, qui va de la création individuelle de chacun des Centres à leur intégration plus récente en une seule direction de la DGA. Tous ceux qui s'intéresseront dans l'avenir à l'Aéronautique de l'après-guerre pourront venir y puiser des renseignements précieux de première main.

Le but que s'est assigné globalement le COMAERO, à savoir de fournir aux futurs historiens des éléments sûrs, est atteint.

Le développement des Centres d'essais s'inscrit dans la démarche de cette période où pour les acteurs du développement de l'Aéronautique il s'agissait de concevoir des machines capables « d'aller toujours plus vite, d'être toujours plus légères et plus performantes, d'être toujours plus sûres ». Ce désir impératif d'aller dans tous les domaines toujours de l'avant s'apparente au désir olympique des athlètes, champions dans leur discipline : « *citius, altius, fortius* », qui allie audace, courage, ténacité et foi. L'adoption de cette devise et les efforts pour lancer l'Aéronautique sont contemporains de la fin du XIX^e siècle. L'esprit d'audace et de dépassement soufflait à cette époque, il ne devait jamais faiblir.

L'Etat, qui était lui-même dès la relance de l'effort de guerre dans la fin des années trente responsable-pilote des programmes d'armement et donc des programmes d'aéronautique militaires, avait déjà perçu la nécessité d'être éclairé dans ses choix par des moyens propres d'appréciation et de jugement et parmi ceux-ci les centres d'essais jouaient un rôle essentiel. C'est donc tout naturellement que fut prise, pour conduire la renaissance aéronautique et la mettre au niveau des Alliés, la décision de créer trois centres au sein de la Direction de l'aéronautique :

- le Centre d'essais en vol (CEV), d'abord à Marignane puis à Brétigny, sera chargé des essais de développement, de qualification, de certification des aéronefs militaires et civils ainsi que de leurs équipements et systèmes ;
- le Centre d'essais des propulseurs (CEPr) reprend, étendues, les activités du CEMH de Chalais-Meudon, et il est chargé des essais des turbomachines en conditions givrantes et d'altitude simulées, ainsi que des systèmes de carburant ;
- le Centre d'essais aéronautiques de Toulouse (CEAT) qui, héritier de l'ERAT (ancêtre de l'ONERA), devait sous le nom d'EAT, continuer à exploiter les installations laissées sur place après le retour à Châtillon. Cet établissement devait se développer dans le domaine des essais de matériaux et de structures complexes, avec même la prise en compte de l'échauffement cinétique, ainsi que dans le domaine des essais des équipements électriques et d'atterrissage.

Le besoin pour l'Etat d'avoir des centres d'essais étatiques spécialisés s'est, on le voit, manifesté très tôt. Il s'agissait pour lui d'avoir sa propre expertise afin de jouer pleinement son rôle de puissance étatique et, en même temps, il s'agissait de doter notre pays des installations lourdes, indispensables pour étudier, développer les techniques et les matériels, avec pour objectif de les mettre, en tant que de besoin, à la disposition d'une industrie renaissante et qui n'avait pas la possibilité de les réaliser par elle-même sur ses propres ressources.

La création, dès après la guerre, des trois centres de base devait être suivie, au fil du temps de l'évolution des techniques et des besoins nouveaux, par celle d'autres centres rattachés à d'autres directions techniques du ministère de la défense : les uns dédiés aux engins (LRBA, CEL, CEM, CAEPE), d'autres tournés vers l'électronique comme le CELAr.

Les organisations internes de ces divers centres étaient similaires et se déclinaient autour :

- d'un service dit des « Méthodes », individualisé ou réparti dans les différents services et chargé d'étudier, réaliser ou faire réaliser les moyens permettant d'exécuter les essais en respectant les conditions d'environnement réel ou simulé ; de définir, souvent créer et toujours mettre au point les instruments de mesure et leur exploitation ; de fixer les procédures de réalisation ; et, tâche ultime mais non la moins importante, de dépouiller les résultats des mesures et participer à leur interprétation, pour aider à en tirer les meilleures conclusions et préciser les actions à conduire pour tenir les objectifs ;

- d'installations qu'il convient d'adapter et de faire évoluer pour être toujours à l'avant-garde et être l'égal des meilleurs dans le monde ;

- de personnels dotés d'une expertise hautement reconnue en interne et en externe dans chacun des domaines de compétence, et notamment d'expérimentateurs de la plus haute qualité, dotés d'une conscience profonde de leur rôle dans la résolution des problèmes du présent et la préparation de l'avenir. Il est à noter que leur voisinage avec les jeunes affectés, sinon leur « tutorat », assurait le meilleur complément de formation de ces derniers et en même temps le transfert d'une riche expérience. Ils leur faisaient partager leur foi en leur métier et leur sens des responsabilités. Ces derniers aspects de l'apport humain des centres d'essais pour être original n'en fût pas moins important dans la phase de remise à niveau et justifierait encore un encouragement permanent tant son potentiel est élevé. L'esprit « centre d'essai » fut et demeure une réalité et il est encore aujourd'hui un atout majeur de notre compétence nationale.

Le rôle éminent des centres d'essais dans la renaissance de l'Aéronautique est patent, leur contribution à la réussite des programmes méritait bien que COMAERO lui consacre un fascicule de sa série.

Emile Blanc

Président du COMAERO

Ancien Délégué général pour l'armement

AVANT-PROPOS¹

Ce document sur les *Centres et moyens d'essais* de la DGA, à vocation aéronautique et espace, fait partie de la collection « Un demi-siècle d'aéronautique en France, 1945-1995 » du COMAERO (Comité pour l'histoire de l'aéronautique).

Planifié dès la fin 2005, en parallèle avec le document sur les *Etudes et recherches*, sa coordination a été confiée à Roger Guénod, malheureusement décédé en 2007, puis à Jean-Luc Monlibert, enfin, vu l'indisponibilité de ce dernier à partir de la mi-2008, à Jean-Pierre Marec, aidé de Georges Bousquet, Jean Carpentier et Jean-Marc Weber.

Les éléments alors disponibles se limitaient à :

- d'une part, l'exposé Powerpoint fait par Jean-Luc Monlibert à la 6^e Rencontre COMAERO du 22 novembre 2007 à l'ENSTA (huit pages de texte reconstitué à partir de l'enregistrement magnétique et une trentaine de photos relatives essentiellement au CEV et à l'ONERA), son texte² (six pages) fourni pour le fascicule des résumés des interventions distribué en séance, et deux DVD de photos de documents³ sélectionnés par lui à Châtelleraut ;
- d'autre part, le texte⁴ de Jean-Pierre Marec concernant l'ONERA, avec une contribution de Marcel Cado sur les moyens SOPEMEA pour l'analyse modale, disponible depuis avril 2008.

Les autres rédacteurs ont alors été sollicités et l'avancement de leur travail a été suivi, soit directement par le coordinateur, comme pour Marcel Bénichou (CEV), Robert Finance (CEAT), Bruno Debout (CEPr), Michel de Launet (CIEES, SECT), Roger Peuron (CAEPE), Bernard Laurent (LRBA), Jean-Paul Gillyboeuf (CELAr), soit avec l'aide de Michel de Launet pour le CAP (par Joseph Goursolle et Franco-Renso Bonan), le CEL (par Michel Lecomte) et le CEM (par Claude Etienne, Jean-Baptiste Dard et Maurice Natta), ou de Jean Carpentier pour le CEG (par Jean Crosnier et Lucien Vayssié).

Que tous ces contributeurs soient ici très chaleureusement remerciés pour leur remarquable participation à l'œuvre commune. D'autres remerciements, plus particuliers, figurent à la fin des chapitres.

Merci également à l'ensemble des membres du COMAERO pour l'aide apportée pour la relecture de parties du document.

Merci enfin à Yves Aurenche pour la relecture finale et à Marie-Claire Coët, François Fouquet, François de Saint-Etienne et Christian Gambiez pour le tirage limité de la version provisoire du document, effectué par l'ONERA.

Après une introduction, treize chapitres sont consacrés à l'historique des différents centres. Des figures sont placées à la fin de chaque chapitre et numérotées par chapitre. A la fin du document, le lecteur trouvera une annexe à caractère « transversal » sur « la dissuasion nucléaire et les missiles balistiques », de courtes biographies des auteurs, la liste des principaux sigles utilisés, un index des noms cités et les crédits photographiques.

Bonne lecture !

¹ Par Jean-Pierre Marec.

² Ce texte constitue l'Introduction du présent document.

³ Cette documentation a été partagée par le coordinateur entre les différents contributeurs.

⁴ Ce texte constitue le chapitre 13 du présent document.

INTRODUCTION⁵

C'est à partir de 1914, année de création au ministère de la Guerre d'une direction de l'aéronautique, que se mettent en place les premiers moyens d'essais qu'imposent l'émergence de l'arme aérienne et son prodigieux développement au cours du premier conflit mondial.

Après le ralentissement de leur activité qui suit la fin des hostilités, ces moyens sont largement mis au service du développement de l'industrie du transport aérien, avant d'être à nouveau sollicités pour le réarmement des forces à l'approche de la seconde guerre mondiale.

Leur mise en sommeil pendant les hostilités s'interrompt à la Libération. Les équipes préexistantes sont renforcées. Leur regroupement sur de nouveaux sites d'implantation permet la création de centres adaptés aux enjeux de la reconstruction de l'industrie aéronautique et aux techniques nouvelles, notamment celles liées au développement des missiles.

Très rapidement, de nouveaux besoins apparaissent, comme ceux liés à la dissuasion nucléaire, ou ceux qu'engendrent les mutations technologiques. De nouveaux établissements sont créés pour satisfaire ces besoins.

Les centres doivent aussi s'adapter à l'évolution de leur environnement et à celle du paysage industriel. Les transformations qu'ils connaissent s'avèrent, dans certains cas, profondes.

En 1997, l'organisation de la Délégation générale pour l'armement (DGA) est profondément modifiée. Les structures de rattachement préexistantes des centres ayant disparu, ceux-ci sont regroupés dans une nouvelle direction qui prend la dénomination de Direction des centres d'expertise et d'essais (DCE).

1 – LA PLACE DES CENTRES D'ESSAIS ET LEUR EVOLUTION

1.1 – Une mission commune ; des rôles distincts et évolutifs

Après la reprise de ses activités en septembre 1944, la direction de l'aéronautique se dote de trois centres d'essais : le CEV (Centre d'essais en vol), l'EAT (Etablissement aéronautique de Toulouse, qui prendra la dénomination de Centre d'essais aéronautique de Toulouse, CEAT, en 1966) et le CEMH (Centre d'essais des moteurs et hélices, devenu le Centre d'essais des propulseurs, CEPr, en 1959). L'organisation et les pratiques de ces centres s'inspirent de celles des centres préexistants de cette direction : les essais qu'ils conduisent revêtent un caractère officiel et donnent lieu à des prises de position quant au fonctionnement et aux performances des matériels évalués, sauf dans les cas spécifiés de mise en œuvre de moyens dont l'exploitation est à la charge de l'industriel. Les trois centres interviennent aussi bien dans les programmes militaires que dans les programmes civils.

Créé en 1946, le Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques (LRBA) intervient initialement comme acteur industriel dans la conception et la réalisation d'engins propulsés par moteurs fusées, et comme centre de recherches et d'essais. En 1971, ses activités industrielles sont transférées à la Société

⁵ Par Jean-Luc Monlibert.

européenne de propulsion (SEP). Conservant ses missions étatiques d'expertise et d'essais, il devient l'expert de la Délégation ministérielle pour l'armement (DMA) en matière de navigation inertielle. Son intervention dans les programmes aéronautiques est très active.

La réalisation des tirs est confiée au Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux (CIEES) de Colomb-Béchar créé en 1947, dont l'activité cessera en 1967. Cette activité est progressivement transférée au Centre d'essais des Landes (CEL), créé en 1962 sous l'égide de la Direction des recherches et moyens d'essais (DRME), constituée en 1961 pour promouvoir les recherches et doter la délégation ministérielle de nouveaux moyens d'essais. C'est aussi à cette direction que se voit rattaché le Centre d'essais de la Méditerranée (CEM) implanté sur l'île du Levant. Le Centre d'achèvement et d'essais des propulseurs et engins (CAEPE) voit le jour en 1967. Responsables de l'organisation et de la réalisation des essais, ces différents établissements n'interviennent pas, contrairement aux centres d'essais aéronautiques, dans l'interprétation des résultats, qui relève de la seule responsabilité des industriels.

Le Centre aéroporté de Toulouse (CAP) est issu du regroupement en 1945, sur le site de l'Atelier de fabrication de Toulouse, des équipes de la Direction des études et fabrications d'armement (DEFA) spécialisées dans l'équipement des troupes aéroportées et dans les techniques d'acheminement de matériels par air sur les théâtres d'opérations. Il intervient à la fois dans les essais de qualification des matériels et dans leur industrialisation.

L'Office national d'études et de recherches aérospatiales (ONERA), établissement public dont la création date de 1946, dispose d'importants moyens d'essais qui en font un acteur de premier plan dans le développement des matériels aéronautiques.

Le Centre d'électronique de l'armement (CELAr), dont la création a été décidée en 1964, a ouvert ses portes en 1968. Il a une vocation de centre pilote dans les domaines de l'électronique et de l'informatique, notamment en matière de simulation.

1.2- Les évolutions liées aux mutations technologiques

Pendant le demi-siècle écoulé, les techniques mises en œuvre dans la conception et la réalisation des aéronefs ainsi que dans les processus d'essais et de qualification ont profondément évolué.

Ces transformations induisent des changements importants dans les pratiques, les méthodes et les moyens d'essais, qu'il faut en permanence adapter à l'évolution des matériels et des techniques.

Les progrès engendrés par le développement de l'électronique et de l'informatique dans les performances des matériels, mais aussi dans les techniques de simulation, justifient la création du CELAr et sa désignation comme centre pilote pour la mise en œuvre de ces techniques.

Pour ce qui le concerne, le CEV se dote, dès la fin des années 1960, de moyens de simulation qui deviennent un complément indispensable aux essais en vol et une source appréciable d'économies. Ces moyens, un moment perçus comme redondants avec ceux du CELAr, ont leur propre justification et leur utilité n'a jamais été contestée.

1.3- La transformation du paysage industriel et ses conséquences

La participation des centres d'essais au développement des matériels réalisés par

l'industrie aéronautique française au lendemain de la seconde guerre mondiale a été déterminante pour le redémarrage de cette industrie et pour son essor.

Dans l'immédiat après-guerre caractérisé par la dispersion du tissu industriel, le regroupement des moyens d'essais dans des établissements de l'Etat a permis aux constructeurs de limiter leurs investissements et de bénéficier de l'expérience des centres.

Dans un deuxième temps, les industriels ont développé leur propre savoir-faire et acquis l'autonomie nécessaire à la maîtrise de leurs développements.

La rationalisation du secteur est intervenue dans un troisième temps sous la forme de regroupements d'entreprises.

Le rôle des centres d'essais dans le processus de qualification des matériels, au départ prépondérant, s'est progressivement réduit.

Le regroupement des moyens d'essais entre les mains de l'Etat, économiquement fondé lorsque ces moyens servaient à un grand nombre d'industriels, ne se justifie plus face à des opérateurs industriels en situation de quasi-monopole.

L'adaptation des centres d'essais à l'évolution de leur environnement industriel est une nécessité.

La restructuration du LRBA, conduite en 1971 dans le cadre de la rationalisation du secteur de la propulsion des engins, s'inscrit dans cette logique, de même que celle engagée par le CEV en 1998 pour faire face à la baisse de son activité aérienne et aux contraintes environnementales du site de Brétigny.

1.4 – La réorganisation de 1997

La réorganisation de la Délégation générale pour l'armement, engagée en 1997, fait suite à des études conduites au cours de l'année précédente au sein de l'institution.

Elle était notamment inspirée par l'expérience du Royaume-Uni qui avait, quelques années auparavant, resserré son dispositif de conduite des programmes dans une agence *ad hoc* et regroupé ses centres d'essais dans une agence distincte.

La principale disposition de la réorganisation est, pour ce qui concerne les centres d'essais, leur rattachement à une direction unique, la Direction des centres d'expertise et d'essais (DCE), dans l'objectif de rationaliser les moyens et de développer la contractualisation des activités avec les donneurs d'ordres⁶.

Les centres sont regroupés par domaines d'activités au sein d'établissements techniques centraux chargés de la coordination de leurs actions : le CEV avec le CAP, le CEAT avec le CEPr et le CAEPE, le CEL avec le CEM, le CELAR avec le LRBA et d'autres établissements à vocation transverse.

Les rapprochements engagés grâce à ces regroupements aboutissent dans certains cas à des fusions de centres. C'est notamment le cas du CEV et du CAP, ainsi que du CEL et du CEM, qui fusionnent en 2005.

Les rationalisations entreprises sous l'égide de la DCE aboutissent à la restructuration du CEV et au regroupement sur le site de l'Hers de l'ensemble des activités du CEAT.

⁶ Il est rappelé que, dès la création de la DCE, son directeur a commandé une enquête sur les capacités d'expertise des centres qui le préoccupaient. Un premier sondage a été effectué sur 18 équipes techniques réparties dans 6 centres. Il montrait une inquiétante dégradation des capacités internes dans plusieurs équipes, notamment dans un centre aéronautique. Une évaluation exhaustive était recommandée.

Avant de détailler l'historique des établissements dans les chapitres suivants, il a paru souhaitable d'en donner une présentation sommaire dans cette Introduction. La chronologie est donnée dans le tableau à la fin de l'Introduction.

2 – HISTORIQUE SUCCINCT DE QUELQUES ETABLISSEMENTS

Le Centre d'essais en vol (CEV)

C'est en 1944 qu'est décidée la création du Centre d'essais en vol et son implantation à Brétigny-sur-Orge, à partir des éléments du Centre d'essais des matériels aériens repliés à Marignane.

Son activité commence en 1945, sur un terrain sommairement réparé après les derniers bombardements. Les travaux d'infrastructure débutent en 1946.

Très vite apparaît la nécessité de disposer d'autres sites que Brétigny pour certains essais. C'est ainsi qu'est décidée, en 1946, la création d'une annexe à Istres pour la réalisation d'essais potentiellement dangereux et qu'est constitué en 1947 à Cazaux un détachement pour les essais d'armements.

Progressivement l'activité se développe sur ces deux sites, qui se voient dotés de moyens adaptés à leurs missions et deviennent de véritables bases d'essais.

Le centre dispose par ailleurs de détachements sur les sites où il est appelé à intervenir régulièrement, comme Toulouse pour les programmes civils et Bordeaux pour la réception des aéronefs de série.

Rattaché en 1997 à la DCE comme tous les autres centres, le CEV connaît une profonde restructuration décidée en 1998, conduisant au transfert à Istres et à Cazaux de l'ensemble de l'activité aérienne de Brétigny.

Le Centre d'essais aéronautique de Toulouse (CEAT)

Le Centre d'essais aéronautique de Toulouse est issu de la décentralisation à Toulouse, en 1940, de l'établissement de recherche aéronautique de la région parisienne. Intégré à l'ONERA en 1946, il est finalement rattaché en 1949 à la Direction technique et industrielle de l'aéronautique (DTIA) sous la dénomination d'Etablissement aéronautique de Toulouse (EAT), avant de prendre, en 1966, son nom actuel de Centre d'essais aéronautique de Toulouse.

Il réalise principalement, dès sa création, des essais de structures et d'équipements de base des aéronefs. Son portefeuille d'activité s'accroît rapidement grâce à son implication dans les programmes civils. Une deuxième implantation est créée sur le site de l'Hers, situé dans la banlieue de Toulouse, où seront finalement regroupés tous les moyens du centre après son rattachement à la DCE.

Le Centre d'essais des propulseurs (CEPr)

Le Centre d'essais des moteurs de Chalais-Meudon, dont est issu le Centre d'essais des propulseurs, devient en 1946, après sa mise en quasi-sommeil pendant la guerre, le Centre d'essais des moteurs et hélices. Il s'installe en 1950 sur le plateau de Saclay avant de prendre sa dénomination actuelle.

Spécialisé dans les essais de moteurs au sol et dans des bancs permettant de reconstituer les conditions de vol simulé, il vient de faire l'objet d'un important programme de rénovation de ses installations.

Le Centre aéroporté de Toulouse (CAP)

Cet établissement est issu du regroupement des spécialistes de la Direction des études et fabrications d'armements (DEFA) chargés des matériels destinés aux troupes aéroportées. Initialement intégré à l'Atelier de fabrications de Toulouse, il devient un établissement autonome en 1983 avant d'être rattaché en 1997 à l'Etablissement technique central des essais en vol de la DCE. Après avoir accueilli les personnels du détachement de Toulouse du CEV, il est intégré à ce dernier en 2005 pour devenir la Base d'essais de Toulouse.

Le Centre d'essais des Landes (CEL) et le Centre d'essais de la Méditerranée (CEM)

Le Centre d'essais des Landes est créé en 1962 pour permettre la réalisation des essais de missiles confiés jusqu'alors au Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux (CIEES). D'importants moyens lui sont rapidement affectés pour les essais de missiles balistiques qui constituent sa mission première.

Le champ de tir du centre est, par ailleurs, utilisé pour l'entraînement des forces et, en liaison avec la base d'essais de Cazaux du CEV, pour les essais de missiles aéroportés.

Comme le Centre d'essais de la Méditerranée, le Centre d'essais des Landes est d'abord rattaché à la Direction des recherches et moyens d'essais avant de devenir en 1977 un établissement de la Direction technique des engins (DTEn).

Le rattachement des deux établissements à la DCE en 1997 conduit à une rationalisation de leurs moyens et aboutit en 2005 à leur fusion.

Le Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques (LRBA)

Créé en 1946 sous l'égide de la Direction des études et fabrications d'armement, grâce notamment au recrutement d'ingénieurs allemands, le Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques constitue le premier maillon des moyens consacrés au développement d'engins spéciaux et de missiles. Initialement ses missions se dédoublent, d'une part en activités industrielles de conception et de réalisation d'engins propulsés par moteurs fusées et, d'autre part, en activités de recherches et d'essais.

En 1971, les activités industrielles sont transférées à la Société européenne de propulsion (SEP), l'établissement conservant ses missions étatiques d'expertise et d'essais. Il devient au même moment l'expert de la Délégation ministérielle pour l'armement en matière de navigation inertielle, chargé de l'animation des actions de la délégation dans ce domaine. Il intervient de façon active dans les programmes aéronautiques.

Le Centre d'achèvement et d'essais des propulseurs et engins (CAEPE)

Le Centre d'achèvement et d'essais des propulseurs et engins, issu du regroupement des moyens d'achèvement de propulseurs confiés à la SEREB (Société d'études et de réalisation d'engins balistiques) à Saint-Médard en Jalles et d'une annexe du CEPr située à proximité, voit le jour en 1967.

Il intervient dans la qualification et la réalisation de propulseurs de missiles.

Le Centre d'électronique de l'armement (CElAr)

Le Centre d'électronique de l'armement, dont la création est décidée en 1964 lors d'un comité interministériel d'aménagement du territoire, ouvre ses portes en 1968.

Il a une vocation de centre pilote dans les domaines de l'électronique et de l'informatique, notamment en matière de simulation.

Ses moyens, qui se sont considérablement développés depuis sa création, sont largement utilisés pour les besoins des programmes aéronautiques.

Le Centre d'études de Gramat (CEG)⁷

Le Centre d'études de Gramat, situé dans le Haut Quercy, fut créé, en 1947, par la DEFA, pour y installer des bancs d'essais de propulseurs de grande puissance.

Cette vocation fut abandonnée en 1953, du fait du développement du LRBA. Le CEG reçut alors la mission de recherche et d'expérimentation en détonique pour les besoins atomiques. Une étroite collaboration fut instaurée, de 1962 à 1969, avec le CEA. Elle permit d'étudier de nouvelles filières en détonique, grâce à des dispositifs expérimentaux élaborés et à une simulation numérique à très haute dynamique. Cette compétence et ces moyens furent utilisés, à partir de 1970, pour améliorer les charges antichar et antipersonnel étudiées par la DTAT. Le CEG fut ensuite désigné par le DGA comme organisme pilote pour les études de charges antiaériennes, puis pour la simulation des chocs mécaniques créés par les explosions nucléaires, ainsi que pour le durcissement des matériels à l'impulsion électromagnétique (IEM).

Rattaché à l'ETCA en 1975, le CEG dépendit de la DRET, à partir du 1^{er} juin 1977. Il fait partie du CEA/DAM depuis janvier 2010.

Les grands moyens d'essais de l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (ONERA)

L'Office national d'études et de recherches aérospatiales est un établissement public créé en 1946 dans le but de rassembler l'ensemble des moyens de recherche appartenant à l'Etat afin d'aider l'industrie aéronautique à renaître.

Les moyens d'essais dont dispose l'Office, principalement des souffleries et des bancs d'essais, sont largement utilisés dans le cadre des développements aéronautiques qui se succèdent depuis la fin de la guerre.

L'Office joue par ailleurs un rôle important dans l'analyse modale des structures d'aéronef, conjointement avec la SOPEMEA (Société pour le perfectionnement des matériels et équipements aérospatiaux).

Après ce survol succinct de l'historique des établissements, les chapitre suivants en fournissent une présentation beaucoup plus détaillée.

⁷ Addition par l'IGA Jean Carpentier.

3 - Chronologie									
Période Centre	< 1940	Décennie 1940	1950	1960	1970	1980	1990	1997 DCE	
CEV	1915 SEV Villacoublay 1933 CEMA Villacoublay 1937 Marignane	1944 CEV Marignane 1945 Brétigny 1946 Istres 1947 EPNER 1947 Cazaux					1998 Transfert de Brétigny sur Istres et Cazaux	Regroupement € ETCEV	Fusion
CAP		1945 CAP € DEFA	1957 → Toulouse			1983 Autonomie			
CEAT	EETIM + CEMH → ERARP	1940 → Toulouse (ERART → ERA) 1941 ERAé 1943 EET → EERT 1946 ERAT € ONERA 1949 EAT € DTIA		1966 CEAT				Regroupement	
CEPr	1916 CEM Meudon 1937 CEMO Orléans	1946 CEMH Meudon	1950 → Saclay 1959 CEPr						
CAEPE				CEP € CEPr + CAPE € SEREB → 1967 CAEPE € DTEn					
CIEES		1947 CEES € DEFA 1948 CIEES € EMA		1961 CIEES € DRME/SDME 1967 Fin					
SECT				1961 SECT € DEFA 1961 SECT € DRME	1975 CTME			Fin	
CEL				1962 CEL € DRME	1977 CEL € DTEn			Regroupement	2005 DGA/Essais de missiles
CEM		1948 GTES € CEPA (€ DCAN)	1952 CERES € EMM 1955 GTES € DCAN	1961 GTES € DTCN 1962 GTES € DRME 1968 CEM € DRME	1977 CEM € DTEn				
LRBA		GOPA € EMAT CEPA € DEFA 1946 LRBA € DEFA		1967 LRBA € DTEn	1971 Partage SEP + LRBA	SEP LRBA		Regroupement	2009 DGA/Maîtrise de l'information
CELAr				1968 CELAr € SCTI		1983 CELAr € DEI	1995 € DSTI		
CEG		1947 CEG € DEFA	1959 CEG € MAT		1975 CEG € ETCA 1977 ETCA € DRET				2010 CEG € CEA/DAM
ONERA	Chalais- Meudon	1946 ONERA	1958 Palaiseau	1963 Espace 1968 CERT € ONERA	1973 Fauga	1983 IMFL € ONERA	1997 Réorganisation	Rationalisation des souffleries	

CHAPITRE 1

Le CEV (Centre d'essais en vol)¹

PREAMBULE

De nombreux livres ou articles à caractère historique consacrés au Centre d'essais en vol - et plus généralement aux essais en vol d'après-guerre - ont été écrits par des anciens du CEV, souvent avec le label de l'Association amicale des essais en vol (AAEV). Ces ouvrages importants présentent en général le déroulement des activités du Centre au fil du temps. Une version supplémentaire résumée ne présenterait guère d'intérêt, ni pour le lecteur, ni pour l'historien du futur.

Les pages qui suivent ont donc été établies avec un triple souci :

- donner aux lecteurs non familiers de la chose aéronautique une vue des différents aspects de la vie du Centre pendant 50 ans, en essayant d'expliquer les évolutions constatées ou les problèmes rencontrés ;
- permettre des comparaisons avec les autres centres d'essais de la Délégation générale pour l'armement (DGA) ;
- aider un futur historien à la compréhension et à l'utilisation des documents parus.

Le hasard fait que l'auteur des lignes qui suivent n'est pas un « ancien » du CEV, dans la mesure où il n'y a été affecté que pour sa formation au pilotage. Il a toutefois été en contact direct avec cette institution, dans plusieurs de ses affectations, de 1953 à 1984. Outre l'apport considérable qu'ont constitué les ouvrages antérieurs, il a bénéficié des témoignages de nombreux anciens appartenant ou non au COMAERO. L'accès à quelques documents officiels a permis d'éclairer certains aspects peu traités dans les ouvrages de vulgarisation.

Enfin, l'existence d'une abondante littérature consacrée aux activités techniques du centre et à ses acteurs, la nécessité de traiter d'autres aspects de son existence et le format limité du présent texte ont conduit à ne mentionner de façon exhaustive ni les matériels essayés, ni les personnels marquants. Les choix qui ont été faits l'ont été pour l'illustration du propos et non en fonction d'une quelconque hiérarchie.

La direction dont relevait le CEV ayant plusieurs fois changé de nom (DTIA, puis DTCA au début des années 60, puis DCAé au milieu des années 80), on a écrit, pour éviter des répétitions lorsque deux ou trois de ces sigles devaient être utilisés : « DTIA etc. » ou « DTCA etc. ».

1 - INTRODUCTION

1.1 - Des débuts de l'aviation à l'immédiat après-guerre

La première moitié du xx^e siècle fut l'époque des débuts héroïques de l'aviation.

¹ Par Marcel Bénichou.

Pour encore une grande partie du public, les essais en vol ce sont les premiers vols ou les grandes extensions du domaine de vol telles que le passage du mur du son.

Pourtant, dès 1915, fut créé à Villacoublay un organisme officiel, la Section (vite devenue le Service) des essais en vol, chargée de contrôler la mise au point des appareils et leurs performances lors des vols effectués par les pilotes des constructeurs. Et dès 1916, les appareils et leurs moteurs furent équipés de dispositifs permettant de procéder à des mesures de performances ou de comportement des éléments vitaux. En parallèle, on procédait aux premiers essais en soufflerie. Dans les années qui suivirent, on commença à faire des essais en vol non seulement pour valider et évaluer une formule d'avion mais aussi pour faire avancer la science en agissant sur les commandes d'un avion pour analyser les réponses. Il en résulta des règles empiriques pour la conception des avions qui attendirent quelques années avant d'être confirmées par des études théoriques.

Dans les années 20, le Service des essais en vol, fort de sa compétence, commença à s'impliquer dans la mise au point des matériels à côté des constructeurs.

En 1933, le Service des essais en vol et le « Groupe des avions nouveaux » chargé des essais d'utilisation militaire, furent réunis sous le nom de CEMA (Centre d'essais du matériel aérien), toujours à Villacoublay. Une annexe fut créée à Marignane en 1937.

À la veille de la guerre, l'organisation d'après-guerre était en germe avec des bureaux techniques horizontaux et des « sections d'essai » par catégorie de matériels.

Une méthodologie des essais en vol avait été établie, fixant la progressivité des investigations. L'instrumentation et les enregistrements s'étaient fortement développés. Les services officiels s'impliquèrent dans la mise au point des appareils par les constructeurs. Peu avant le déclenchement du conflit, le CEMA essaya des avions de chasse étrangers.

En 1939, le CEMA fut transféré à Orléans-Bricy, puis en 1940 à Toulouse Blagnac sous le nom de Centre d'études en vol.

La période 1940-1944 fut à peu de choses près une période de sommeil pour le CEMA.

En août 1944, ce fut le réveil à Marignane, à nouveau sous le nom de Centre d'essais en vol, avec comme directeur l'ingénieur en chef Maurice Cambois.

Tout était à reconstruire. La chance de la France fut que ses dirigeants encouragèrent cette ambition et la financèrent, notamment par un dispositif d'essais en vol qui se voulut à la pointe du progrès, et que les compétences de base nécessaires existaient non seulement chez les anciens pilotes d'essais et dans une certaine mesure les navigants de retour de guerre, mais aussi chez les ingénieurs, techniciens et ouvriers. Les connexions rapidement établies avec le monde anglo-saxon accélérèrent la mise à niveau. La volonté de la direction du Centre fit le reste.

Le nouveau CEV avait reçu la responsabilité des essais des matériels de la Marine, notamment les hydravions, et des essais de tir et bombardement. Qu'ils soient pour l'armée de l'Air ou la Marine les essais étaient conduits indifféremment par des militaires des deux armées.

En août 1945 le CEV fut transféré à Brétigny, libéré par les Américains. Il conserva pendant quelques années l'annexe de Marignane. Les premiers éléments de la flotte aérienne du centre furent des avions allemands, utiles prises de guerre.

Dès 1946, le CEV commença à se doter des moyens nécessaires à son développement et à l'accomplissement de ses missions. Conduits en parallèle, le perfectionnement des moyens de calcul, l'extension de l'utilisation des souffleries et le développement des moyens d'enregistrement en vol permirent, par effet de synergie, de rendre les vols plus sûrs et plus efficaces, et les mises au point plus rapides et plus concluantes.

En 1947, la première promotion de l'Ecole du personnel navigant d'essais et de réception (EPNER) a obtenu son diplôme. En 1948, le CEV tournait à plein régime. La reconstruction était très avancée et la France commençait à reprendre son rang dans le concert des (rares) nations aéronautiques. C'est alors que l'ingénieur-en-chef Maurice Cambois fut appelé à la DTIA (Direction technique et industrielle de l'aéronautique). Il appartint alors à son remplaçant, l'ingénieur en chef, puis général, Louis Bonte de conduire le CEV sur la voie de la modernité, et de tenir la barre avec autorité et passion pendant les 10 années de son mandat, avant de témoigner de la fermeté de son caractère dans les postes de directeur central qu'il tint par la suite.

1.2 - L'évolution du contexte après la guerre

Pour comprendre ce qui va être dit de la vie du CEV au cours d'un demi-siècle, il faut avoir à l'esprit l'évolution du contexte.

La politique internationale française a conduit à la coopération sur les armements et au développement des exportations, donc à une forme nouvelle de contacts avec l'étranger.

L'évolution de la stratégie de Défense, basée sur la dissuasion nucléaire, a conduit à une modification de l'organisation du ministère de la Défense, à la création de la Délégation ministérielle pour l'armement (DMA), puis à celle de la Direction des engins (DEN) et des Centres d'essais des Landes (CEL²) et de la Méditerranée (CEM³). Après les premières années, le « plus lourd que l'air » a cessé d'être l'exclusivité de la DTIA etc. et donc du CEV, qui n'est plus intervenu que marginalement sur les engins sauf pour les tirs à partir d'aéronefs.

Par contre, le développement du bombardier Mirage IV, première composante de la FNS (Force nucléaire stratégique), et du Mirage IIIE, avion de combat emportant l'arme nucléaire tactique, a conduit à une affectation prioritaire des moyens du CEV à ces activités pendant une dizaine d'années, et à une sensible croissance temporaire des effectifs.

L'aviation légère n'ayant pas eu les débouchés escomptés dans les temps héroïques, a vu son importance décroître très vite en matière d'essais en vol.

L'apparition de l'activité spatiale n'a apporté au CEV que des activités marginales.

En revanche, les hélicoptères sont devenus une branche majeure de l'activité, poussée non seulement par les utilisateurs militaires mais aussi par la multiplicité des usages civils qui se sont révélés au fur et à mesure.

L'évolution industrielle a conduit à la raréfaction du nombre de constructeurs aéronautiques en même temps que ceux qui restaient accédaient à la maturité et donc à une forte autonomie technique.

² Voir chapitre 7.

³ Voir chapitre 8.

Les progrès techniques ont conduit à une invasion de l'électronique et par suite à une interconnexion accrue des équipements, faisant apparaître le besoin de mettre au point les systèmes électroniques de bord pris en tant que tels, et de créer à cette fin les outils appropriés.

Ils ont aussi fait évoluer à plusieurs reprises l'activité des bureaux chargés des mesures en vol et de leur exploitation.

Enfin l'urbanisation de l'Île de France a contribué (avec d'autres considérations notamment climatiques) à faire envisager très vite et à débiter très tôt un regroupement des bases de la région parisienne, puis un transfert vers le midi.

Vont être maintenant présentés successivement les missions, l'organisation, les moyens humains et matériels, l'activité et la gestion du Centre.

2 - LES MISSIONS DU CEV

Les missions du CEV se sont enrichies progressivement mais modestement au cours du temps. Deux textes permettent de suivre cette évolution :

- une instruction de la DTIA, en date du 24 août 1948 fixe les « attributions du CEV » ;
- un « canevas pour projet d'instruction », élaboré par un « groupe de travail sur les missions du CEV » a été adressé au DGA par note DTCA n° 8493 du 24 juillet 1977. Ces propositions ont été entérinées dans une instruction signée en 1979.

Comme souvent pour les textes officiels, les novations introduites entérinent des situations vieilles de nombreuses années.

2.1 - Le texte de 1948

Le premier document fixe les « domaines d'activité » en mentionnant :

- la formation aérienne du personnel navigant de la DTIA et du personnel navigant d'essais-réception des sociétés ainsi que de certains personnels expérimentaux (sic) au sol (à définir) ;
 - les matériels aériens en vol, y compris de télécommunication ;
 - certains matériels aériens au sol (hors essais aérodynamiques, essais statiques, essais de moteurs hélices GMP, essais de trains d'atterrissage, essais de matériaux) ;
- et ajoute que, pour les « autres matériels d'équipements », les attributions sont à fixer ultérieurement.

Puis il précise que le CEV doit, « dans les domaines d'activité ci-dessus,

- participer [...] à la définition des matériels, en particulier [...] pour la sécurité d'exécution des essais [...] ;
- suivre les essais en vol des matériels prototypes, exécuter les essais en vol officiels de contrôle, intervenir dans la mise au point ; suivre le matériel jusqu'à sa définition technique [...] ;
- contribuer éventuellement, en personnels et matériels, aux essais de mise au point des constructeurs ;
- participer aux opérations de recette technique des matériels de série construits ou réparés chez les constructeurs ou dans les établissements étatiques ;

- réaliser ou faire réaliser des matériels d'essai ou appareillages pour ses besoins et ceux de l'industrie ;
- rédiger les notices utiles à la mise en service [...] ».

2.2 - Le texte de 1979

Le second document, qui s'appuie sur une analyse détaillée, donne la liste suivante des missions et rôles découlant de la mission fondamentale (l'exécution d'essais en vol demandés par les services techniques de la DGA) :

- expert officiel en matière d'essais en vol (vérification de la conformité à des spécifications techniques pour les aéronefs des armées et leur armement, pour les équipements aéronautiques, pour les matériels aéronautiques civils) ;
- exécution d'essais demandés par les services techniques pour suivre le développement des programmes qu'ils gèrent ;
- formation et maintien en condition de moyens humains ;
- mise en œuvre d'une flotte aérienne « bancs d'essais » pour essais d'équipements et armements tenus à disposition de l'industrie [...] ;
- maintien des plates-formes aéronautiques d'essai de Brétigny, Istres et Cazaux ;
- maintien des moyens de supports communs aux essais en vol du CEV et des constructeurs ; à ce titre le CEV est chargé de la circulation aérienne pour les essais de réception [...] ;
- mise en œuvre de moyens de simulation au sol impliquant la participation de personnels navigants [...] ;
- coordination de l'étude et du développement de méthodes et moyens de mesure applicables aux essais en vol, y compris chez les constructeurs ; contrôle de leur organisation et de leurs moyens d'essais en vol ;
- réalisation ou validation des essais de réception en vol des matériels sortant de fabrication ou de réparation industrielle à la demande du Service industriel de l'armement (SIAR) ;
- participation aux études de définition des matériels aéronautiques ;
- participation aux processus d'évolution de la réglementation aéronautique ;
- formation et contrôle de la qualification des personnels navigants d'essai et réception dans une EPNER ;
- contrôle du dispositif de formation et d'entraînement des Corps techniques et maintien d'une flotte d'avions d'entraînement ;
- participation en cas de crise au dispositif de remplacement des services civils de la navigation aérienne.

Il était convenu que le rattachement de l'Ecole de formation technique normale de Villebon-sur-Yvette (EFTN) et du Laboratoire des d'équipements aéronautiques (LEA) se justifiait autrement que par la mission fondamentale.

2.3 - Commentaires

On constate que, sous des formulations parfois différentes, les évolutions ne sont pas fondamentales. Elles résultent principalement :

- de la prise en compte de la création de la DMA : on parle en 1977 des « services techniques » (sans préciser « aéronautiques ») et du SIAR. Cette prise en compte eut des effets concrets qui anticipèrent largement la signature de l'instruction : par exemple, l'implication du CEV dans les essais du Noratlas AMOR (Avion de mesure

et d'observation au réceptacle) puis des DC7 AMOR nécessaires au suivi des trajectoires d'engins balistiques lors des essais commandés au CEL par la direction des engins ;

- de l'évolution technique générale qui a donné un poids croissant aux équipements et armements et par suite aux essais au sol et aux bancs d'essais de systèmes électroniques ; à cet égard on notera que la banalisation de l'électronique a conduit à faire disparaître la mention spéciale qui était faite auparavant des « équipements de télécommunication » ;

- du développement des simulateurs de vol ;
- de l'importance prise par les exportations, mentionnées mais non traitées ;
- des problèmes sociaux impliquant les contrôleurs de la circulation aérienne ; heureusement, lors de la crise de 1955-1956, on n'avait pas attendu l'instruction pour agir !

- du développement de l'Europe aéronautique, notamment dans le domaine civil : le mot réglementation, qui apparaît, recouvre non seulement les textes nationaux mais les réglementations européennes à l'élaboration desquelles le CEV participa largement ;

- de la recherche croissante d'économies qui se traduit par l'introduction des mots « ou validation », permettant de ne pas refaire systématiquement les essais de réception déjà réalisés par les industriels ; cette évolution était intervenue seulement quelques années avant la réunion du groupe de travail.

Par contre, la volonté de concentrer le CEV sur ses tâches essentielles a fait disparaître la réalisation de notices, désormais confiée aux constructeurs et seulement validée par le CEV, et a fait prendre un certain recul par rapport au mesures de commodités qui avaient conduit au rattachement de l'EFTN et à l'installation du LEA.

De même, le nouveau texte reste vague sur le cas des navigants des Corps techniques. En fait leur formation avait été, dès 1964, sous-traitée au Service de la formation aéronautique du ministère des Transports, en même temps que le site de Villacoublay avait été remplacé par celui des Mureaux pour l'entraînement.

On notera l'affirmation des rôles de coordonnateur des études en matières de méthodes et moyens de mesures, et de contrôleur de l'organisation et des méthodes d'essais en vol des constructeurs. On peut penser que la compétence acquise par le Centre et les préoccupations de sécurité justifiaient cette évolution.

En matière d'aviation civile les deux textes, en ne faisant pas de distinction entre matériels civils et matériels militaires, prennent acte du décret de 1945 fixant les attributions respectives des différents ministères en aéronautique. Les responsabilités techniques de l'administration de l'aviation civile étaient déléguées à la Direction technique de l'aéronautique (DTIA etc.). Le CEV, organisme de cette direction, assumait la part de ces responsabilités en relation avec les essais en vol et l'expertise technique qui en découlait.

Certaines des missions ne sont pas nécessairement injustifiées (ne serait-ce que pour des raisons de proximité géographique), mais elles ne coulent pas de source : par exemple, la mise en œuvre de bancs « système » qui a été voulue pour conserver la compétence des équipes de l'Etat dans un domaine qui devenait de plus en plus important. D'autres sont clairement imposées pour la commodité administrative de la DTCA, par exemple celles concernant l'Ecole de Villebon et,

dans une moindre mesure, le Laboratoire d'équipements aéronautiques, ou bien la formation au vol et l'entraînement des personnels des Corps techniques.

On ne peut s'empêcher de penser que le CEV avait vraiment beaucoup de missions, ce qui ne devait pas tellement faciliter le travail des dirigeants.

3 - ORGANISATION

L'organisation du CEV reflétait la variété de ses missions et la dispersion de ses implantations.

Dans la mesure où les missions principales ont peu changé depuis l'après-guerre, on s'étonnera moins de la quasi-stabilité pendant un demi-siècle des principes d'organisation adoptés au départ : un siège abritant la direction, la sous-direction technique et les services de support, dispositif complété par des bases d'essai ou annexes ainsi que par des détachements permanents ou transitoires de personnels navigants et/ou d'experts techniques auprès d'organismes extérieurs.

Sauf mentions contraires les indications qui suivent concernent le milieu des années 70.

3.1 - L'organisation interne

3.1.1 - Répartition géographique

Au cours du temps, elle fut affectée par de nombreuses mesures d'abandon, de regroupement et de transfert.

a/ Le siège

A Brétigny, le directeur (un ingénieur auquel était adjoint un général ou un colonel de l'armée de l'Air) s'appuyait, d'une part, sur la sous-direction technique et, d'autre part, sur les services de soutien administratif dont dépendait l'EFTN de Villebon, enfin sur des bases d'essais et des détachements. La sous-direction technique (2/3 des effectifs) était scindée en un « service des essais » chargé de leur exécution et d'en fournir les résultats, et des services de support technique, correspondant aux moyens humains et matériels nécessaires à l'exécution des essais : service du personnel navigant, service des moyens aériens (devenu service des pistes), service des méthodes (enregistrement et dépouillement des mesures) et des moyens d'essais (conception et conduite des programmes correspondants). Le Laboratoire de médecine aérospatiale (LAMAS) et le Laboratoire des équipements aéronautiques (LEA) dépendaient du sous-directeur technique.

Les services de soutien comprenaient les services du personnel, des finances et approvisionnement, de l'informatique, des transports, de la sécurité et du gardiennage, et de l'infrastructure.

b/ Les bases

Les bases de Berre (hydravions), d'Orange (armement) et de Marignane (essais d'aéronefs) furent assez vite abandonnées, la première en 1946, la seconde en 1948, la troisième en 1958.

Un commandement des bases d'essais, situé à Brétigny, couvrait des services techniques délégués à Istres et Cazaux, avec le même découpage qu'au niveau central pour les services de support.

Les bases d'Istres et Cazaux étaient commandées par un « chef d'annexe » dépendant hiérarchiquement du directeur du CEV. Il y avait à Istres deux entités séparées : la « base » faisant partie de l'armée de l'Air, commandée par un colonel « commandant de base », et l'annexe du CEV ; l'armée de l'Air avait la responsabilité de l'entretien et du fonctionnement de la base et mettait celle-ci à la disposition du CEV pour les essais en vol. A Brétigny même, il y avait une autorité du CEV qui jouait le rôle de chef de base.

Les services ou « sections » d'essais étaient répartis entre les bases par catégorie d'essais ; leur implantation varia au cours du temps :

- à Brétigny : avions (jusqu'en 1962), moteurs (jusqu'en 1960), voilures tournantes (jusqu'en 1986 ; la section d'essai avait été créée en 1958, prenant le relais du Service des méthodes et moyens d'essais, responsable jusque-là), télécommunications, équipements (à partir de 1976, le chef du service des essais fut secondé par une équipe « systèmes »), LAMAS (Laboratoire de médecine aérospatiale), LEA (Laboratoire d'équipements aéronautiques), Groupe technique puis « Section » AMOR, Groupe réception, Ecole du personnel navigant d'essai et de réception (EPNER) jusqu'en 1962.

- à Istres : avions (à partir de 1962 ; depuis 1957 Istres accueillait les essais faits antérieurement à Marignane), moteurs (à partir de 1960), voilures tournantes (à partir de 1986), études et simulateurs, réglementation, EPNER à partir de 1962 ; à Istres aussi se trouvait la section « Etudes et simulation », créée en 1971, et développée à partir de moyens mis en place dès 1966.

- à Cazaux, qui était dévolu à l'exécution des essais d'armement. L'évolution du pilotage de cette activité fut la suivante : une section « armement » au départ, à Brétigny, complétée par une section « engins spéciaux » en 1951, puis fusion des deux sections en 1959 dans une section d'essais « armes et engins ».

Les essais et tirs d'armement classiques furent effectués d'abord à Orange, puis, à partir de 1948, à Cazaux. Pour les missiles, les tirs furent effectués au début dans le Sahara sous responsabilité du CIEES⁴ (Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux) de Colomb-Béchar, où le CEV avait un détachement auquel était déléguée la responsabilité des vols. Après l'indépendance de l'Algérie, cette activité fut transférée à Cazaux.

Jusqu'en 1968, les chefs de section furent des officiers ; en 1971, la section d'essais « armes et engins » fut transférée à Cazaux.

Les services de soutien des bases couvraient l'administration, les transports, la sécurité, le gardiennage, l'entretien, les centres médicaux et la restauration.

Les bases d'essais accueillait des détachements des constructeurs pour leur permettre de faire leurs propres essais en vol, pour assurer le support industriel des essais du CEV ou pour conduire l'activité de bancs d'essais au sol à proximité des équipes d'essais en vols. La gestion de ces implantations, dont certaines pouvaient concerner plusieurs centaines de personnes et qui nécessitaient place et support, demanda une implication permanente et souvent lourde de l'administration du CEV.

Brétigny accueillait un détachement de quelques dizaines de personnes du CEAM (Centre d'expérimentation aéronautique militaire) qui fut ensuite déplacé à Istres.

⁴ Voir chapitre 5.

En 1988, une décision ministérielle prescrivit le regroupement du CEV sur deux bases : Istres et Cazaux .

c/ Les détachements

Les « bases d'essais » étaient complétées par un certain nombre d'annexes et détachements.

En 1948, les annexes de Toulouse et de Villacoublay du Centre aérien technique de réception et d'entraînement (CATRE) (en l'occurrence, formation et entraînement des Corps techniques) furent rattachées au CEV. Vers 1950 la partie réception fut installée à Brétigny. L'activité liée aux Corps techniques fut ultérieurement transférée aux Mureaux puis à Melun-Villaroche où l'annexe de la DGAC, affectataire secondaire, entraînait aussi ses propres personnels techniques navigants.

A Bordeaux, un détachement assurait la réception des avions Dassault et, accessoirement, l'entraînement aérien des « Corps techniques » de la région.

Le détachement de Toulouse était responsable de la réception des matériels aériens de la région (Breguet, Sud-Aviation, etc.), du support des équipes CEV de passage (notamment pour les activités liées au parachutage ou à l'aviation civile) et, comme à Bordeaux, de l'entraînement des « Corps techniques » de la région.

A l'Atelier industriel de l'air (AIA) de Clermont-Ferrand, le personnel navigant chargé de la réception des appareils sortant d'usine après entretien dépendait, fonctionnellement, du CEV mais, hiérarchiquement, du directeur de l'AIA.

3.1.2 - Commentaires sur la dispersion géographique des moyens

La décentralisation à Istres, commencée vers 1960, fut motivée principalement par la nécessité de disposer d'une base plus étendue et moins contrainte par les proximités urbaines que le site de Brétigny-sur-Orge. En outre, une météorologie plus favorable permet une plus grande cadence des vols.

Cazaux fut choisi pour les essais d'armement et engins parce que l'aérodrome servait déjà aux tirs d'entraînement de l'armée de l'Air et disposait des moyens et des dégagements géographiques nécessaires.

Le choix de Melun (après Les Mureaux et Villacoublay) pour l'entraînement des « Corps techniques » de la région parisienne permettait d'éviter, dans une certaine mesure, l'encombrement aérien de la zone parisienne.

Le mouvement inverse, vers Brétigny cette fois, fut envisagé en 1978 afin de réduire le nombre d'implantations.

Le rattachement au CEV de l'EFTN était une mesure de commodité pour la DTCA, sans intérêt pour le CEV lui-même. En 1978 une note de la DTCA demanda au CEV d'étudier un rattachement différent de l'établissement de Villebon pour la rentrée scolaire de 1979. La même note demandait l'étude pour la fin de l'année 1978 du départ du LEA.

Il n'y avait pas dans l'organisation une séparation globale entre les activités militaires et les activités civiles. La synergie des compétences pouvait donc jouer à plein.

3.1.3 - Le cœur du dispositif technique : le « Service des méthodes et moyens d'essais »

Qui dit « essais en vol », pense au pilote qui se met aux commandes d'un avion nouveau et le fait décoller pour analyser son comportement en vol, puis revient pour faire un compte rendu de ses manoeuvres et observations.

On est entré dans l'ère scientifique des essais en vol lorsqu'on a développé des outils permettant d'objectiver par des mesures l'observation, à chaque instant, des conditions du vol, et d'assurer le retour d'information au sol après le vol. Ainsi, personnels navigants et instrumentation se complétaient. Une seconde étape, non moins importante, a été la transmission en temps réel des informations recueillies pendant le vol.

L'essentiel du travail du « Service des méthodes et moyens d'essai » du CEV, à Brétigny, a consisté à imaginer, faire réaliser et exploiter les dispositifs permettant de mettre en œuvre cette stratégie. On appelait « labo calcul » le centre de dépouillement des données enregistrées.

L'outil d'enregistrement qui fit la réputation du service est l'enregistreur en vol « Hussenot-Beaudouin », du nom du concepteur et de celui du constructeur (voir le § 5.3.1 ci-après).

Le service des méthodes du CEV resta centralisé tout au long de la période considérée, même après le départ de Brétigny de certaines sections d'essai. Cette politique, qui n'excluait pas une bonne coopération avec les bases et des adaptations spécifiques pour l'une ou l'autre, permit d'assurer l'homogénéité des outils et la fertilisation croisée des expériences.

La continuité du service fut assurée par l'ingénieur navigant d'essais Jean Idrac qui y passa 30 ans et le dirigea pendant une vingtaine d'années, jusqu'en 1976.

3.2 - Relations avec l'extérieur

Les interlocuteurs du CEV étaient principalement (mais bien sûr pas exclusivement) :

- sa direction de rattachement (DTIA etc.) ;
- les services techniques de cette direction (STAé, STTA) ;
- les forces armées ;
- les services homologues étrangers ;
- les constructeurs.

Mutatis mutandis, le directeur de la DTIA était un peu dans la situation du roi de France face à ses grands vassaux au Moyen-Age. Ses leviers principaux étaient les tableaux d'effectifs et les crédits.

Les services techniques étaient donneurs d'ordres pour les activités du CEV, dont l'autonomie était grande dans la réalisation des tâches confiées. Ces organismes avaient une très large délégation en matière de contrat. Les choix des industriels réalisateurs des programmes ou des études générales étaient faits par les services techniques, sauf lorsque le poids des considérations de politique industrielle était important.

Les forces armées intervenaient aux deux bouts de la chaîne de réalisation pour les programmes de matériels militaires : au départ, lors de la fixation des clauses opérationnelles (la « fiche programme »), et au moment de la livraison des matériels. En pratique elles étaient étroitement associées tout au long du processus pour éviter

des prises de conscience trop tardives et pour apporter leur compétence ; elles participaient aux réunions techniques générales et dans certains cas aux vols. Un détachement du Centre d'expérimentations aériennes militaires (CEAM), créé à Mont-de-Marsan en 1945, fut installé, comme signalé plus haut, à Brétigny en 1952, puis à Istres en 1968. Les constructeurs dépendaient du CEV qui devait donner son agrément à leur dispositif d'essais en vol, valider leurs essais, effectuer des vols sur ses avions de servitude et les accueillir sur ses bases.

Les rencontres étaient souvent informelles, justifiées par l'apparition de problèmes - en général techniques - à régler, et se tenaient au niveau de compétence requis. Ou alors il s'agissait de réunions multilatérales pour suivre l'avancement des programmes.

Il existait une rencontre formelle, mensuelle, entre le directeur du CEV et celui du STAé ; un « observateur » de la direction technique y participait.

Les relations entre les partenaires étaient marquées par les communautés d'origine (les ingénieurs de l'armement se tutoyaient en général), de statut (les IA avaient le statut militaire comme les représentants des armées) ou de métier (les pilotes et plus généralement les navigants de tous bords formaient d'une certaine façon une caste assez solidaire). Il n'y a pas de trace, dans la documentation, de ce qu'on appelle aujourd'hui les conflits d'intérêt. Les liens résultant de cette situation facilitaient grandement les échanges. L'influence, sur la réussite du programme Mirage IV, de la cohésion de l'équipe constituée par l'ingénieur en chef Jean Forestier, ancien du CEV représentant le STAé et le colonel Edmond Villetorte représentant l'armée de l'Air, est restée célèbre.

Les conflits étaient rares ou cachés. La littérature est très avare sur ce sujet. Elle mentionne cependant des incompatibilités entre le DTIA par interim et le directeur du CEV en 1947.

Avec l'étranger, principalement les USA et le Royaume-Uni, puis la RFA à partir du milieu de la période, les relations étaient soit des relations de coopération sur des programmes, soit des contacts d'experts et échanges de personnels et de services qui, après les premières années de la reconstruction, s'établirent assez vite sur un pied d'égalité et dans un climat de confiance dans la décennie qui suivit la fin de la guerre. La formation de pilotes étrangers par l'EPNER prouvait la reconnaissance internationale du savoir-faire du CEV.

4 - LES PERSONNELS

4.1 - Les directeurs

De 1945 à 1996, le CEV fut dirigé par :

- ICA Maurice Cambois : 1945-1947 ;
- ICA Louis Bonte : 1947 (interim) ;
- ICA Noël Daum : 1947-1948 ;
- IGA Louis Bonte : 1948-1958 ;
- IGA René Pommaret : 1958-1970 ;
- IGA Robert Munnich : 1970-1974 ;
- IGA Roger Guénod : 1974-1978 ;
- IGA Gabriel Colin : 1978-1984 ;

- IGA Pierre Tamagnini : 1984-1990 ;
- IGA Hervé Groualle : 1990-1996.

4.2 - Les effectifs

Le CEMA avait atteint 750 p. en 1939 ; en 1948 le directeur Louis Bonte fit approuver un « tableau d'effectifs » de 2 400 p. Effectivement le CEV y parvint en se développant rapidement pour atteindre, en 1953, 2 350 p. Heureusement, car les constructeurs s'étaient remis au travail et sortaient des prototypes à un rythme effréné et la flotte de servitude comprenait encore beaucoup d'appareils d'un entretien coûteux. En 1968, le maximum fut atteint avec 2 780 p. : il fallait respecter impérativement les délais pour la mise au point du Mirage IV, première composante de la FNS, veiller à la mise au point du Mirage IIIE, élément de la force nucléaire tactique, et s'impliquer dans celle du Concorde. En 1980, les effectifs étaient redescendus à 2 533.

Cette relative stabilité à partir des années 50 laisse rêveur car pendant cette période beaucoup de choses ont changé. On ne peut s'empêcher de penser que la stabilité des statuts des personnels et la logique des arbitrages budgétaires sont pour une part dans ce phénomène.

4.2.1 - Répartition géographique

A la fin de 1977, sur un total de 2 644 p., 1 416 étaient affectées à Brétigny, 561 à Istres, 436 à Cazaux, 170 à Melun, 41 à Toulouse, et 20 à Bordeaux. A cela s'ajoutaient de petits détachements à Brest, Aix, Orly et Villebon.

4.2.2 - Répartition par catégories

La gestion était compliquée par la dispersion géographique et surtout par l'existence des catégories de personnels navigants, dont l'emploi faisait d'ailleurs l'objet d'un suivi particulier par la sous-direction technique.

L'extrême diversité des statuts des personnels du CEV dépassait celle des autres établissements ou services du ministère. Aux militaires, détachés des Armées, ingénieurs ou médecins, s'ajoutaient les civils, fonctionnaires, contractuels ou ouvriers d'Etat. Le cas particulier des navigants de toutes spécialités ne simplifiait pas les choses.

En 1977 le CEV comptait 78% de civils (dont 5% d'ingénieurs) et 22% de militaires (dont 2% d'ingénieurs militaires et 4% d'officiers). Pour remplir sa mission dans la circulation aérienne, le CEV employait une quarantaine de contrôleurs spécialisés.

Plusieurs officiers supérieurs des armées, pilotes pour la plupart, furent affectés au CEV. Un général ou un colonel de l'armée de l'Air était adjoint au directeur.

Dans les premières années d'après-guerre, le colonel Pierre Sautier fut chef de la section armement du CEV. Non content de faire essayer les matériels, il fut à l'origine du développement de plusieurs d'entre eux, roquettes et bombes. Il fut à l'origine de la création d'une annexe du CEV à côté de la base de l'armée de l'Air de Cazaux ; l'emplacement était favorable aux essais du fait des possibilités de tir offertes par le site. Un commandant de l'armée de l'air fut le premier chef de l'annexe de Cazaux.

Les personnels militaires des Forces armées affectés au CEV étaient notés par la hiérarchie du Centre. Puis à son tour, le DTIA (et ses successeurs) notait les officiers de l'armée de l'Air ; le notateur en dernier ressort était le chef d'état-major de rattachement de l'officier.

4.2.3 - Répartition par activités

Le commandement technique (direction, sous-direction technique et service des essais) occupait, en 1977, 18% des effectifs, l'exécution technique 49%, le soutien 31%. L'école de Villebon mobilisait 1,5% du personnel.

4.2.4 - Le cas des personnels navigants. Les risques des vols d'essais

Les personnels navigants d'essais-réception étaient pilotes, ingénieurs, mécaniciens ou expérimentateurs. Ce qui suit concerne les vols autres que sur monoplace.

Le pilote conduit l'appareil à expérimenter, en interprète le comportement et donne son avis sur les leçons à en tirer.

L'ingénieur navigant d'essai définit le programme d'essai, participe à l'exécution de l'essai, en vol ou du sol, exploite les résultats et rédige le rapport d'essai.

Le mécanicien navigant d'essai assiste le pilote, particulièrement dans la surveillance des paramètres avion ou moteur, et veille à l'état de l'appareil et de ses éléments avant et après le vol, ainsi que pendant les interventions en atelier.

L'expérimentateur en vol est l'expert pour l'installation des moyens de mesures en vol et les enregistrements.

Le processus de sélection était sévère et tous devaient avoir suivi le stage *ad hoc* de l'EPNER, et acquis préalablement une expérience du vol (de l'ordre du millier d'heures sur plusieurs types d'appareils pour les pilotes) ainsi qu'un brevet de pilote pour le second emploi et de mécanicien navigant pour le troisième. L'ingénieur devait être diplômé.

Outre le risque inhérent à toute activité aérienne, les personnels navigants d'essai rencontraient dans leurs missions d'essai en vol, le risque supplémentaire de la mise en œuvre de matériels non éprouvés en vol ou non éprouvés dans les conditions de vol de la mission, qu'il s'agisse d'aéronefs nouveaux ou d'aéronefs connus mais modifiés ou emportant des matériels nouveaux.

Les accidents mortels ou très graves de personnels d'essais en vol étaient extrêmement nombreux avant-guerre. Dans les débuts de l'après-guerre, les pertes humaines restèrent importantes (quoique moins nombreuses qu'avant, notamment grâce à la meilleure maîtrise des problèmes de stabilité). Cela tenait principalement aux indications lacunaires que fournissaient les calculs et essais au sol préalables, un peu aussi à l'enthousiasme imprudent qui prévalait parfois alors.

Comme exemples de risques réels sérieux, évidents et consentis on peut citer :

- le franchissement du mur du son sur prototypes français ;
- les vols sur des formules d'appareil que l'on pourrait qualifier d'exotiques encore dans les années 60, avec les avions à décollage vertical ;
- les essais en vol de siège éjectable ;
- les essais de flottement aérodynamique.

Dans tous ces cas, c'est à un saut dans l'inconnu qu'étaient invités les navigants.

Certes, les « vols CEV » étaient souvent précédés par des « vols constructeur ». Mais, même si le CEV ne procédait pas - en principe - aux premiers vols des prototypes, réservés aux pilotes des constructeurs, son entrée très rapide dans le processus d'évaluation et de mise au point des avions nouveaux et ses diverses missions d'investigation technique et scientifique conduisaient à des prises de risque analogues.

Un relevé très global donne une indication des risques dans lesquels s'engageaient les personnels qui passaient au CEV.

Sous le titre « Liste des personnels navigants "essais-réception" du CEV ou ayant appartenu au CEV, morts en service aérien », une note de 1971 donne les chiffres suivants : de 1947 à 1967 : 145 décès, dont 90 dans les dix premières années. On voit le lourd tribut payé. On voit aussi la baisse enregistrée dans la seconde décennie.

Les blessures, souvent graves, étaient très fréquentes.

Plusieurs grandes figures furent frappées, en service au CEV ou après l'avoir quitté : l'ingénieur François Hussenot (voir § 5.3.1 ci-après) avec son équipe, le lieutenant colonel Roger Carpentier, chef pilote au CEV, premier à avoir passé le mur du son sur un avion français (le Mystère II) en 1952,... et bien d'autres. Les personnels des Corps techniques payèrent aussi leur tribut pendant leur formation ou leur entraînement.

Il ne semble pas que cette situation ait jamais limité les candidatures pour le CEV.

Avec l'évolution des mentalités, on imagine l'engorgement des tribunaux si de tels accidents intervenaient en ce début du ^{xxi}^e siècle.

Par la suite la situation s'améliora, sans toutefois que l'envol vers l'inconnu technique cesse d'être une opération à risque : les grandes innovations continuèrent, avec le vol vertical, sur les hélicoptères comme sur les avions, avec les hélices carénées, avec les empennages « canard » et les matériaux composites, avec le pilote automatique et l'atterrissage sans visibilité.

Différents facteurs ont joué, outre les mesures visant directement à mieux encadrer, former ou aider en vol les pilotes (suivi en salle d'écoute par radio dès 1950, et sur enregistrements en 1970) :

- la réduction du nombre de prototypes à essayer, liée à l'évolution de la politique de la direction chargée de l'Aéronautique et à la concentration de l'industrie ;

- le développement des calculs et essais au sol qui permettaient de mieux prévoir les efforts auxquels seraient soumis les aéronefs, et aussi de prendre dans les dimensions les marges nécessaires, avec cependant la menace d'un excès de poids : dans les années 80, un constructeur s'étant flatté de la réussite d'un essai statique dès la première tentative, se vit répondre par un ingénieur du Service technique : « Donc votre avion est trop lourd », la coutume - si l'on peut dire - étant d'admettre, au début des essais, quelques ruptures sans gravité ici ou là, réglées ultérieurement par des renforcements locaux ;

- l'amélioration de la représentativité des simulateurs grâce aux études sur le comportement prévisible des appareils en vol ;

- la formalisation de plus en plus précise des règles d'autorisation de premier vol et la fixation rigoureuse des domaines de vol progressivement autorisés. Dans les années 60, plusieurs dizaines de personnes participaient aux réunions techniques préalables au cours desquelles chaque spécialiste devait donner son feu vert à la décision d'autorisation prise par le Service technique aéronautique ;

- un contrôle spécifique de la circulation aérienne d'essais-réception. Dans le même ordre d'idées, la sécurité des vols lors des salons de l'aéronautique fut améliorée à l'initiative du CEV qui avait des responsabilités importantes en la matière.

Une illustration de l'évolution des états d'esprit peut être trouvée dans l'avion dit « Petit canard » conçu au début des années 80 avec enthousiasme par les élèves de quelques promotions successives de SUPAERO, sous l'impulsion et la conduite très active d'un ingénieur, ancien du CEV et du STAé. Malgré un certain fléchissement de l'enthousiasme sur la fin, l'avion fut construit. Mais en raison du caractère artisanal de l'élaboration, et de la nécessité de satisfaire une réglementation de contrôle devenue sévère, le CEV considéra que le jeu n'en valait pas la chandelle et le premier vol ne fut jamais réalisé. On n'était vraiment plus au temps de l'aventure gratuite !

4.2.5 - Les départs dans l'industrie

La technicité croissante du travail entraîna très tôt des départs de personnels qualifiés vers l'industrie qui offrait des salaires d'autant plus élevés que la denrée était rare.

Dès 1955 le CEV s'en est ému dans une note signalant : « Divers services d'essais en vol des constructeurs ont cherché à recruter des ingénieurs d'essai parmi le personnel du CEV. Les constructeurs souhaitent disposer de personnes formées sur le tas et pas seulement par un passage à l'EPNER ». Il semble que ce type de problème n'ait pas atteint un niveau critique ou, en tout cas, très différent de celui qu'affrontaient tous les services de la DTIA.

Les départs concernaient aussi les pilotes d'essai, mais ce n'était pas toujours sans retour. Jean Sarraill, recruté au CEV en 1949, participa aux essais d'un grand nombre d'avions avant de partir chez le constructeur Leduc dont, avec Yvan Littolff, il pilota les avions jusqu'à l'arrêt du programme, puis il revint au CEV en 1958 pour essayer les avions de combat de l'époque, tout ceci au prix de graves accidents. Roland Glavany, quant à lui, était un pilote de chasse recruté au CEV en 1950, puis par Marcel Dassault en 1956, comme chef pilote, poste où il assura les premiers vols des Mirage I, Mirage III et Mirage IV, après quoi il revint dans l'armée de l'Air en 1959.

5 - MOYENS MATERIELS DU CEV

5.1 - Les emprises

Les contraintes particulières des essais en vol (longueurs de pistes, circulation aérienne dégagée, équipements au sol pour suivi des essais et mesures, nécessité de réduire les risques d'accidents ou leurs conséquences, proximité relative des constructeurs, conditions météorologiques) imposaient de travailler sur des bases aériennes dévolues aux essais et donc affectées au CEV.

Installé en tout début de période, en héritage du CEMA, sur les bases de Villacoublay pour le contrôle des appareils neufs ou réparés (héritant du CATRE en 1948) ainsi que la formation et l'entraînement des Corps techniques, Orange (pour les essais d'armement) et Marignane pour les autres essais, le CEV très rapidement

se recentra principalement sur Brétigny (installation à partir du 1^{er} août 1950 de la direction, de la sous-direction technique et des services généraux), sur Istres dès 1947 pour les essais d'appareils partant de Marignane encombré par le trafic aérien civil, et, pour les essais d'armement, sur Cazaux, dont l'armée de l'Air avait le contrôle pour ses propres essais depuis 1936. Orange était abandonné en 1948, Marignane en 1958, et Villacoublay ne conservait plus que l'entraînement des Corps techniques.

Pour les essais d'hydravions, une annexe provisoire avait été établie sur la base aéronavale de Berre. La base fut restituée à la Marine en 1948 par suite de la disparition de programmes d'hydravions.

Une annexe avait été créée à Colomb-Béchar pour les essais d'engins et un détachement temporaire s'occupait des essais par temps chaud sur la base de Thionville en Algérie. Mais l'indépendance de l'Algérie mit un terme à l'activité du CEV dans ce pays et Cazaux accueillit la plupart des essais de missiles tactiques.

L'installation dans les nouvelles emprises nécessita d'importants efforts financiers pour la création ou l'amélioration des pistes, le montage de hangars, l'édification de bâtiments de bureaux. En 1953, fut inaugurée à Brétigny une piste de 3 000 m x 100 m, la plus grande d'Europe à l'époque (figure 1). Elle fut l'objet d'une réfection en 1986.

Après ces importants mouvements, la situation se stabilisa autour de Brétigny, siège et base d'essai, et des bases d'Istres et Cazaux.

A noter l'abandon de Villacoublay, ses activités étant transférées aux Mureaux au début des années 60, puis à Melun-Villaroche en 1972.

Le dispositif était complété par des détachements à Bordeaux et Toulouse pour la réception des avions.

La DTIA etc. fut « affectataire principal » des emprises de Brétigny et de Melun-Villaroche et « affectataire secondaire » de celles d'Istres et Cazaux.

L'effort se porta alors surtout sur l'équipement des bases (pistes, voirie, tours de contrôle, hangars et matériels techniques).

Il y avait à Brétigny, outre la piste de 3 000 m déjà citée, une piste de 1 800 m. Il y eut à Istres une piste de 3 815 m et de 60 m de large, avec des prolongements à chaque extrémité respectivement de 1 500 m et de 340 m.

En 1977, les surfaces couvertes s'élevaient à 79 000 m² à Brétigny, 38 000 m² à Istres (qui avait accueilli entre-temps les sections d'essai avions et moteurs), 25 000 m² à Cazaux, 6 900 m² à Melun-Villaroche, 1 460 m² à Toulouse, 260 m² à Bordeaux, soit environ 150 000 m² au total.

Les bases du CEV accueillirent des détachements de nombreux autres organismes : industriels, représentants des Forces aériennes, ONERA⁵, CNES, etc.

5.2 - Les moyens aériens. La « flotte » du CEV

Outre son activité aérienne de contrôle, voire d'aide à la mise au point des aéronefs prototypes, le CEV gérait et mettait en vol un grand nombre d'aéronefs qui lui étaient affectés ou prêtés, ou qu'il achetait pour faire face à ses missions complémentaires :

⁵ Voir le chapitre 13 de ce document, notamment le § 3.2, et le chapitre 1 du tome II du document du COMAERO sur les *Etudes et Recherches* (2008).

- contribution aux essais en vol des moteurs, des équipements et des armements ainsi qu'aux essais relevant des études générales ;
- formation aérienne des personnels navigants d'essais-réception ; formation et entraînement (puis seulement entraînement) des personnels des Corps techniques de l'aéronautique ;
- liaisons aériennes pour transport de personnels et matériels ;
- mise en œuvre des DC7 AMOR.

Cette flotte d'avions, fortement hétérogène du fait de la variété des besoins, a constitué à l'origine un ensemble que l'on peut qualifier d'hétéroclite. En effet, dès le lendemain de la guerre, le CEV s'est empressé de réunir le maximum d'appareils, prises de guerre ou autres, lui permettant d'exécuter ses missions. Plusieurs avions allemands, du Junker 52 au Messerschmitt 262, furent ainsi recueillis. A cela s'ajoutèrent des avions construits en France sous licence pendant l'occupation, quelques avions français et aussi des appareils anglo-saxons tels que les Meteor, T33 ou B26, et les Canberra en nombre important.

Cet ensemble n'était un optimum ni sur le plan des caractéristiques ni sur le plan de la maintenance : il fallait une moins grande dispersion des modèles, plus d'avions rapides et moins d'appareils vétustes et d'entretien coûteux.

L'optimisation de la flotte fut donc une préoccupation constante des gestionnaires du Centre tout au long des décennies qui suivirent. La flotte s'améliora en qualité, rapidement. D'autre part, le CEV prenait en charge les prototypes achetés par l'Etat et sans emploi, une fois terminée la mise au point. Et les différentes sections d'essai n'étaient guère enclines à se séparer de matériels qui pouvaient toujours servir. Si bien qu'en 1953 la direction du CEV fut amenée à imposer à ses services la réforme ou la restitution aux organismes prêteurs d'une vingtaine d'avions de la flotte. En outre, elle décida l'unification, à base de Stampe SV4, de la flotte des Corps techniques qui incluait jusque-là quelques Morane 315.

Malgré ces mesures, en 1955 le nombre d'appareils se montait à 314 dont 80 avions à réaction ainsi répartis : 242 en activité, 11 sans emploi et 61 prêtés aux constructeurs. Sur les 242 en activité, 105 servaient aux essais et autant à la formation et aux liaisons.

En 1960, la flotte comptait encore 313 appareils de 50 types différents : 32 en chantiers, 132 en essais-études, 106 pour les Corps techniques, 13 pour l'EPNER, 30 pour les liaisons ; 95 étaient basés à Brétigny, 40 à Istres, 13 à Cazaux, 79 à Villacoublay, 7 à Toulouse ; 33 étaient détachés sur d'autres sites et 14 sans emploi restaient chez les constructeurs.

Après quoi, le nombre d'appareils chuta progressivement passant à 200 en 1970 et 153 en 1976. La formation des Corps techniques avait été transférée au ministère chargé des Transports et la pointe de charge d'essais des années 60 avait disparu.

La flotte restait par la force des choses hétérogène du fait de la persistance des diverses missions. Les instances de contrôle se penchèrent sur le poste de dépenses. Une note du contrôleur général Philippe-Alban d'Hauthuille (voir aussi le § 7.4) prend acte de la réduction précitée et répartit comme suit la flotte en 1976 : 69 appareils en essais, 52 pour l'entraînement des personnels de Corps techniques, 18 à l'EPNER et 14 pour les liaisons.

Les efforts du Centre se poursuivirent, notamment pour mieux adapter la flotte aux perspectives d'essais d'études générales. Une note de la Direction des recherches et

études techniques (DRET) de 1978 recense les catégories de missions correspondantes et envisage l'acquisition d'une Caravelle comme avion de mesures d'usage général au profit non seulement de la DMA mais aussi des centres de recherche civils.

5.3 - Les moyens de mesure

5.3.1 - Les moyens de mesure en vol

L'outil d'enregistrement qui fit la réputation du Service des méthodes et moyens d'essais du CEV est, comme il a été dit plus haut, l'enregistreur en vol « Hussenot-Beaudouin », du nom du concepteur et de celui du constructeur.

L'ingénieur de l'Air François Hussenot, arrivé au CEV en 1935, se lança dans la réalisation de capteurs spécialisés de paramètres de vol avec enregistrement photographique continu. Dix ans plus tard, au lendemain de la guerre, la France disposait de l'enregistreur multiple HB, outil unique au monde. A cette époque, les Anglo-Saxons se contentaient de recourir à la mise en place à bord de l'avion d'un panneau d'instruments de bord encombrant et d'une précision limitée ; l'enregistrement était assuré par une série de photos instantanées rendant la restitution difficilement exploitable. Le matériel français était, lui, à la fois portable et robuste, au point de pouvoir être exploité en cas d'accident.

En 1947 fut créée la Société de fabrication d'instruments de mesure (SFIM) pour produire l'HB en série. La SFIM développa ensuite une famille d'enregistreurs.

Un des problèmes qui se posa avec acuité fut celui des étalons pour les mesures de pression. Dès 1950 le Service des méthodes lança, en liaison avec le Pavillon de Breteuil à Sèvres, la réalisation d'un manobarmètre de précision. Par la suite une étude fut confiée à l'industriel Jaeger.

Dès le début des années 50, les constructeurs britanniques avaient recours au matériel français.

Les « boîtes noires » (figure 2), dont la récupération est essentielle à la compréhension des causes d'un accident d'aéronef, sont les lointaines descendantes de l'HB.

En 1960, les installations de mesure de 150 avions étaient exploitées par le CEV. En 1963 le Service méthodes gérait 400 enregistreurs HB de modèle récent.

Malgré ses qualités, l'hussenographe ne permettait pas d'enregistrer des phénomènes de faible ampleur et à fréquence élevée tels que les vibrations, notamment d'origine aérodynamique. Il fallut faire appel à une autre génération de matériels : les enregistreurs magnétiques. Le premier fut développé en 1956 par une société française sur directives du CEV. En 1963, 30 appareils étaient en service, des versions de plus en plus perfectionnées continuant à être développées.

Puis, le progrès aidant, on put faire appel à la télémesure permettant de disposer en temps réel des informations, ce qui permettait d'intervenir sur le programme d'essai en cours et d'améliorer la sécurité et l'efficacité des vols. Le CEV s'y intéressa à partir des années 50 ; un matériel ONERA-SFIM fut utilisé en 1957 et 20 émetteurs étaient disponibles en 1960, notamment pour utilisation sur les Mirage III. Comme, en parallèle, une télémesure *ad hoc* avait été développée pour les essais de missiles, le CEV engagea une réflexion et entreprit les actions nécessaires pour aboutir, au milieu des années 60, à un matériel utilisable sur les différents porteurs :

la télémessure Ajax construite par la SAT (Société anonyme des télécommunications).

A la fin des années 70, le passage au numérique induisit une nouvelle révolution. Avec le système d'acquisition de données Damien, les sorties numériques des différents enregistreurs étaient branchées sur le même « bus » assurant le codage et le multiplexage. Dans les années 80 ce système commença à équiper le CEV qui en utilisait environ 75 dans les années 90.

En fin de période, le *Global Positioning System* (GPS) permet de disposer de mesures complémentaires pour déterminer la position de l'appareil.

Ces grandes révolutions techniques nécessitèrent chaque fois des efforts d'adaptation des personnels soucieux de ne pas abandonner des méthodes éprouvées.

5.3.2 - Les moyens de mesure au sol

Le premier instrument utilisé fut le cinéthéodolite, constitué par une caméra montée sur un théodolite, permettant la mesure de l'orientation de l'axe de la prise de vue. Synchronisé avec un second appareil du même type, voire un troisième pour plus de précision, c'était un moyen de trajectographie efficace pour la mesure de la vitesse et de l'évolution de la position d'un mobile : aéronef, missile, parachute, charge larguée ou tirée.

En 1967, 8 cinéthéodolites à poste fixe étaient installés à Brétigny, 3 à Istres, 9 à Cazaux. La portée de cet outil ne dépassait pas quelques kilomètres ce qui posait problème dans la mesure où le domaine de vol des aéronefs augmentait en altitude et en vitesse, et il avait fallu dès 1955 compléter le dispositif par un radar, dit « de poursuite », dont la portée atteignait quelques dizaines de km.

Après utilisation de matériels standards, on passa à des radars de trajectographie spécifiques de l'usage. En 1972 fut installée la station de trajectographie STRADA (Système de trajectographie d'approche) équipée de LIDAR (*Light Detection and Ranging*) qui imposait l'installation d'un réflecteur sur l'aéronef mais rendait de grands services.

Les enregistrements, au départ par caméras, furent vite remplacés par des HB. Le CEV tenta sans grande satisfaction l'utilisation de fizeaugraphes. En fin de période, on passa au système de trajectographie à base de laser.

Par ailleurs, l'utilisation de la télémessure nécessita des équipements de réception des informations venant des objets volants. Ces matériels furent installés au départ sur des plates-formes mobiles puis des plates-formes fixes furent construites pour disposer de cabines de réception d'une taille suffisante. On embarqua même des stations mobiles sur des avions : ce fut le cas du Nord 2501 de la mission AMOR et plus tard des DC7 AMOR.

A partir des années 70, la télémessure fut informatisée à Istres et à Cazaux. A Istres, le CEV disposait de trois stations, deux fixes et une mobile, sans compter celles des constructeurs. Les besoins croissants conduisirent à la centralisation du traitement informatique en temps réel, dans un poste de commandement de conduite d'essai. Lancé en 1972 sous le pilotage technique du CEV, le matériel Cigale fut mis en service à Istres en 1977.

Pour les essais de missiles, à Cazaux, des cinéthéodolites, radars et stations de télémesure étaient disséminés sur la côte des Landes.

Enfin, des systèmes de mesure des signatures radar des avions de combat furent installés à Brétigny.

Que ce soit pour des mesures en vol ou à partir du sol, l'exploitation des essais représentait une activité considérable pour le service « Méthodes... » compte tenu du nombre de points de mesure qui pouvaient se compter par milliers ou dizaines de milliers pour un essai ; on comprend que le service Méthodes se soit employé en permanence à automatiser le recueil et l'exploitation des points de dépouillement. Ainsi, tout au long de la période, le service lança ou contrôla le développement de moyens adaptés précisément aux missions du CEV et à l'environnement dans lequel il opérait, avec du matériel français ou francisé. Avec succès, apparemment, qu'il s'agisse de l'accomplissement technique, puisque les installations ne le cédaient en rien pour le modernisme à celles de nos alliés, ou du financement préalable, pas facile vu l'ampleur des moyens et la nécessité de saisir les opportunités offertes par le progrès technique pour procéder à une mise à jour permanente.

Le service « Méthodes... » resta centralisé, même après le départ de Brétigny de certains essais, ce qui permit d'assurer l'homogénéité des outils et la fertilisation croisée des expériences.

5.4 - Autres moyens techniques au sol (hors laboratoires spécialisés)

5.4.1 - Les bancs d'essai de systèmes et les bancs de stimulation

A la frontière des essais au sol et des essais en vol pour des programmes d'avions, ces bancs étaient destinés à mettre au point et valider les systèmes électroniques de bord (équipements et armements) en intégrant sur une maquette grandeur nature reproduisant les câblages de l'avion, les matériels réels en vue de vérifier et mettre au point, si nécessaire, leur compatibilité avant les vols. Ces dispositifs, construits et mis en œuvre sur le Mirage III puis le Mirage F1 furent ensuite perfectionnés sous le nom de « bancs de stimulation » (excitation) afin de simuler les évolutions au cours du vol des sorties des divers capteurs de l'avion. Cette simulation pouvait être rendue plus réaliste par transfert de séquences d'enregistrements réellement faits en vol au cours de phases de vol problématiques pour les équipements.

Des maquettes radioélectriques pour étudier le fonctionnement et les interactions éventuelles des différents aéronefs de l'avion étaient aussi construites et exploitées.

Tous ces matériels étaient conçus, construits et mis en œuvre par les constructeurs sous l'égide des services officiels, pour les avions destinés à l'Etat.

5.4.2 - Les moyens de la simulation pilotée

Il s'agissait d'analyser les relations homme-machine dans des installations simulant le vol piloté.

Les premiers matériels animés par un ordinateur analogique furent mis en place à Istres en 1966. En 1968, fut acquis un premier ordinateur numérique.

Les ordinateurs animaient des cabines figurant le cockpit équipé de l'avion simulé, qu'il s'agisse d'un avion existant ou en projet, ou à l'état de concept. Un

dispositif optique fournissait au pilote une représentation du monde extérieur (horizon, sol et cibles) et une imagerie radar. On pouvait donner aux cabines des mouvements plus ou moins complexes pour soumettre le pilote aux sensations du vol, de façon imparfaite bien sûr. Pour approcher la sensation d'accélération, le siège pouvait être muni de dispositifs spéciaux.

Un bâtiment spécialisé fut construit en 1979 ; son extension fut doublée en 1987. En 1989, la Section études et simulation disposait de 7 cabines, avions et hélicoptères.

5.4.3 - Moyens divers

Le CEV fut amené à s'équiper de divers dispositifs nécessaires pour des campagnes d'investigation au sol sur le comportement des aéronefs.

Pour les barrières d'arrêt, après une centaine d'essais sur piste existante avec pilotage humain, la base d'Istres construisit une installation complexe, dite SESLA, composée d'une petite piste de 1 000 m, de catapultes, de freins et de véhicules catapultables.

On construisit aussi un banc pour essais acoustiques sur le réacteur du Concorde.

5.5 - Le LAMAS

Les conditions de vol, notamment l'altitude et les accélérations, ne sont pas sans conséquences sur la physiologie des navigants.

Le LAMAS, Laboratoire de médecine aéronautique (puis aérospatiale⁶) fut créé et équipé pour permettre une expérimentation au sol des conditions susceptibles d'être rencontrées en vol, ou déjà rencontrées lors d'incident ou d'accident. Accessoirement, les moyens du LAMAS pouvaient être utilisés pour essayer dans certaines conditions de vol les équipements aéronautiques.

L'outil le plus connu était la centrifugeuse humaine, implantée à Brétigny, dont l'activité ne se limitait pas aux recherches médico-physiologiques (pour des accélérations de 1 à 15 g) mais visait aussi la validation d'équipements (1 à 50 g).

Une centrifugeuse plus moderne était en cours de réalisation à la fin du xx^e siècle (figure 3).

Un autre matériel important était le caisson d'altitude, permettant des recherches sur l'homme et des essais d'équipements dans des conditions extrêmes. Le domaine d'altitude était de 0 à 33 000 m. Le domaine de température était de -40° à +60°.

Plus tard, des matériels dédiés à la sélection des astronautes furent créés : la « selle de vélo » destinée à expérimenter le retour vers la pesanteur ; un fauteuil tournant avec mouvements latéraux ; un dispositif de dépressurisation de la partie basse du corps.

5.6 - Le LEA

Situé à Issy-les-Moulineaux, le LEA (Laboratoire des équipements aéronautiques) était au départ le laboratoire d'essais de la section équipements du STAé (Service technique aéronautique). Centre d'essai facilement accessible, il a servi aussi à la formation de nombreux jeunes ingénieurs et techniciens. Il a été transféré à Brétigny dans le cadre de la création de l'héliport en 1965. Puis, les moyens matériels et

⁶ Voir § 6.11.

personnels pour les essais d'inertie ont été transférés au LRBA⁷ (Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques) dans le cadre d'une concentration des activités de l'espèce dans ce centre. En 1978-79, le reste des activités du LEA a été transféré au CEAT⁸.

Le passage par Brétigny de cette activité ne s'imposait guère, la proximité des essais en vol n'étant pas nécessaire.

6 - LES ACTIVITES DU CEV

Si les missions principales du CEV ont été assez vite figées, la nature de l'activité a subi de profondes évolutions liées à celles de la technique, à l'effort continu de réduction des risques, à la concentration et à la maturation progressive de l'industrie, au facteur international et au développement, inférieur aux prévisions, de l'aviation légère.

Sur ce dernier point, on peut souligner que dans l'immédiat après-guerre, le CEV voyait arriver annuellement une trentaine de prototypes par an. Mais à la fin des années 50, des constructeurs patentés avaient disparu ou avaient été absorbés, et de moins en moins de réalisations d'amateurs étaient présentées. Le mythe de l'avion construit à domicile, voire conçu par un particulier, avait perdu sa crédibilité, notamment du fait de la réglementation. Mais surtout, l'aviation légère imaginée comme une activité de masse pour déplacement et loisirs, était devenue ce qu'elle est encore aujourd'hui : essentiellement un sport.

L'activité générale du CEV peut s'apprécier à travers sa flotte d'aéronefs, le nombre d'appareils passés entre ses mains après les essais « constructeurs » et les heures de vol effectuées.

La flotte a diminué de moitié au cours de la période 1960-1980, le nombre d'heures de vol a très sensiblement baissé pendant cette période, passant de 48 000 en 1962 à 30 000 en 1975. Le nombre de prototypes testés par le CEV a atteint des chiffres considérables dans les années de l'immédiat après-guerre, ce qui était révélateur du désir du pays de regagner rapidement le terrain perdu au point parfois de multiplier les programmes avortés, ainsi que de la confiance des constructeurs dans l'avenir de l'aéronautique, notamment dans l'aviation légère. Puis le nombre de premiers vols s'est mis à décroître de façon continue pour les gros avions, et plus encore pour les petits. Ces évolutions, pour des effectifs CEV variant très peu, traduisaient la complexité croissante des avions nouveaux en essai, nécessitant beaucoup plus de préparation et entraînant une exploitation des vols plus lourde, mais produisant aussi beaucoup plus d'informations par heure de vol.

En 1977, le nombre d'heures de vol s'élevait à 30 470 heures, dont 10 600 à Brétigny, 5 470 à Istres, 1 940 à Cazaux, 2 660 à Toulouse, 1 440 à Bordeaux, et 8 360 à Melun-Villaroche. Le chiffre élevé des heures à Melun montre l'importance de l'entraînement des Corps techniques, même s'il s'agit de vols d'avions légers, de coût non comparable à celui des avions en essai. Les chiffres de Toulouse et Bordeaux reflètent notamment l'activité de réception des avions de série. Par type d'activité on trouvait, au milieu des années 70, près de 40% des heures pour l'activité essais-études-expertise-réception, 7% pour l'EPNER, près de 34% pour l'entraînement des Corps techniques et 19% pour les transports et liaisons.

⁷ Voir chapitre 10.

⁸ Voir chapitre 2, § 3.4.

En 1976, l'activité, mesurée en termes financiers, se ventilait ainsi : 173 MF pour Brétigny, 89 MF pour Istres, 74 MF pour Cazaux, 7 MF pour Toulouse, 4 MF pour Bordeaux et 20 MF pour Melun et, par type d'activité : environ 66% pour essais-études-expertise-réception, 11% pour l'EPNER, 10% pour l'entraînement des Corps techniques, 12% pour liaisons-transport, et 2% pour l'école de Villebon. Une répartition par type de client donnait les proportions suivantes au début des années 80 : environ 92% pour la clientèle militaire et 8% pour la clientèle civile.

La maintenance de la flotte occupait dans la période considérée environ 600 personnes, soit près du quart de l'effectif total du CEV. L'activité importante et même vitale du Service des pistes nécessitait des connaissances techniques approfondies des appareils de nationalités variées qui servaient aux essais. Michel Quidet, qui s'identifia véritablement aux appareils britanniques dont il avait la responsabilité, en particulier aux Canberra, incarna, dans les années 1950 et 1960, la compétence et le dévouement des personnels du Service.

Les activités du CEV étaient multiples, comme ses missions explicites ou implicites. Outre l'expérimentation en vol de nouveaux aéronefs, il exécutait la réception en vol de matériels de série sortant de fabrication ou de réparation avant livraison aux utilisateurs, la formation et l'entraînement de diverses catégories de personnels navigants, ainsi que l'instruction en école de personnels ouvriers, la mise en œuvre d'aéronefs et la fourniture d'expérimentateurs pour des essais en vol de moteurs, d'équipements et d'armement, ainsi que pour des essais à vocation de recherche et pour l'exploitation de simulateurs de vol.

De 1967 à 1978, il assura le vol de moyens aériens de réception d'informations au bénéfice de la FNS.

Il intégrait un laboratoire de médecine aérospatiale et, pendant quelques années, un laboratoire d'essai au sol d'équipements. Il exerçait des responsabilités concernant la circulation aérienne et la sécurité des vols dans l'environnement de ses bases. Enfin il avait un rôle d'expert technique étatique en matière aérienne, au profit des administrations militaires et civiles.

Quelques unes de ces activités sont présentées ci-dessous.

L'activité de base était bien entendu constituée par les essais en vol. Le CEV perfectionna progressivement les procédures d'essai mises au point avant-guerre et visant à assurer la sécurité des essais et leur efficacité avec, par exemple, dès 1948, l'utilisation d'enregistrements en continu, et, dès 1950, l'examen de caractéristiques de stabilité longitudinale. Cela fut rendu possible par la mise au point, sous l'égide du Service des méthodes et essais, d'outils nouveaux de mesure, d'enregistrement et de transmission.

Mais on verra que l'implication du CEV dans ses activités d'essai allait bien au-delà de ce qu'impliquait sa mission. Le CEV ne se contentait pas d'être le bras volant des Services techniques. Il ne se contentait pas d'exécuter des vols selon un programme établi par d'autres pour tester des matériels définis par les constructeurs ou pour procéder à une recherche en vol. Il participait activement à la conception des programmes d'investigation et à la recherche des remèdes lorsque la nécessité s'en faisait sentir, suggérant souvent des solutions et des modifications. Afin de lui faire le plus possible jouer ce rôle de partenaire créatif, les services techniques l'associaient très en amont des essais aux réunions techniques de définition des matériels ou des recherches.

Dans la même volonté d'exploiter toutes les compétences possibles, la concertation entre les différents organismes, constructeurs, services techniques, CEV et, même, utilisateurs militaires, s'instaura dans une grande transparence. Un exemple mineur mais significatif est celui de la poignée de manche d'avion de combat, véritable instrument de musique, chargée d'un nombre toujours plus grand de boutons interrupteurs, molettes et basculeurs ; ceci nécessitait, avant la fabrication du prototype, des essais au sol sur maquettes successives, par plusieurs pilotes de toutes appartenances.

On verra enfin que la coopération internationale ne fut pas de tout repos même pour les programmes dits « en coopération ».

6.1 - Essais d'aéronefs nouveaux

Les essais visaient à apprécier le comportement en vol des aéronefs et à mesurer leurs performances. La concurrence étant imposée par le grand nombre de constructeurs, les essais en vol avaient un rôle déterminant sur les choix. Même s'ils n'étaient pas les premiers, les vols « CEV », à une époque où les comptes rendus des pilotes avaient une importance prépondérante, étaient nécessaires pour des raisons d'objectivité.

La période la plus prolifique fut la décennie d'après-guerre. Sans compter l'aviation légère, en 1948 une quinzaine de premiers vols étaient effectués. Une des années les plus mémorables fut l'année 1953. Cette année-là, le SO-9000 Trident effectuait son premier vol, de même que l'hélicoptère SO-1220 Djinn, le Morane-Saulnier 755 Fleuret et le SE-5000 Baroudeur. Tous ces appareils allaient passer par le CEV, comme les premiers avions à réaction français construits en série : Ouragan, Mystère II et IV, Vautour, ou comme le Breguet « Deux Ponts » ou le Nord 2501, etc. ; on ne peut tous les citer.

Au centre du dispositif, il y avait la section « Essais avions » avec l'ingénieur en chef Jacques Foch de 1946 à 1955. L'ingénieur navigant d'essais André Cavin y fut responsable de 11 programmes militaires et 2 programmes civils, de l'Ouragan au Concorde. Parmi les pilotes qui ont conduit les avions en essais, Michel Marias s'est particulièrement illustré au CEV après avoir eu, comme pilote de combat de 1940 à 1950, de brillants états de service et les plus prestigieuses décorations. Du Grognard au Mirage IVA, il a accumulé plus de 2 600 heures d'essais en maîtrisant les situations les plus critiques et presque tous les prototypes d'avions d'arme sont passés entre ses mains dans les années 1950 et 1960.

Les investigations portaient sur des projets des plus novateurs (ou des plus insolites, suivant le point de vue !), tel le Coléoptère, appareil à veine annulaire enveloppant l'arrière du fuselage et servant de conduit à l'entrée du réacteur. Les essais furent stoppés en 1959 après un grave accident.

La même année, le nombre de premiers vols était tombé à 10 (dont celui de l'Alouette III), et à 6 en 1960.

En 1958, la création d'une section d'essais autonome « Voilures tournantes » et la création d'une spécialité « Hélicoptères » à l'EPNER avaient pris acte du développement plus que prometteur de cette branche de l'aviation grâce à laquelle, dès 1953, le CEV avait participé à des missions de sauvetage.

Puis l'abandon de la politique dite « des prototypes », suivie depuis longtemps pour les avions, et le choix finalement, à la fin des années 50, du Mirage III décliné en plusieurs versions (intervention nucléaire tactique, combat, reconnaissance,

école) ont conduit à une forte limitation des investigations sur des formules révolutionnaires, si l'on excepte le décollage vertical puis, ultérieurement, la formule « canard ».

Conformément à un accord interministériel suivi d'une décision du ministère des Armées intervenue en 1969, les essais en vol des « prototypes militaires », initialement assurés à Brétigny, furent transférés à Istres pour soulager la circulation aérienne de la région parisienne et profiter des meilleures facilités qu'offraient le terrain et les pistes d'Istres. Les constructeurs suivirent le mouvement, de 1968 à 1970. En pratique cette mesure ne fut appliquée que pour les avions. Pour les hélicoptères, le transfert, envisagé dès 1970, ne fut réalisé qu'en 1986. Il permettait le rapprochement des activités du CEV de celles de l'Aérospatiale dans son usine de Marignane.

Les problèmes de sécurité étaient majeurs car les connaissances à acquérir étaient nombreuses.

Une des façons de limiter les risques consista à essayer d'éviter de faire les premiers vols d'un avion nouveau avec des moteurs nouveaux. En outre, une telle mesure résolvait en partie le partage de la responsabilité des performances entre avion et moteur, mais ce n'était pas toujours possible.

La coopération internationale en matière d'essais en vol militaires s'exerça avec les mêmes conflits de prééminence entre nations coopérantes que dans les autres domaines. Sur les trois hélicoptères franco-britanniques, Puma, Gazelle et Lynx, le leadership d'un pays sur l'autre, décidé selon les programmes, pouvait expliquer cette situation : chacun faisait ses essais.

Pour l'avion de transport C160 Transall, un détachement du centre d'essai en vol allemand de Manching avait été mis en place à Istres dès 1961 ; les équipes du CEV et de l'*Erprobungstelle* pour la RFA étaient intégrées, comme celles des constructeurs ; il y avait des équipages mixtes et un certain partage des responsabilités en fonction de la nature des vols, de la compétence particulière des équipages et de leur disponibilité. L'expérience plus grande des Français en matière d'aéronautique moderne en cette période de l'après-guerre (lancement du programme en 1958), les conduisait à revendiquer parfois un rôle plus important. Le côté allemand soutenait des solutions basées sur un mélange entre l'expérience allemande d'avant 1945 et les choix américains. Il en résultait des compromis pas toujours optimaux, mais les essais en vol eux-mêmes en pâtirent peu, sinon du fait des pertes de temps au niveau des responsables techniques.

Les différences linguistiques pouvaient cependant, au-delà de la gêne, avoir des conséquences sérieuses, l'usage de l'anglais ne représentant qu'un mauvais compromis en situation d'urgence en vol, dès lors qu'un vocabulaire très spécialisé était nécessaire et l'égalité parfaite pouvant conduire à l'inaction. C'est ainsi que le Transall prototype V2 se posa train rentré !

Pour la coopération sur les aéronefs civils, on se reportera au § 6.13.

6.2 - Les essais de moteurs et d'hélices en vol

La section « Moteurs » du CEV fut d'abord implantée à Brétigny puis déplacée à Istres vers 1960.

Les constructeurs avaient leur propre service d'essais en vol pour la mise au point des moteurs en cours de développement. Celui de la SNECMA (Société nationale d'études et de constructions de moteurs d'aviation) fut d'abord implanté à Melun Villaroche puis à Istres. Hispano-Suiza et Turbomeca passaient par la Compagnie générale de turbomachines créée en 1956, qui travailla à Istres puis Pau.

La section « Moteurs » mettait en œuvre des avions porteurs comme, dans les années 60-70, un Constellation pour les essais de fonctionnement ou de dégivrage de moteurs de faible puissance (Astazou, Larzac...) montés sur un bâti situé sur le toit de la carlingue.

Le CEV assumait les vols ou y participait.

De même que l'on voyait des avantages à pratiquer les essais « d'aéronefs » avec des moteurs connus, les essais en vol de moteurs étaient préférablement exécutés sur des porteurs éprouvés : dans les années 60, le TF306 de la SNECMA fut essayé sur un dérivé du Mirage III, le Mirage IIIT construit dans ce but. Le M53 et le CFM56/2 furent d'abord essayés sur Caravelle.

Un inverseur de poussée en vol fut essayé sur Vampire.

Mais les essais de statoréacteur, moteur qui offrait de grands espoirs pour atteindre des nombres de Mach très élevés, avaient débuté sur un avion *ad hoc*, œuvre du constructeur René Leduc. Le premier avion sortit d'usine en 1946. Ne pouvant décoller de façon autonome, il fut largué pour la première fois à partir d'un Languedoc en 1947. Les essais se poursuivirent sur les avions successifs de la même formule (figure 4) jusqu'en 1958, année où le programme fut arrêté alors qu'il n'y avait plus d'espoir d'améliorer suffisamment le rendement de combustion de la tuyère.

On peut s'étonner de la durée de l'expérimentation de ce type d'appareil. Jusqu'aux années 60, le dogme du « toujours plus vite, toujours plus haut » était respecté dans le milieu aéronautique. L'ambition était de parvenir à un chasseur volant à Mach 3. Le stato-réacteur semblait indispensable. Cette façon de voir subit un coup d'arrêt avec l'avènement de missiles air-air de plus en plus performants. Et c'est sur des missiles que le statoréacteur trouva son emploi, longtemps après les avions Leduc.

D'autres essais de moteurs avaient montré le manque de complexes des constructeurs français et l'audace des navigants dans les années d'après-guerre. Au début des années 50, la SNECMA s'était lancée dans les pulsoréacteurs, avec l'Escopette sur planeur ; les appréciations portées par le CEV sur l'expérimentation de ce type de moteur sur planeur conduisirent à ne pas donner de suite à la formule. On citera aussi l'ATAR volant, puis le Coléoptère mentionné plus haut. Par la suite, les essais moteurs se cantonnèrent principalement dans la validation des évolutions des moteurs à réaction ou des turbopropulseurs ainsi que dans les essais en vol du moteur-fusée du Mirage III.

Un banc d'essais au sol fut implanté à Istres. Conduit par le CEV, il visait à tester l'efficacité d'un silencieux éventuel pour le moteur de Concorde ; il servit ensuite pour des mesures de bruit sur CFM56.

Pour les hélices, l'accident du Laté 631, qui avait causé la perte de l'équipage en mars 1950, conduisit le CEV à se charger d'essais de vibrations d'hélices, notamment sur Languedoc et Armagnac, organisés par le service « Méthodes ».

6.3 - Les essais d'équipements et de systèmes

Une directive de la DTIA, élaborée par les sections équipements du STAé et du CEV, a défini en avril 1962 une procédure pour la mise au point des essais officiels des équipements et a prévu la mise à disposition des industriels équipementiers, par le CEV, d'avions et hélicoptères de servitude.

La part croissante prise par les équipements électroniques ou autres dans la réalisation des aéronefs, conduisit à réserver de plus en plus d'appareils dits « de servitude » aux essais en vol de ce type de matériels, afin d'accomplir la mise au point et la validation autant que possible avant le montage sur les prototypes d'aéronefs. Par exemple, la mise au point des seuls éléments « navigation » du système de « navigation-bombardement » du Mirage IVA nécessita l'utilisation d'un N2501, d'un Canberra, d'un Vautour et de l'exotique SO30 ATAR.

Tous les domaines étaient touchés : les instruments de planche de bord, les commandes de vol, le pilotage automatique, la navigation, l'observation, la génération électrique, la sécurité. D'abord analogique puis numérique, le calcul centralisé à bord des appareils prit une extension considérable, rendant majeur le problème des interconnexions électriques et électroniques.

La préparation par des essais au sol prit une ampleur croissante, au point que des bancs d'essai d'ensemble des équipements électroniques, reproduisant les alimentations électriques et les connections de l'aéronef futur, furent réalisés pour apprécier la compatibilité des matériels embarqués en les branchant simultanément sur le banc. On réalisa ainsi des « bancs d'essai de systèmes » et des « bancs de stimulation » (voir le § 5.4.1). Les essais en vol du Mirage IIIE et des avions de combat suivants furent ainsi grandement facilités. L'effort ultime de simulation fut accompli avec la mise en vol d'avions de servitude pour essai de systèmes ou sous-systèmes.

L'utilisation de ces moyens à partir du milieu des années 60 permit une économie substantielle de durée de mise au point (et/ou du nombre de prototypes d'aéronefs en essai), d'heures de vol et de coût. Cependant, pour leur mise en œuvre, il fallait disposer d'équipements (ou d'armements) prototypes supplémentaires réservés à cet emploi.

Les essais de radars dans leur fonction air-air figurèrent parmi les plus longs, mobilisant non seulement l'avion porteur mais des avions dits « plastrons » représentatifs de cibles éventuelles pour renvoyer les échos ou pour réagir en contre-mesure. Il en allait de même pour les autodirecteurs de missiles. Des chantiers de transformation très lourds étaient nécessaires pour adapter les avions de servitude à leur mission. Les essais du radar du Vautour ont débuté en 1954 sur avion Météor. Les Vautour ont par la suite été utilisés eux-mêmes comme avions de servitude pour les radars de pointe avant des avions de combat Mirage. Ils furent complétés ou remplacés par le Mystère 20 pour les versions et générations suivantes d'avions de combat. Les essais comparatifs sur avions de servitude des matériels de Thomson-CSF (Compagnie générale de télégraphie sans fil) et d'Electronique Marcel Dassault furent déterminants à la fin des années 80 pour le choix du futur radar de pointe avant du Rafale.

Par contre, il n'y eut pas d'essais sur avion de servitude pour les dispositifs intégrés à la cellule ou au moteur, tels que le train d'atterrissage des aéronefs, ou la boîte de transmission des hélicoptères vers le rotor, ou des moteurs vers les accessoires.

Dans le domaine de la sécurité, les essais présentaient des risques particuliers, qu'il s'agisse des parachutes, des sièges éjectables, des combinaisons de vol, de l'oxygène ou du conditionnement. Aussi bien le maximum possible de précautions étaient prises dans ce domaine. Au milieu des années soixante, un outil aussi trivial qu'un couteau « brise-verrière » visant à pallier le blocage de la verrière en cas de mauvais atterrissage suivi d'incendie, nécessita le concours de plusieurs pilotes et des heures de réunion.

Plus impressionnants furent les essais de siège éjectable (figures 5 et 6) qui, compte tenu de leur apport espéré sur le plan de la sécurité, ont été entrepris très tôt. La première éjection en vol en France, avec un siège britannique eut lieu en 1948, à 500 km/h. Le parachutiste d'essai, Robert Cartier, perdit connaissance transitoirement, eut des traumatismes divers, réussit à se dégager du siège avec son parachute personnel et... recommença 10 jours plus tard.

6.4 - Les essais d'armement

Ils ont concerné les armements classiques embarqués (canons, bombes, roquettes, etc.) puis aussi, à partir de l'indépendance de l'Algérie, les missiles tactiques tirés d'aéronefs dont les essais mobilisaient dans les années 80 la moitié du potentiel de la base.

Dans le domaine classique, le CEV effectuait les vols pour les essais des armes, les essais d'adaptation des munitions complètes, les essais de viseurs de tir et de viseurs de bombardement, et les essais de précision des aéronefs nouveaux. Le champ de tir, nommé CALAMAR, était situé le long de la piste d'envol et se prolongeait sur une partie de l'étang de Cazaux.

Pour les missiles (pris en charge par Cazaux en 1964), les essais en vol couvraient d'abord les éléments principaux : porteurs, autodirecteurs, radioaltimètres, fusées de proximité... Après l'intégration des éléments, avaient lieu les essais d'emport et de séparation du corps de missile sur aéronef de servitude, puis les « vols portés » nécessitant, outre l'aéronef porteur, un ou deux aéronefs pour les missiles air-air (un simulateur de cible et un illuminateur de cible). On procédait enfin aux essais de tir du missile complet, l'aéronef simulateur de cible étant remplacé par une véritable cible non pilotée.

Les essais sur aéronef opérationnel permettaient de valider l'ensemble du système en vérifiant l'adaptation du missile et la compatibilité des différents armements et équipements embarqués.

Les tirs air-mer et air-sol utilisaient le champ de tir en mer et les importants moyens de guidage et de restitution du proche Centre d'essais des Landes étaient mis à contribution. Des dispositifs appropriés étaient mis en œuvre pour les tirs air-mer et air-sol. La majorité des essais pouvait être effectuée sur avion de servitude : une douzaine sur la seule base de Cazaux au milieu des années 80.

Comme on le voit, les essais de missiles nécessitaient une organisation particulièrement complexe et des délais de mise au point importants. Pour optimiser

la circulation de l'information et l'utilisation des compétences et minimiser le nombre de vols, des équipes d'essai intégrées associant personnels techniques et navigants des constructeurs concernés et du CEV, voire des représentants des Armées, sont devenues les acteurs essentiels.

L'apport des personnels du CEV dépassa la simple mise en œuvre des essais : les suggestions techniques des officiers et ingénieurs de la section « Armements » et de son annexe à Cazaux eurent dans plusieurs cas une influence profonde sur la définition des matériels (conception initiale des lance-roquettes « nid d'abeille », mât pour roquettes réglables suivant les trois axes, conception d'un rail d'essais supersoniques, idée d'un axe vertical mobile pour régler les corps externes fuselés dans le lit du vent, etc.).

6.5 - Les activités d'études générales

De nombreuses investigations en vol dans un but de recherche non dédiée à un programme de matériel particulier étaient demandées au CEV.

L'objectif était d'approfondir les connaissances sur le comportement en vol des aéronefs (notamment du point de vue aérodynamique, mécanique du vol, vibrations), les relations pilote/machine (problèmes de stabilité, commandes de vol, nouveaux principes de pilotage), les conséquences sur l'environnement, notamment en termes de bruit.

Les essais pouvaient être réalisés :

- à l'occasion de vols d'essai pour un programme de matériel ou pour tout autre but ;
- lors de vols consacrés aux études générales sur des appareils non voués à ce type d'étude ;
- sur des appareils dédiés, pendant une longue période, aux études générales.

Dans le premier et le second cas, on peut situer les recherches des ingénieurs navigants d'essai Pierre Lecomte et Jean-Claude Wanner sur les relations homme/machine qui ont permis de faire de grands progrès dans le domaine de l'ergonomie des postes de pilotage.

Dans le second cas se situent, par exemple, les essais de voilure supercritique sur T33, les essais sur piste mouillée (figure 7) et les investigations concernant le bang sonique.

Les études sur le contact des pneus avec un sol mouillé débutèrent en 1955 avec un Mystère IV. Elles furent approfondies après l'atterrissage trop long d'une Caravelle. Les essais furent couronnés de succès dans la mesure où les résultats étaient reproductibles, permettant de procéder à des réglages des dispositifs antidérapants et mettant en évidence l'influence du centrage.

Les études sur le bang sonique, avec là encore l'ingénieur Jean-Claude Wanner, avaient pour objectif de valider les théories sur ce phénomène et, plus précisément, de préparer l'arrivée du transport supersonique. Les appareils utilisés furent les Mirage III et Mirage IV, tous deux capables de dépasser la vitesse du son en palier à basse altitude. Le programme d'essai qui prit le nom de Jéricho, commença au début des années 60 à Brétigny, se développa en 1966 et 1967 au-dessus de La Crau, près d'Istres, et se termina en 1994 dans les vallées des Alpes. Consacré au début à l'analyse des vols stabilisés en vitesse et direction, le programme s'étendit ensuite

aux vols en virage pour étudier le phénomène de focalisation. Là encore, les résultats firent sensiblement avancer la science.

Le troisième cas est illustré par le Mirage IIIB de série qui fut consacré pendant longtemps aux essais dits « de stabilité variable » et sur lequel étaient simulées en vol les caractéristiques d'un appareil théorique ou réel relevant de la mécanique du vol afin de préparer le pilotage d'avions en développement tels que le Concorde.

Par la suite, un Nord 262 fut affecté à l'expérimentation et à la démonstration du pilotage tête haute, avec présentation au pilote du vecteur vitesse, de l'énergie totale et de l'incidence, pour lui permettre d'assumer, sans dégradation des conditions de sécurité, une charge de travail croissante. Pour cette recherche, l'action du CEV fut particulièrement innovante sous la conduite de l'ingénieur de l'armement Gilbert Klopstein qui consacra de nombreuses années à promouvoir ces évolutions, et dont les travaux, parfois méconnus en France, ont eu un grand retentissement à l'étranger (démonstration aux USA en 1972, accueillie avec enthousiasme).

L'acquisition d'une Caravelle fut envisagée au milieu des années 70 pour servir de support à des essais de toutes sortes commandés par les services de la DGA et les organismes de recherche civile.

6.6 - La section « Etudes et simulation »

Après la mise en place des premiers moyens en 1966, l'activité de la section « Etudes et simulation » fut régulièrement croissante grâce à une politique continue d'investissements techniques de haut niveau.

A la fin des années 80, cette activité employait une cinquantaine de personnes spécialisées, outre les civils et militaires associés aux travaux et ceux affectés à la maintenance des installations. Ainsi, 13 400 heures d'essais étaient effectuées en 1987, dont 70% à finalité militaire, 20% à finalité civile et 10% à finalité commune. Pour l'année suivante la perspective était de 16 000 heures.

Au milieu des années 80, un conflit d'attribution éclata, à l'occasion du projet de construction à Istres d'une nouvelle cabine permettant de simuler des missions opérationnelles, avec le CELAr (Centre d'électronique de l'armement) qui, depuis plusieurs années, avait mis en place un simulateur de combat aérien⁹ très apprécié. Finalement, l'utilisation du simulateur du CELAr fut poursuivie, et le projet du CEV fut mené à bien.

6.7 - Les DC7 AMOR¹⁰ (Avions de mesure et d'observation au réceptacle)

De 1967 à 1978, le CEV fut chargé de la mise en œuvre de trois avions DC7 destinés à concourir à l'enregistrement des paramètres de la trajectoire de rentrée dans l'atmosphère des missiles d'expérimentation de la Force nationale stratégique tirés vers l'ouest à partir du Centre d'essais des Landes. Avant la création de ce centre, ils avaient été précédés par un Nord 2500 baptisé « Petit AMOR », notamment pour les essais de missiles à Hammaguir dans le Sahara.

Deux avions d'occasion furent achetés à la TAI (Transports aériens internationaux, un des ancêtres de l'UTA, Union des transports aériens) et un troisième à la compagnie scandinave SAS (*Scandinavian Airlines System*). Le travail de modification des avions pour l'installation des matériels nécessités par la mission

⁹ Voir chapitre 12, § 4.3.

¹⁰ Voir également chapitre 6 (SECT), § 2.2 et 2.3.

fut, sous la maîtrise d'ouvrage technique conjointe du CEV et du SECT (Service d'équipement des champs de tir)¹¹, confié à l'UTA qui avait eu l'expérience de l'exploitation de ce type d'avions. Ce travail ne se limita pas à l'implantation de nombreux équipements dans la soute mais influença l'aérodynamique des avions par l'installation de grands radômes et de postes d'observation optique, et nécessita l'installation de réservoirs de carburant supplémentaires dans le fuselage pour permettre des temps de vol de très longues durées. Les matériels ajoutés étant pour la plupart conçus et réalisés à cette seule fin, les DC7 AMOR furent considérés comme des prototypes avec les conséquences appropriées sur les rémunérations des équipages.

Avant les tirs, les avions étaient prépositionnés sur l'aéroport de l'île de Santa Maria, dans l'archipel des Açores, aménagé pour l'accueil des AMOR qui devaient, dès la mise en vol, être au plus près du parcours de rentrée prévu du missile.

Malgré cette mesure, les missions étaient longues, très longues. Une photo (figure 8) du livre *Le CEV à 50 ans* (1994) montre un équipage composé de deux pilotes, deux mécaniciens navigants, trois expérimentateurs et un ingénieur. Selon le témoignage d'un de ces expérimentateurs, le cliché a été pris à Brétigny le 12 février 1972 après un vol de 24 heures sans escale. Le but du vol était de prendre la mesure de la vigilance de l'équipage dans de telles circonstances. D'ailleurs deux des navigants ont les yeux fermés sur la photo !

Malgré les problèmes posés par la mise en place des avions en pays étranger et près d'une piste courte, l'organisation et l'installation des matériels d'enregistrement donnèrent satisfaction.

Ce fut la seconde participation importante du CEV à la FNS, la première étant bien sûr l'activité Mirage IV.

6.8 - Les essais de réception des avions de série

Avant livraison aux armées utilisatrices, les avions étaient « réceptionnés ».

La réception est en quelque sorte une déclaration de conformité dans la définition et dans le comportement aux clauses techniques annexées aux contrats passés entre la DTIA etc. et le constructeur ou le réparateur. Cette direction avait créé pour cela les Circonscriptions aéronautiques régionales (CAR) et cette formule a été reprise et généralisée par la DMA avec la création du Service industriel de l'armement (SIAR). Cet organisme, pour prononcer la réception, devait avoir obtenu l'aval du CEV. En amont, le constructeur avait procédé lui-même à une vérification en vol et, en aval, l'armée destinataire procédait à une prise en charge.

Il ne s'agissait pas d'opérations symboliques ni routinières. Dans les années 60, l'augmentation du nombre et de la complexité des équipements électroniques de bord avait eu comme conséquence un MTBF (*Mean Time Between Failures*, temps moyen entre pannes) de faible valeur en début de série, avant que des remèdes ne soient apportés.

Un exemple frappant fut, vers 1968, la sortie en série du patrouilleur maritime Br1150. Entre les vols constructeur, les vols du CEV et les vols de la Marine, le nombre d'heures de vol nécessaire pour l'évaluation de toutes les fonctions était supérieur au MTBF du système. Et la logique de livraison d'appareils en bon état de fonctionnement eut comme effet que chaque nouveau vol de vérification après

¹¹ Voir chapitre 6.

correction des pannes entraînait une probabilité non négligeable de nouvelle panne nécessitant à son tour un vol de vérification. Il en résulta un engorgement inacceptable des appareils en attente de fin de réception. La Marine tenant à disposer rapidement de ses avions, ne serait-ce que pour l'entraînement de ses équipages, un *modus vivendi* fut établi : elle accepta la livraison d'avions dont la correction des pannes du système opérationnel n'avait pas été vérifiée en vol ou dont les pannes dudit système étaient mineures. Avec le temps, le système fut rendu plus fiable et la situation rentra dans l'ordre.

Les premiers Transall de série connurent une mésaventure analogue mais pour d'autres causes : des modifications techniques étaient décidées avec un calendrier tel que les avions sortis d'usine, mais pas encore à jour de ces modifications, et donc non susceptibles d'être réceptionnés, s'empilèrent sur les tarmacs.

Vers le début des années 70, il est apparu que, grâce aux progrès de la communication entre sol et vol, le CEV pouvait se contenter de suivre du sol ou vérifier *a posteriori* les enseignements des vols du constructeur ou du réparateur. D'autre part, la maturité des industriels rendait moins impérative une répétition intégrale, par le CEV, de leurs propres essais.

Différentes formules furent adoptées : vols du CEV par sondage ou vols partagés, ou vols communs pour les appareils multiplaces.

Pour les avions sortant de réparation, les principes étaient les mêmes. Les Ateliers industriels de l'aéronautique (AIA) de l'Etat avaient un service de contrôle interne qui jouait le rôle du SIAR. Le personnel d'essai en vol de réception dépendait fonctionnellement du CEV et hiérarchiquement du directeur de l'établissement. Ces deux caractéristiques étaient de nature à engendrer des conflits, même si les intérêts financiers n'étaient pas en cause.

6.9 - Liaisons aériennes et transport de matériels

Les liaisons aériennes permettaient de palier la dispersion des bases d'essai et la multiplicité des détachements. En particulier elles permirent, à l'époque où l'on essayait les premiers missiles tactiques à Colomb-Béchar et Hammaguir, de transporter dans des délais extrêmement courts les bandes d'enregistrement en métropole.

Le CEV disposait à cette fin, en 1972, d'une flotte de 17 appareils avec lesquels il réalisa 6 000 heures de vol, ce qui représentait 2% des heures de vol totales du CEV et entraînait bien moins que 2% du coût.

70% des passagers transportés étaient des personnels de la DTIA, etc.

6.10 - Activités aéronautiques diverses

Les aptitudes et les compétences de ses personnels ainsi que l'existence d'une flotte d'appareils permettant de disposer à tout moment en fonction des priorités d'une grande variété d'aéronefs, ont conduit le CEV à exécuter des opérations à la marge de ses missions dans le domaine aéronautique. On en citera quelques unes :

- Barrières d'arrêt : de 1957 à 1966, le CEV a procédé, à Istres, à une centaine d'essais avec pilote à bord de l'avion. Les essais effectués sur des modèles américains et suédois ont fait apparaître des défauts qui ont conduit à définir un programme de barrière d'arrêt française pour le futur. Les risques de tels essais étaient non négligeables.

- Vols en apesanteur : ce type de vol, débuté en 1946 dans le cadre de recherche sur l'aérodynamique des aéronefs, reçut, en 1957, une nouvelle orientation visant à mieux connaître le comportement humain (figure 9). Ultérieurement, le CEV participa à l'entraînement de futurs astronautes.

- Présentations en vol en France (figures 10-13) ou à l'étranger : que ce soit à l'occasion de salons aéronautiques, dans un but d'autopromotion, ou pour favoriser la vente à l'étranger de matériels français, le CEV fut amené à présenter des appareils en vol.

- Encadrement de tentatives de records. Le CEV fut impliqué dans plusieurs tentatives de records du monde (figure 14).

Le CEV a contribué en particulier à la réalisation du record du monde de vitesse sur 1 000 km en circuit fermé, à plus de 1 800 km/h, par René Bigand, sur Mirage IV, en 1960.

La tentative la plus connue est celle faite en 1963, sur un Mirage IIIR de série par Jacqueline Auriol, qui avait auparavant battu à plusieurs reprises le record du monde de vitesse féminin. Il s'agissait de battre le record du monde de vitesse sur 100 km en circuit fermé. La tentative fut couronnée de succès à plus de 2 000 km/h. Le CEV ne se contenta pas d'apporter les preuves matérielles et les témoignages permettant de faire homologuer le record. Etant donné la personnalité du pilote, belle-fille du président de la République, et au demeurant personnage attachant et très simple, le CEV fut conduit à mettre en place un véritable dispositif d'entraînement et de soutien moral pendant la période de préparation.

Plus significatif, le nombre considérable de records sur hélicoptères (altitude, vitesse, distance) établis par Jean Boulet, sous le contrôle du CEV, témoigna, non seulement des qualités du pilote, mais de la spectaculaire percée de la France dans ce secteur.

6.11 - Activité du LAMAS

Le LAMAS (Laboratoire de médecine aérospatiale), conçu au départ pour une utilisation aéronautique (voir le § 5.5), fut aussi utilisé dès le développement de l'activité spatiale en France. A ce titre, le LAMAS fut associé aux essais de microgravité sur avion, notamment sur Caravelle puis Airbus. La rentabilité des essais sur Caravelle, mis en œuvre par le CEV et mobilisant 16 personnes à chaque campagne, a été contestée.

Le LAMAS a assuré la sélection et l'entraînement au sol des premiers astronautes français.

Il concentrait ses relations internationales sur les USA et l'URSS et n'avait pratiquement pas de connexions avec l'Allemagne.

6.12 - Les activités du LEA

Les activités du LEA (Laboratoire d'essai d'équipements), héritées en 1965 du STAé comme il a été dit plus haut (voir § 5.6), ne relevaient pas des essais en vol. Elles furent dirigées vers d'autres organismes plus appropriés au bout de quelques années (vers le LRBA¹², en 1970, pour la partie inertie, et vers le CEAT¹³, en 1979, pour le reste).

¹² Voir le chapitre 10.

¹³ Voir le chapitre 2, § 3.4.

6.13 - Le soutien à l'Aviation civile

L'outil exceptionnel que constituait le CEV, du fait de la compétence de ses personnels et de la modernité de ses moyens matériels, bénéficiait du financement de ses activités militaires ; il constitua un solide socle technique sur lequel purent s'appuyer les services de l'Aviation civile.

Le travail de base du CEV pour l'Aviation civile était de vérifier la conformité à la réglementation des performances et du comportement en vol de l'aéronef dans la perspective de la délivrance de la certification « de type » par la Direction générale de l'aviation civile (DGAC).

Lorsque le programme franco-britannique Concorde fut lancé, il fallut adapter la réglementation existante en raison de l'extension considérable du domaine de vol (vitesse, altitude, température). Cette nouvelle réglementation devait être élaborée dans un cadre international. Le CEV se prépara à participer à cette entreprise dès 1965 et à intervenir, conformément à sa mission, en devenant membre des instances binationales créées à cet effet. Il autorisa le premier vol du premier prototype en 1969 et suivit pendant 6 ans le processus de certification.

Parmi les multiples interventions du CEV dans le développement des aéronefs civils français, on peut citer :

- la participation aux visites de sécurité avant premier vol et, parfois, l'accompagnement en vol lors des premiers vols ;
- la mise à disposition d'avions de la flotte de servitude du CEV pour l'entraînement aux vols supersoniques des pilotes des constructeurs ;
- la participation aux vols de certification, par réalisation de « tranches de vols CEV » puis ultérieurement, de vols mixtes « CEV-constructeur » dans un souci d'économie ;
- le rôle d'expert, aussi bien pour permettre au STAé de se prononcer sur les conclusions des vols de certification que pour aider à l'évolution de la réglementation de certification en France, puis lors de l'élaboration des « standards européens » ;
- en amont du développement des programmes, les vols effectués, sur commande du STAé afin de faire progresser les connaissances techniques de base spécifiquement nécessaires pour l'utilisation civile : études sur le bang sonique, sur les collimateurs d'approche, sur les figurations « tête haute » ;
- l'utilisation des moyens matériels du CEV (bancs au sol, avions de servitude) pour la mise au point d'équipements civils ;
- le rôle majeur joué par les personnels antérieurement formés au CEV, dans les équipes navigantes ou techniques des constructeurs.

Contrairement à l'organisation mise en place pour le Transall, la coopération franco-britannique sur les essais en vol de Concorde relevait plus du partage des tâches chacun chez soi que du travail en commun, à l'exclusion de rares campagnes d'essai avec équipage mixte, et de non moins rares incursions du chef-pilote constructeur d'un pays dans le dispositif de l'autre. Mais les résultats obtenus étaient échangés et analysés en commun en cas de difficulté.

Pour les réunions sur la navigabilité, il y avait en principe concertation préalable entre les services représentés des deux pays.

Pour l'Airbus A300, le CEV fut impliqué dans la définition des règlements de navigabilité applicables, établis sur la base de la FAR 25 américaine, mais avec des évolutions résultant de l'expérience Concorde.

Le GIE Airbus Industrie avait la propriété des avions de développement et la maîtrise des essais en vol en raison du dispositif d'avances remboursables des Etats adopté pour le financement. Néanmoins le CEV a disposé d'un bureau dans les locaux du constructeur dès le début des essais en vol, a participé à de nombreux essais de développement et a approuvé les programmes d'essais de certification. Les pilotes officiels allemands étaient en contact avec ceux du CEV, mais sans vols en commun.

Plus tard, en vue de l'A320, le CEV participa à l'élaboration du règlement européen « JAR 25 » en liaison avec les services officiels des pays impliqués (F,RFA,UK,NL).

On ajoutera que le CEV a été normalement impliqué dans les autorisations de premier vol et la réception des deux Superguppy dérivés, comme leurs prédécesseurs américains, du Boeing 377 Stratocruiser, et construits en France au début des années 80 pour transporter les tronçons d'Airbus.

6.14 - Formation et entraînement

On ne mentionne ci-dessous que quelques traits essentiels. On trouvera plus de détails dans le fascicule *Formation* en cours d'élaboration par le COMAERO.

6.14.1 - L'EPNER

L'Ecole du personnel navigant d'essais et de réception (EPNER) fut créée à Brétigny en 1946 (sortie de la première promotion en 1947). Le passage par cette formation devint obligatoire. L'Ecole, dont le prestige dépassa nos frontières, accueillit de nombreux étrangers. Elle fut transférée à Istres en 1962.

6.14.2 - La formation aérienne des « Corps techniques »

Les personnels d'encadrement technique de l'aéronautique - ingénieurs militaires et certains agents techniques fonctionnaires - pouvaient bénéficier d'une formation pour obtenir la qualification de pilote qui ouvrait droit à un brevet, à des possibilités d'entraînement ultérieur au cours de leur carrière au service de l'Etat et à une prime de vol. La grande majorité des ayants droit saisissaient cette opportunité.

La formation fut assurée par le CEV à Villacoublay, en héritage du CATRE, à partir de 1948. Elle fut confiée au Service de la formation aéronautique des corps techniques (SFACT) du ministère des Transports en 1964. Le CEV garda la responsabilité de l'entraînement : à Villacoublay, puis aux Mureaux, puis à Melun à partir de 1972.

En 1976, 52 appareils étaient dévolus à cette activité, effectuant plus d'une dizaine de milliers d'heures de vol. Le nombre de personnels des corps techniques navigants était de 847.

Pour quelques ingénieurs, à partir des années 1950, la formation fut prolongée jusqu'au brevet de pilote de chasse ou de pilote de transport délivré par l'armée de l'Air.

6.14.3 - L'EFTN de Villebon

Rattachée au CEV jusqu'en 1979, l'Ecole de formation technique normale de Villebon forma des ouvriers qualifiés spécialisés en aéronautique (mais pas

particulièrement en « essais en vol ») et destinés à servir dans les différents établissements de la DTIA etc. Les meilleurs devenaient techniciens. Certains accédèrent ultérieurement au titre d'ingénieur.

7 - GESTION DU CEV

7.1 - La maîtrise des moyens

La gestion du CEV a été rendue difficile dès 1945 en raison des conditions de la remise en route, qu'il s'agisse de la redistribution nécessaire des bases, de la reconstitution des compétences ou de celle de la flotte d'aéronefs du Centre. Ce dernier point a fait très tôt l'objet d'examens critiques internes car le nombre et la variété des aéronefs était considérable et grande était la tentation de conserver des appareils militaires étrangers ou des prototypes désaffectés obtenus sans bourse délier. Mais ce n'est qu'à partir de 1960 que l'on vit diminuer sensiblement le nombre d'appareils qui passa en 15 ans d'environ 300 à 150.

Pour ce qui concerne les implantations, après la reconstitution en urgence des bases, une première phase d'optimisation consista à opérer des transferts d'activité (essais avions et moteurs) pour utiliser au mieux les opportunités climatiques de la base d'Istres.

Pour les personnels navigants, la création de l'EPNER permit de disposer d'une filière régulière de recrutement de personnels de compétence homogène, ce qui améliorait la qualité et réglait les problèmes posés par l'érosion naturelle et par les départs chez les constructeurs.

En outre, un accord intervint entre la direction du CEV et l'EMAA (Etat-major de l'armée de l'Air) pour que les meilleurs éléments de l'armée de l'Air puissent être affectés temporairement au CEV sans préjudice pour la suite de leur carrière.

7.2 - La variété des missions

Outre les problèmes liés à la remise en route, le CEV eut à faire face à la multiplicité des missions. Conçu avant guerre pour essayer les avions nouveaux, le CEV s'est vu chargé, dès les premières années, de missions complémentaires importantes telles que le contrôle de réception des avions de série (en héritage du CATRE), la participation au contrôle de la circulation aérienne, la formation des personnels navigants d'essais ou la création du LAMAS.

La mission de base elle-même s'est progressivement alourdie du fait de l'évolution technique avec, en particulier, la multiplication des équipements électroniques et l'apparition des missiles.

Enfin, plusieurs missions marginales ou même complètement étrangères à sa vocation ont été données au Centre au fil des ans : la formation (heureusement externalisée en 1964) et l'entraînement des Corps techniques, et l'encadrement du LEA et de l'EFTN.

7.3 - La suffisance des moyens humains et financiers

La direction du CEV, dont la gestion ne pouvait qu'être perturbée par la multiplicité et la variété des tâches à accomplir, ne semble pas s'en être beaucoup plainte : tout au plus, selon la démarche classique, exposait-elle dans ses comptes rendus

annuels d'activité, qu'elle avait réussi jusque-là à faire face, mais que ce ne serait plus possible à l'avenir si ses moyens n'étaient pas renforcés.

Les dépenses courantes ont évolué grosso modo comme les effectifs qui, eux-mêmes, évoluaient sans brutalité, notamment en raison des statuts des personnels. La DTIA et ses avatars successifs ont pu peser sensiblement sur les investissements, par exemple en étalant fortement le plan 1975-1980.

7.4 - Les interventions de l'extérieur

Entre temps, les comptables prirent un certain ascendant sur les visionnaires. On commença à l'extérieur du Centre à parler coûts et rationalisation de façon plus offensive. Quelques interventions (parmi d'autres) peuvent être signalées :

- en 1971, le délégué ministériel pour l'armement demanda au directeur technique des Constructions aéronautiques de créer un groupe de travail chargé d'analyser l'activité du CEV, jugé « onéreux ». En commentaire à la réponse de la DTCA, le conseiller Air du DMA écrivit : « éviter le perfectionnisme des essais en vol et favoriser les essais au sol moins onéreux ».

- en 1972, une note de l'ingénieur général Nardin, chargé de mission auprès du DMA, traitait du coût des essais de matériels d'armement. Il y était écrit : « Les frais d'essais de matériels d'armement tiennent souvent une place importante. Il est souhaitable de les réduire » !

- la même année, le bureau « Etudes économiques » de la Direction des programmes et affaires industrielles (DPAI) de la DMA tenta de lancer une étude ayant pour objectif d'orienter la comptabilité du CEV vers une certaine forme de rationalité économique. Ce bureau s'appuya sur le CASE (Centre d'analyse socio-économique), comme il le faisait pour d'autres études de la DMA concernant des situations économiques où les comportements de groupe freinaient les évolutions. Le directeur du CEV mit de telles conditions à la poursuite de l'étude qu'elle avorta.

- en 1973 eut lieu un débat épistolaire entre la DPAI et la DTCA sur le problème de la facturation au coût complet ou au coût marginal des prestations faites pour des clients extérieurs au Ministère. A cette occasion, le directeur de la DTCA, manifestement irrité par les sous-entendus critiques à l'égard des dépenses du CEV, émettait cette remarque parfaitement justifiée mais dénuée de portée pratique : « Le véritable prix des essais n'est pas le prix de revient comptable mais le coût des conséquences entraînées par ceux que l'on aurait renoncé à effectuer. »

Une forme de sommet dans le contrôle des dépenses fut atteint à l'occasion de la commande de six avions légers Robin pour les Corps techniques. Cette affaire, d'un coût somme toute modeste, donna lieu à une étonnante débauche d'énergie administrative : courriers en tous sens, nombreux aller et retour de fiches de lancement, investigation du Contrôle général des Armées à laquelle, de façon orale et éphémère, fut soumis l'auteur de ces lignes.

Plus sérieusement, le projet d'un avion de mesures polyvalent Caravelle fut entouré de très sages précautions techniques impliquant plusieurs instances au sein de la DGA et à l'extérieur.

On peut comprendre cet intérêt porté par le « siège » de la DMA aux dépenses du CEV dont l'activité a représenté environ 60% des dépenses de l'ensemble des centres d'essai de la DTCA.

En 1976, une note du contrôleur des Armées Philippe-Alban d'Hauthuille (déjà citée au § 5.2) traita des économies possibles au CEV. Cette note, manifestement bien intentionnée, limitait ses remarques et propositions aux domaines comptable et d'organisation sans s'aventurer dans les processus d'essais. Elle qualifiait les coûts du CEV de « connus et contrôlés ». Elle prenait acte de la baisse de l'effectif de la flotte d'aéronefs de 1962 à 1975 et d'une baisse d'effectifs de 156 personnes de 1970 à 1976. Elle jugeait néanmoins le total de la flotte encore excessif et rendait sa diversité en partie responsable du nombre élevé de personnes (600) affectées à la maintenance. Elle recommandait un meilleur taux de remboursement des prestations au profit de tiers (constructeurs, aviation civile, etc.), l'étude d'un regroupement des implantations pour limiter le besoin en liaisons aériennes, ainsi que l'examen des dépenses d'entraînement des personnels des Corps techniques et exprimait la crainte théorique de duplications de moyens ou d'activité. La réduction du nombre de bases avait déjà fait l'objet de mesures mineures ; les réflexions se concentrèrent sur l'éventualité de la fermeture de Brétigny, avec transfert vers Istres.

7.5 - L'activité du CEV au profit de tiers et la comptabilité

En 1972, une note du ministre de la Défense demanda la mise en place d'une comptabilité générale et d'une comptabilité analytique ainsi que l'instauration d'un compte de commerce dans les centres d'essais de la DMA « afin qu'ils puissent facturer les services qu'ils rendent ». Les bénéficiaires desdits services étaient principalement les constructeurs, l'aviation civile et l'étranger.

En 1970, les « facturations pour services rendus » se montaient à 7 MF pour un coût estimé à 50 ou 60 MF. Les dépenses totales du CEV, investissements compris, s'élevaient à 242 MF.

Pour les constructeurs, il s'agissait des vols à leur profit sur avions de servitude, ou des formations de personnels navigants à l'EPNER. Il pouvait s'agir aussi de participation du CEV à des présentations à caractère commercial (ce qui fut le cas jusqu'en Australie) ou de la formation de clients étrangers à l'EPNER. Les stagiaires payants de l'EPNER remboursaient entre le quart et le tiers du coût des prestations du CEV.

Pour l'Aviation civile, il s'agissait des services rendus dans le cadre de la participation du CEV à la certification « de type » des avions ou de l'assistance que celui-ci donnait en tant qu'expert, notamment pour les enquêtes menées lors d'accidents aériens. Il pouvait s'agir aussi, épisodiquement, du remplacement de contrôleurs de la circulation aérienne en grève.

Une fois les problèmes comptables résolus, restait la question de principe : faut-il ou non facturer ? et à quel niveau ?

Avec les constructeurs, la DTIA, puis la DGA hésitaient à le faire au nom de la « tutelle » exercée depuis 1945. Le souci d'aider cette industrie à se développer et en particulier à exporter se manifestait d'ailleurs à une échelle nettement plus grande dans la fixation du prix des aéronefs achetés pour nos forces armées.

Avec l'étranger, directement, des soucis du même ordre intervenaient.

Avec l'Aviation civile, le débat entre les administrations était accusé par le fait que le CEV et, plus généralement, les Armées bénéficiaient gratuitement de services divers de la part de l'interlocuteur civil, notamment des informations météorologiques et de l'accès gratuit aux aérodromes civils. Le *modus vivendi* consistait à régler au cas par cas certains problèmes mineurs en considérant les coûts marginaux plutôt

que les coûts complets, mais les grands échanges de services étaient tacitement mis de côté.

Ainsi, le problème de la sous-facturation des prestations au profit de tiers dépassait largement la simple approche comptable et la responsabilité du CEV qui dut se contenter de prendre des mesures pratiques parfaitement connues dans leur esprit sinon dans les détails, par la DTIA ou la DGA.

7.6 - Les regroupements d'implantations

Après les premières années, des regroupements de portée mineure ont été opérés, notamment liés à la formation des Corps techniques. La principale opération qui fut envisagée à plusieurs reprises, mais non réalisée sur la période considérée, fut le départ de Brétigny. Au milieu des années 70, le coût d'un transfert à Istres était estimé entre 250 et 300 MF, auxquels s'ajoutaient de 50 à 60 MF pour les mesures relatives aux personnels, les effectifs civils étant de l'ordre du millier de personnes. Une seule mission serait mise en cause par le déplacement : le rôle de secours, en cas de nouvelle crise de la navigation aérienne, ne pourrait plus être assuré par le CEV lui-même.

8 - CONCLUSION

8.1 - La dimension mythique du Centre d'essais en vol

Créé peu après le début de l'aviation, le CEV bénéficia très vite du prestige accordé à l'aviation. Après la seconde guerre mondiale, ce prestige s'accrut en raison de la place majeure prise par l'aviation pendant le conflit, de la « Bataille d'Angleterre » au lancement de la bombe de Hiroshima, et aussi de l'aventure qu'a constitué le franchissement du mur du son accompagné par le sacrifice de nombreux pilotes. En outre, la multiplication en France des investigations sur des formules aérodynamiques révolutionnaires, accroissait l'intérêt du public.

Le dynamisme des premiers directeurs et la compréhension des administrations centrales permirent alors une expansion remarquable du CEV qui contribua pleinement au rétablissement de la place de la France parmi les plus grands pays du monde aéronautique militaire, puis civil.

Les installations du CEV, le courage de ses personnels navigants et la compétence de ses ingénieurs et techniciens ont permis ce que l'on peut considérer avec le recul comme de véritables exploits.

Les choses évoluèrent à partir des années 60. La sécurité des vols s'accrut très sensiblement. Les progrès faits dans les calculs et les essais au sol permirent de faire de meilleures optimisations et de régler de nombreux problèmes avant vol et, par là même, rendirent moins aléatoires les vols, même si le risque était toujours là. Les prototypes se cantonnèrent dans des formules classiques. Le vol supersonique militaire se banalisa ainsi que le transport aérien civil.

En même temps que les efforts et prises de risques des années d'après-guerre portaient leurs fruits, l'attention du public commença à se déplacer vers la conquête de l'espace et le rêve fut nourri par les astronautes même si, périodiquement, les Salons de l'Aéronautique ramenaient avec un succès persistant le regard sur notre aviation. De toutes façons, le passage par la formation ou l'activité de navigant

d'essais en vol a été dès le début une étape convenue de la formation des astronautes. Mais l'engouement pour l'homme dans l'espace connaît aujourd'hui un fort ralentissement alors que les programmes de véhicules spatiaux inhabités continuent de plus belle.

Le CEV tendit à se focaliser progressivement sur ses responsabilités régaliennes, sur les tâches de contrôle, d'expertise et de recherche en vol, qui devaient impérativement rester de la responsabilité de l'Etat. Et il demeura, comme les autres centres d'essais, un lieu privilégié de formation technique pour les ingénieurs de l'aéronautique.

Le lecteur aura noté que les grandes figures citées dans ce chapitre ont acquis leur célébrité dans le milieu aéronautique avant 1975. L'explication de ce surprenant constat, qui n'a rien à voir avec une quelconque baisse de niveau, est multiple : nécessité d'équipes intégrées et donc moins personnalisées, emphase sur la direction de programme, autonomie accrue des constructeurs, évolutions techniques plus progressives, absence de records, etc.. Alors que la presse se focalisait de plus en plus sur les individus, cette évolution fut peut-être un frein au rayonnement du CEV.

8.2 - Le bilan pratique du Centre d'essais en vol

On ne peut en quelques lignes donner un recensement exhaustif des réalisations du CEV sur un demi-siècle. C'est par centaines que l'on compte les prototypes passés entre ses mains, par centaines de milliers les heures de vol d'essai. Ce que l'on constate, c'est que le CEV a pu relever tous les défis lancés par les progrès techniques gigantesques accomplis en aéronautique, progrès qu'il a su valider en vol. Il a largement contribué au développement de nos forces et de notre industrie comme à la réputation internationale des services officiels français, civils et militaires.

SOURCES

1 - Livres

Ouvrage collectif, *L'industrie aéronautique et spatiale française (1907-1982)*, tome 2, GIFAS, 1984.

Pierre Melmer, *Souvenirs marignolais (1942-1953)*, AAEV, CEDOCAR, 1987.

Ouvrage collectif, *Le Centre d'essais en vol a 50 ans (1944-1994)*, AAEV et UPE, 1994, ISBN : 2-907701-91-6.

Jean-Claude Fayer, *Vols d'essais. - Le Centre d'essais en vol de 1945 à 1960*, éditions ETAI, 2001.

COMAERO, collection, *Un demi-siècle d'aéronautique en France, 1945-1995*, Les Cahiers du CHEAr, 2003 et années suivantes.

2 - Articles

Capitaine André Turcat, « Les essais en vol », revue *Avenir*, n°57.

ICA François Gonin, « Rôle des techniques de simulation dans les essais en vol », *Bulletin de l'AAEV*, n°45, 1978.

Jean-Claude Fayer, « Historique sommaire de l'aérodrome de Brétigny », *Bulletin de l'AAEV*, 2008.

IGA Louis Bonte, « Historique du Centre d'essais en vol », numéro spécial du *Bulletin de l'AAEV*, CEDOCAR, avec l'autorisation de la *Revue historique de l'Armée*.

ICA Jean-Marie Six, « Les essais d'armement à Cazaux », *Bulletin de l'AAEV*, n°51, 1984.

IPA Jean-Marie Malterre, « La simulation au Centre d'essais en vol », *Bulletin de l'AAEV*, n°56, 1989.

« Il y a 40 ans : une année mémorable », *Revue aérospatiale*, n°100, 1993.

IGA Pierre-André Roth, « La place du CEV au sein de l'aéronautique nationale et européenne », *Magazine des ingénieurs de l'armement*, CAIA, 2009.

Jean-Claude Fayer, « Le CEV de 1910 à 2010 », *Bulletin de l'AAEV*, 2010.

3 - Plaquettes d'information

Le Centre d'essais en vol, document DTCA, 1972.

Centre d'essais en vol, document CEV, 1973.

Le Centre d'essais en vol d'Istres, document CEV, 1973.

Le Centre d'essais en vol, document bilingue DMA, 1973.

4 - Notes et rapports officiels

Sélection opérée par l'IGA Jean-Luc Monlibert, comprenant environ 800 pages de texte.

5 - Documents divers

« Les débuts des essais et des mesures en vol », texte fourni par l'IGA Jean Carpentier.

Plan de la conférence sur le CEV faite par l'IGA Jean Monfort à l'UTL d'Evry en 2010.

6 - Témoignages d'anciens ayant travaillé au CEV ou avec le CEV

REMERCIEMENTS

Pour leurs contributions à l'établissement du chapitre « CEV », l'auteur exprime ses vifs remerciements à :

- Jean-Luc Monlibert, qui avait procédé à une large sélection de plusieurs centaines de pièces officielles, permettant d'avoir des renseignements de première main ;

- COMAERO, dont les membres ont apporté des données précieuses basées sur leur expérience personnelle, en particulier : Jacques Bonnet, Georges Bousquet, Jean Carpentier, Michel Hucher, Bernard Latreille, Jean-Pierre Marec (guide amical pour la mise en forme du texte), qui ont fourni les livres, articles, plaquettes de notoriété, extraits de publications, et photographies où l'auteur a puisé une grande partie des informations ;

- l'Association amicale des essais en vol (AAEV), dont les membres ont fait un irremplaçable travail de mémoire en produisant une grande partie des livres et articles précités, et en particulier Jean-Claude Fayer ;

- Yves Legall, Pierre Quillard, Maximin Lisbonis, pour leurs témoignages.



Fig. 1
Inauguration de la piste de Brétigny en 1953
(au premier plan, de g. à d., le ministre René Pléven, l'ingénieur général
Louis Bonte, directeur du CEV, et le président de la République Vincent Auriol)



Fig. 2
Enregistreurs d'accidents



Fig. 3
La nouvelle centrifugeuse du CEV



Fig. 4
Avion Leduc 010 sur son avion porteur Languedoc



Fig. 5
Préparation à un essai de siège éjectable sur avion Météor
par le parachutiste d'essais Robert Cartier



Fig. 6
Ejection zéro-zéro



Fig. 7
Essai sur piste inondée



Fig. 8
Equipe du DC7 AMOR



Fig. 9
Expérience d'apesanteur



Fig. 10
Visite de Michel Debré, ministre de la Défense, à Istres en 1972
(De g. à d. : IGA Jean Soissons (DTCA), Jean Blancard (DMA), IPA Claude Terrazzoni, le ministre, Darmon, IGA Robert Munnich, directeur du CEV)



Fig. 11

Visite du général Curtis E. Le May, chef d'état-major de l'US Air-Force, à Brétigny en 1963



Fig. 12

Présentation du cockpit du Mirage IV A03 par l'IPA Bernard Latreille au général Curtis E. Le May



Fig. 13

Visite du maréchal Andreï Gretchko, ministre de la Défense de l'URSS, à Istres en 1972
(A droite, l'IGA Robert Munnich, directeur du CEV. A sa droite, le maréchal Gretchko)



Fig. 14

Au Bourget en 1961. Après le record de vitesse d'un B58 sur la traversée de l'Atlantique, officialisé par le CEV, rencontre avec des représentants américains
(Du 3^e au 7^e à partir de la gauche : Francis Plessier, Jacques Foch, Edmond Villetorte, André Cavin, Jean Forestier ; à l'extrême droite, le 14^e, Michel Marias)

CHAPITRE 2

Le CEAT (Centre d'essais aéronautique de Toulouse)¹

1 - HISTORIQUE

1.1 - Les origines

En 1940, l'avancée rapide des troupes allemandes en direction de Paris, puis l'armistice signé le 22 juin conduisent la Direction des constructions aériennes à transférer vers Toulouse l'Etablissement de recherche aéronautique de la région parisienne (ERARP), organisme récemment constitué à partir de l'Etablissement d'expériences techniques d'Issy-les-Moulineaux (EETIM) et du Centre d'essais des moteurs et des hélices (CEMH) de Chalais-Meudon.

Les personnels déplacés (environ 300 personnes) s'installent dans les bâtiments neufs, inoccupés, de ce qui devait être la nouvelle Ecole vétérinaire de Toulouse. Ils réaménagent l'ensemble des locaux en laboratoires et locaux techniques ; sont ainsi créés plusieurs laboratoires : matières premières, optique, physique, chimie, TSF. Des éléments récupérés de l'EETIM permettent la création de la soufflerie S4. L'établissement est d'abord dénommé ERART (Etablissement de recherche aéronautique de la région de Toulouse) puis ERA (Etablissement de recherche aéronautique), avant d'être rebaptisé en 1941 ERAé (toujours : Etablissement de recherche aéronautique).

En 1942, malgré l'invasion de la zone sud, la vie de l'établissement continue ; plusieurs projets importants sont mis à l'étude : souffleries, machines d'essais de trains d'atterrissage, tunnel d'essais hydrodynamiques...

En 1943, l'établissement change plusieurs fois de rattachement. Il est successivement dénommé EET, puis EERT (Etablissement d'études et de recherches de Toulouse). Malgré les difficultés du moment une première machine d'essais de train d'atterrissage est mise en service : le « toboggan » (figure 1).

En 1945, avec la Libération, une partie des personnels regagne la région parisienne et l'EETIM. En septembre 1946, l'établissement est sous la tutelle de l'ONERA (Office national des études et recherches aéronautiques) nouvellement créé. Il prend successivement les noms d'ONERA / Etablissement de Toulouse, puis d'Etablissement de recherches aéronautiques de Toulouse (ERAT). Plusieurs projets étudiés pendant la guerre sont lancés en réalisation : c'est notamment le cas de la grande soufflerie S5 , du « Bassin d'essais de carènes », d'une nouvelle machine d'essais de train d'atterrissage dotée d'un volant permettant la simulation de la vitesse horizontale, et enfin d'un grand hall d'essais statiques en vue des essais du SE2010 « Armagnac ». Le service « Physique » se développe en mettant en place des moyens permettant la simulation réaliste de l'environnement dans le domaine des équipements électriques et de l'optique.

¹ Par Robert Finance.

Une réorganisation des établissements de recherches intervient à la fin de 1948. Les grands moyens d'essais aérodynamiques sont confiés à l'ONERA, et l'établissement de Toulouse est placé sous la tutelle de la Direction technique et industrielle de l'aéronautique (DTIA). Il prend le nom d'Etablissement aéronautique de Toulouse (EAT). Ce changement de statut a de lourdes conséquences, puisque par des licenciements ou par des retours à l'ONERA, l'effectif qui était monté à plus de 500 personnes s'établit à moins de 300. Les projets de grandes souffleries, qui étaient entrés dans un début d'exécution, sont naturellement abandonnés. La situation est cependant clarifiée, et quatre domaines de compétence sont bien identifiés : aérodynamique basse vitesse, matériaux, structures, équipements.

1.2 - De l'EAT au CEAT

Dès 1949, l'EAT doit faire face aux essais que nécessitent les programmes lancés à cette époque, et d'abord ceux du SE2010 « Armagnac », dont les essais statiques se déroulent dans un hall conçu spécialement à cet effet. Sa réalisation avait été lancée dans la période précédente.

Avec 300 personnes environ, l'EAT est encore un petit établissement dont l'activité essentielle est tournée vers les matériaux et les structures.

Dans les années qui suivent, son activité concerne les programmes du moment : SO30P « Bretagne », MS475 « Vanneau », Fouga CM170, Leduc 022, SO4050 « Vautour » (figure 2), SE212 « Grognard », MD450 « Ouragan », Mystère IV, Bréguet « Alizé », Potez 840, Nord 262... Les installations d'essais sont pour la plupart réalisées en interne, grâce à un bureau d'études et à un atelier (dirigés par René Thouraud) qui représentent près du tiers de l'effectif de l'établissement.

L'EAT n'est pas sans concurrents, même au sein de la DTIA, puisque plusieurs laboratoires se sont reconstitués après-guerre à côté des services techniques. C'est ainsi que les essais structuraux du Super-Mystère B2 et du Mirage III sont réalisés dans la « Section d'essais statiques » du STAé (Service technique de l'aéronautique).

L'effectif de l'EAT reste sensiblement stable pendant plusieurs années. Cependant, disposant d'un bureau d'études et d'un atelier importants, d'un vaste patrimoine foncier, bénéficiant de plus de la proximité de la SNCASE (Société nationale de constructions aéronautiques du Sud-Est), il est de toute évidence bien placé pour contribuer aux essais du programme « Caravelle » ; ce qui pousse l'Etablissement à créer de nombreuses installations nouvelles :

- Cuves d'essais « Caravelle » et systèmes de chargement pour essais statiques et de fatigue (1956) (figure 3) ;
- Machines d'essais de matériaux (dont 200 machines de flexion rotatives) ;
- Machine d'essais de freins (1954) (figure 4) ;
- Machines d'essais d'endurance de roues ;
- Bancs d'essais hydrauliques/électriques/carburant ;
- Machines d'essais d'atterrisseurs : « Saint Martin » (1956) ; « EAT 125 tonnes » (1955-1961) ;
- « Canon à poulet » (1958) ;
- Bancs d'essais de conditionnement d'air (1956-1961).

D'autres installations d'essais sont sous-traitées, et notamment à Latécoère, qui fournit en 1961 une catapulte pour le tunnel (dérivée de celle étudiée pour le « Baroudeur »), puis en 1964 une machine d'essais d'atterrisseurs, et enfin des

systèmes hydrauliques de chargement. L'EAT achète également aux Etats-Unis la machine d'essais de pneus et de freins « Adamson 400 » (1954).

A l'exception du tunnel hydrodynamique, toutes ces installations d'essais sont localisées sur le site d'origine, Avenue Henri Guillaumet.

Ces développements importants et justifiés conduisent l'Inspection des services de l'aéronautique à préconiser en 1959 de réduire ou de supprimer la plupart des laboratoires parisiens et de transférer leurs activités vers l'EAT, ce qui fut réalisé progressivement.

Le développement de l'Etablissement se poursuit à un rythme croissant dans les années 1960, grâce à un accroissement d'effectif résultant notamment de l'arrivée de nombreux rapatriés des AIA (Ateliers industriels de l'aéronautique) d'Afrique du Nord, et à l'affectation de jeunes ingénieurs militaires entreprenants et déterminés. Le groupe « Physique » est pris en charge en 1961 par l'ingénieur de l'air Jacques Plenier, puis en 1963 par l'ingénieur de l'air Emile Blanc, et les activités d'essais d'équipements se développent rapidement puisque l'effectif concerné double en 5 ans. Un laboratoire d'essais hydrauliques est installé dans de nouveaux locaux en 1964.

Enfin l'automatisation des calculs et dépouillements d'essais vient progressivement alléger le travail long et fastidieux assuré jusque-là par les opérateurs humains. L'ingénieur de l'air Raymond Heng est chargé en 1963 du petit service « Calcul-Exploitation » doté d'un ordinateur Bull-Gamma 3. Le premier système d'acquisition rapide destiné aux essais dynamiques d'atterrisseurs, un Packard-Bell 250, est mis en service en 1964.

Une décision fondamentale pour l'avenir de l'Etablissement est prise en 1963 lors d'une réunion entre l'IG Paul Dellus, directeur de la DTIA (Direction technique et industrielle de l'aéronautique), l'IC Marc Faury, directeur de l'EAT, et Louis Giusta, directeur général de Sud-Aviation : celle de confier à l'EAT les essais structuraux du programme « Concorde », du moins ceux qui relevaient de la responsabilité française. Dès 1964, plusieurs bâtiments de grandes dimensions sont construits à cet effet à l'annexe de l'Hers, et la responsabilité de ce nouvel ensemble est confiée à l'ingénieur de l'air Jean-Paul Perrais. De 359 personnes au début de 1960, l'effectif est passé à 683 personnes au début de 1966... mais il faut faire face à l'énorme charge de travail apportée par le programme « Concorde ».

1.3 - La décennie « Concorde » (1966-1975)

En 1966, l'EAT devient le Centre d'essais aéronautique de Toulouse (CEAT). L'activité Concorde est déjà importante et se développe (figure 5), ainsi que celle résultant de plusieurs programmes militaires (Mirage IV, Transall, Atlantic, Breguet 941, Etendard – figure 6,...). Les prévisions de charge faites en fin 1965 conduisent la direction du Centre à chercher à augmenter son potentiel productif. La DTCA (Direction technique des constructions aéronautiques) continue à affecter de jeunes ingénieurs militaires, et à maintenir en poste ceux déjà affectés, mais cela ne peut pas suffire. Le Centre est conduit à passer un contrat d'assistance avec la SOPEMEA (Société pour le perfectionnement des matériels et équipements aérospatiaux), sur des ressources budgétaires du ministère des Transports (voir Annexe 3).

A la fin des années 1960, plusieurs grands programmes civils et militaires sont lancés : Airbus 300, Mercure, Corvette, Falcon 10, Jaguar, Mirage F1 (figure 7), et les hélicoptères Gazelle et Puma (figure 8). Ces programmes, qui ont un cycle de développement plus court que le programme Concorde, entraînent au début des années 1970 une charge de travail considérable, alors que les essais du programme Concorde sont loin d'être terminés. Le CEAT doit de plus assurer les essais structuraux de plusieurs avions légers et planeurs du fait de la fermeture de la station d'essais statiques du STAé. Le contrat SOPEMEA se révèle un outil précieux pour faire face à cette accumulation d'activité.

Durant cette période, consacrée essentiellement à réaliser dans les délais souhaités les essais nécessaires à tous ces programmes, le CEAT continue malgré tout à évoluer. Plusieurs laboratoires sont déplacés du site de « Guillaumet » vers l'annexe de l'Hers : celui des pneus-roues-freins en 1968, celui des matériaux en 1969. Un nouveau grand hall d'essais structuraux, accolé au hall Concorde, est construit en 1971 pour accueillir la cellule d'essais statiques Airbus. En 1974, c'est l'atelier du centre qui vient s'installer dans le hall de montage de la cellule d'essais statiques Concorde.

Quelques installations nouvelles sont mises en service : soufflerie de profils S10 (1967), machines d'essais de pneus Adamson 640 (1967) et Repiquet (1972) (figure 9), générateurs de foudre (1973) (figure 10). Les systèmes de contrôle-commande, les centrales d'acquisition et de traitement des mesures évoluent rapidement avec les progrès constants des automatismes et de l'informatique.

Le CEAT doit aussi pendant cette période assurer des essais structuraux au profit des engins balistiques, en effectuant des essais en pression et à chaud des corps de propulseurs, des essais d'inter-étages, des essais des « dispositifs d'arrêt de poussée », et pour finir un essai en pression et haute température d'un corps de rentrée M20. Cette charge d'essais diminue ensuite rapidement avec la montée en puissance de la Direction technique des engins (DTEn) et de ses établissements. De façon plus anecdotique, le CEAT réalise un essai à haute température d'une structure de planeur hypersonique « VERAS » (Véhicule de recherches aérodynamiques et structurales).

L'ENICA (Ecole nationale d'ingénieurs des constructions aéronautiques) était venue s'installer en 1961 dans une partie des locaux de l'ancienne Ecole vétérinaire que l'EAT n'occupait pas. En 1968, au départ de l'ingénieur général Emile Blouin qui avait présidé à cette nouvelle installation, la DTCA confie au directeur du CEAT la direction de l'ENICA. Cette décision s'avère vite particulièrement favorable pour l'ENICA, car le CEAT apporte un soutien direct, d'une part au niveau du corps professoral, mais aussi au niveau logistique ; cette situation se prolonge jusqu'en 1986, et durant cette période les trois directeurs successifs (les IG Marc Fauray, Louis Pacaud et Michel Dumas) prennent des arbitrages qui permettent à l'ENICA de se développer considérablement, notamment en libérant des locaux permettant à l'Ecole d'étendre ses laboratoires afin d'accueillir un plus grand nombre d'étudiants. L'ENICA devient une ENSI (Ecole nationale supérieure d'ingénieurs) en 1979 et atteint rapidement ensuite le premier rang dans le concours commun des ENSI.

Tous ceux qui ont connu cette période se souviennent de l'ambiance fiévreuse, volontaire et créative qui s'était emparée du Centre : il fallait semaine après semaine

vérifier que les bancs d'essais, les moyens de mesure, et les équipes seraient bien en nombre suffisant pour tenir le planning d'essais promis aux constructeurs et aux services techniques. Mais la volonté était là, et la fierté de réussir malgré les difficultés était grande. Il y eut bien sûr quelques ratés, heureusement sans conséquences graves.

1.4 - La consolidation des acquis (1976-1984)

L'activité du CEAT, qui a atteint son niveau maximum en 1972, décroît ensuite régulièrement, et dès 1974 la nécessité de trouver un niveau d'équilibre correspondant à une activité moins exceptionnelle conduit à engager des réflexions internes sur les arbitrages à faire entre les diverses activités et sur le devenir du détachement SOPEMEA. Une réorganisation importante des activités d'essais structuraux est rapidement engagée et aboutit en 1977. Elle se traduit par l'abandon des installations de Guillaumet et par une diminution d'effectif de plus de 100 personnes. Le dernier essai d'une structure d'avion complète effectué à Guillaumet aura été celui de l'Alphajet (1976).

Si l'activité consacrée aux programmes diminue, de nouveaux besoins apparaissent du fait du développement des matériaux composites, des besoins de caractérisation que nécessite l'application du concept de « tolérance aux dommages » et, dans le domaine des équipements, du développement considérable des équipements et systèmes numériques.

En 1977, un plan de résorption du détachement SOPEMEA, proposé par le CEAT et la DTCA, est accepté par les ministères concernés et mis en application. La DTCA apporte une aide importante en fournissant à la fois des postes budgétaires et en transférant des activités : c'est ainsi que le CEAT reprend l'activité du Laboratoire d'équipements aéronautiques de Brétigny et celle concernant les matériaux hautes températures du Centre d'essais des propulseurs de Saclay.

Les programmes qui contribuent à maintenir un bon niveau d'activité dans cette période sont les programmes Mirage 2000, Atlantique 2 et Falcon 50, puis la demi-voilure expérimentale V10F et, un peu plus tard, les programmes Airbus 310 et ATR42.

Parmi les principales créations ou améliorations apportées aux installations d'essais durant cette période, on doit citer la mise en service, au bassin hydrodynamique, d'une plate-forme motorisée par un moteur électrique linéaire CEM² de 2,5 MW, le développement des moyens d'essais de fatigue oligocyclique et multiaxiale, les moyens d'essais en fatigue et vieillissement des structures en composite.

Dans le domaine des équipements, l'accent est mis sur les agressions électromagnétiques, la compatibilité entre équipements numériques, le développement des composants hydrauliques très haute pression (560 bar).

Dans le domaine des essais de structures, les moyens d'essais évoluent en vue d'améliorer la sécurité de la structure en essais et de diminuer les temps de montage et d'essais.

² Voir chapitre 6 (SECT), § 2.14.

Les souffleries S4 et S5 font également l'objet d'améliorations significatives (remotorisation, montages en dard), et sont très utilisées aussi bien pour les programmes civils (ATR42 notamment) que militaires.

Une décision importante mérite d'être mentionnée dans cette période : celle d'acquérir une grande parcelle de terrain à proximité immédiate de l'Annexe de l'Hers. Cette acquisition permettra de disposer d'une réserve foncière suffisante pour accueillir ultérieurement les laboratoires et services du site de « Guillaumet ».

1.5 - La maturité (1984-1995)

Avec la fin du « détachement SOPEMEA », le CEAT rentre dans une période de stabilité relative. Dans le domaine militaire, le maintien en service, en les améliorant, d'aéronefs existants (Mirage F1-CR puis CT, Mirage IVP, Super-Etendard modernisé...), entraîne le besoin de relancer des essais de fatigue. Quelques nouveaux programmes civils (ATR42 et 72, A320) permettent durant les années 1980 de maintenir un niveau d'activité convenable.

Ce qui marque sans doute le plus le début de cette période, c'est le développement massif des technologies numériques et l'arrivée du logiciel embarqué dans des fonctions critiques. Les techniques et moyens d'essais accompagnent cette évolution majeure (construction du hall destiné à abriter les générateurs de foudre en 1988, puis d'un nouveau hall pour accueillir les essais de compatibilité/susceptibilité aux rayonnements électromagnétiques).

Le CEAT crée une équipe de « Génie logiciel » qui apporte aux services de la DCAé une expertise dans ce domaine.

C'est aussi dans cette période qu'apparaît la nécessité de réduire les « signatures » des aéronefs militaires en vue d'améliorer leur discrétion. Sur la base des compétences existantes en optique, le CEAT développe des moyens et met en place une équipe capable de caractériser la signature infra-rouge afin de pouvoir la réduire.

A la fin des années 1980, plusieurs grands programmes civils et militaires sont lancés : A330/340, Falcon 2000, Rafale, Tigre, NH90. Le CEAT s'y prépare d'une part en engageant une réorganisation visant à réduire les cloisonnements inutiles, à mettre en place une démarche « projet » et à mieux formaliser ses processus de fonctionnement, d'autre part en modernisant certains laboratoires : de nouvelles installations d'essais des systèmes de conditionnement sont créées à l'Hers en deux tranches successives (1990 puis 1993).

Une aire d'essais de « crash » est mise en service, ainsi qu'une installation permettant de simuler les conditions aérodynamiques pendant une éjection (banc « windblast ») (figure 11).

Le secteur des matériaux continue à se développer, et les compétences acquises dans ce domaine permettent au CEAT d'apporter un soutien en expertise important au STPA. Cette situation de fait est formalisée en 1992 par la création du « Centre technique des matériaux et des structures ».

Quant aux essais structuraux, les progrès effectués aussi bien au niveau des moyens d'essais que dans le mode de conduite des projets permettent au CEAT de proposer, pour les programmes Rafale et Falcon 2000, d'effectuer la totalité des

essais de structure d'ensemble en n'utilisant qu'une seule cellule au lieu de deux antérieurement.

La pointe de charge due aux grands programmes passée, le CEAT propose en 1993 aux autorités de tutelle d'engager une opération globale de regroupement sur le site de l'Hers. La surface disponible le permet, mais il faut au préalable détourner une route très fréquentée qui sépare les deux parcelles de ce site. Ce problème est rapidement réglé, et l'opération dénommée « CEAT 2000 » est finalement approuvée. Les financements nécessaires ne sont attribués que très progressivement, et cette opération n'arrive à son terme qu'en 2007.

En 1996, le CEAT est le premier Centre d'essais de la DGA à être certifié ISO 9001.

2 - LES MISSIONS DU CEAT

Les missions du CEAT ont été précisées par une instruction particulière de la Direction technique des constructions aéronautiques de 1979 qui confirme les domaines de compétence (aérodynamique, matériaux, structures, équipements et systèmes), définit les bénéficiaires (organismes de la DTCA, autres organismes officiels, entreprises du secteur aérospatial) et explicite par ordre d'importance décroissante ses missions principales :

- l'évaluation officielle par essais au sol des matériels et matériaux aéronautiques ;
- la réalisation d'essais généraux, d'études et de mise au point à la demande des services techniques ;
- la réalisation d'essais de développement, de mise au point ou autres, de matériels, en collaboration avec les constructeurs, lorsqu'ils sont demandés par les services techniques ou, dans la limite des possibilités, par les constructeurs ;
- le conseil des services techniques dans des domaines particuliers d'expertise ;
- la participation à l'évolution de la réglementation aéronautique ;
- la conception et la mise au point des méthodes et moyens d'essais ;
- la formation complémentaire des personnels.

3 - LES ACTIVITES

3.1 - L'aérodynamique

L'Aérodynamique a contribué à l'enracinement à Toulouse des laboratoires qui s'y étaient déplacés, par la construction dès 1942 des deux souffleries S4 et S5, puis du tunnel hydrodynamique (ouvrage considérable puisque constitué d'un bassin de 1 200 mètres de long, entièrement couvert d'une voûte en béton) (cf. figure 6, déjà citée).

Ces installations sont progressivement complétées par quelques autres de moindre importance : mini-soufflerie S2, utilisée pour le tarage des sondes pitot jusqu'en 1962, petite soufflerie supersonique S9 (peu utilisée), soufflerie de profils S10 mise en service en 1967, nouvelle soufflerie d'essais et d'étalonnage des sondes pitot mise en service en 1985.

Le CEAT a étudié à la fin des années 1960 une « soufflerie à densité variable », qui ne fut finalement pas réalisée, mais dont la définition préfigura la soufflerie pressurisée F1 installée par l'ONERA sur le site du Fauga³.

En améliorant de façon continue ses installations, le CEAT a apporté avec les souffleries S4 et S5 une contribution significative à la mise au point dans le domaine des basses vitesses de beaucoup de projets d'avions, et à des coûts très modérés. La soufflerie S5 a largement été utilisée par les programmes militaires pour étudier le comportement des charges externes lors de leur largage. Quant au tunnel hydrodynamique, il a permis d'étudier des problèmes très divers : comportement des avions à proximité du sol grâce à une plate-forme motorisée d'abord par un réacteur ATAR8, puis par un moteur électrique linéaire, comportement au catapultage de divers équipements (incluant des moteurs en fonctionnement), par utilisation de la catapulte ; c'est sur cette installation que plusieurs problèmes délicats affectant la version Marine du Rafale ont pu être rapidement identifiés et réglés. D'autres expérimentations au caractère plus anecdotique ont aussi été réalisées dans le tunnel : mesures de coefficients d'adhérence de pneumatiques, comportement hydrodynamique de plans porteurs immergés, de sonars... et un essai très spectaculaire de comportement au crash d'un atterrisseur principal.

3.2 - Les essais de matériaux

L'activité des « matières premières » a été dès le début d'une grande importance. Dans les années 1940 il s'agissait d'abord de caractériser les propriétés mécaniques et la composition chimique des matériaux. Dès 1945, l'EAT disposait de machines d'essais Amsler, d'un pulsateur Schenck et d'une machine de traction Trayvou à vérin hydraulique horizontal de 2 500 kN.

Dans les années 1950 apparaît une activité croissante dans le domaine de la fatigue des matériaux. L'EAT définit au profit du Service technique de l'aéronautique des éprouvettes normalisées qui, produites en très grand nombre et avec beaucoup de soin par l'atelier à partir des matières fournies par les élaborateurs, et essayées sur des batteries de machines d'essais de fatigue (vibrophares Amsler, machines « EAT ») ont permis de caractériser les aciers, les alliages légers, les alliages de titane (1951), des fibres et tissus de verre (1956), etc.

Les laboratoires de l'activité « matériaux » sont déplacés à l'Annexe de l'Hers à partir de 1969, ce qui leur permet de se moderniser et de s'étendre pour prendre en compte de nouvelles activités. Les essais de caractérisation se développent et se diversifient vers d'autres matériaux (fibres de carbone à partir de 1973, matériaux haute température à partir de 1977...) avec des modes de sollicitation plus complexes ou mieux adaptés à certaines utilisations (essais en température/humidité, fatigue oligocyclique).

Les moyens d'analyse, d'examen microscopique, de contrôle non destructif se développent en parallèle.

Enfin, l'acquisition de plusieurs machines de grande capacité permet de contribuer à la mise au point des technologies structurales au profit des nouveaux programmes (figure 12).

En 1970, à la suite de plusieurs accidents dramatiques suivis de feu à bord, un nouveau laboratoire d'inflammabilité est créé, complété en 1974 par un laboratoire de toxicité.

³ Voir le chapitre 13 (ONERA), § 1.4.2.

Le développement de l'activité « matériaux » a été considérable. Elle est mesurée par l'effectif directement consacré : 21 personnes en 1950, 39 en 1970, 80 en 1989.

3.3 - Les essais de structures

3.3.1 - Les essais statiques

Dès 1949, l'EAT était équipé de moyens permettant de vérifier la résistance des structures d'avions : un vaste hall de 50x25 m² abritant un radier en béton armé, un mur d'essais, et un système de chargement constitué notamment de vérins électriques récupérés chez Dornier (vérins CTW - Centre technique de Wasserburg) (cf. figure 2, déjà citée). Le pilotage de ces vérins était assuré de façon manuelle à partir d'un pupitre de commande qui regroupait les mesures d'efforts recopiées par selsyn à partir des dynamomètres installés en série avec les vérins. Il fallait une certaine habileté aux opérateurs pour faire croître (ou décroître) tous les efforts de façon homogène.

Globalement c'était un système d'une remarquable simplicité avec lequel il fut possible de faire les essais statiques de nombreux programmes civils et militaires, jusqu'au Mercure et au Mirage 2000.

Une évolution technologique considérable arriva avec le programme Concorde. L'essai statique d'ensemble (cf. figure 5, déjà citée) nécessita la mise en place de plus de 60 vérins hydrauliques ; et, pour simuler l'échauffement cinétique, la cellule fut entourée par un four divisé en 150 zones, équipé de milliers de tubes infrarouges. La puissance installée totale était de 20 MW. La simulation du refroidissement durant la descente était obtenue par circulation d'air refroidi par injection d'azote liquide (70 m³ environ par essai). Cette installation d'essai était très novatrice, puisqu'elle mettait en œuvre pour la première fois des boucles d'asservissement entièrement numériques, le pilotage de l'ensemble étant assuré par un calculateur « Pallas », qui assurait en même temps l'acquisition de 2 000 mesures extensométriques.

L'expérience acquise au cours de cet essai fut ensuite mise à profit pour les essais du programme A300, puis pour tous les programmes suivants. Le système de chargement par vérins hydrauliques, dont la mise en œuvre était assez lourde à l'origine, fut progressivement amélioré en vue notamment d'assurer en cas de problème un déchargement rapide et contrôlé de la structure essayée, ce qui n'était pas possible avec les vérins CTW.

La connaissance du comportement des structures acquise par les spécialistes du CEAT à travers les essais leur permit d'intervenir fréquemment dans des expertises d'éléments rompus en service. Au départ, cela se fit d'abord en soutien de l'équipe constituée dans ce but au CEPr⁴ (Centre d'essais des propulseurs). Au début des années 1990, avec le transfert des dernières activités « matériaux » du CEPr au CEAT, cette activité fut également reprise par le CEAT.

Dès les années 1960, le programme Concorde avait fait apparaître le besoin d'effectuer des essais structuraux en simulant l'échauffement cinétique. Ce besoin convergeait avec celui des programmes de lanceurs balistiques pour lesquels la

⁴ Voir chapitre 3.

Direction technique des engins, de création récente, ne disposait d'aucun moyen d'essai adapté. Cela entraîna la création d'un laboratoire d'« échauffement cinétique » qui traita les essais de plusieurs éléments de structure Concorde (dont le canal de post-combustion du moteur Olympus), de nombreux essais de propulseurs et d'inter-étages (dans des fosses construites à cet effet, compte-tenu du danger d'explosion), l'essai d'un modèle de planeur hypersonique « VERAS » (plus de 1 000°C à l'intrados), celui d'un corps de rentrée M20 et divers autres essais (cf. figure 7, déjà citée). Pour tous ces essais, les flux de chaleur, contrôlés par des fluxmètres développés au CEAT, étaient fournis par des tubes infra-rouge.

Pendant les essais statiques, les mesures effectuées sur la structure en essai sont les déformations locales et les déplacements globaux. Dans ces deux domaines les capteurs comme les moyens d'acquisition et de traitement évoluèrent rapidement. La première génération de capteurs de déformation locale fut celle des extensomètres mécaniques « Huggenberger ». Arrivèrent ensuite les jauges de contrainte à fil résistant dont le signal électrique permettait la mesure à distance. Cette technologie s'imposa rapidement, et dès la fin des années 60, plusieurs milliers de jauges de contraintes étaient collées sur les grandes structures en essai. Les mesures correspondantes, d'abord traitées en différé, furent rapidement traitées en temps réel, afin de permettre aux bureaux de calcul des constructeurs de comparer les résultats obtenus avec les valeurs fournies par les modèles d'éléments finis. Le bouclage ainsi réalisé entre calcul et essai fit de l'essai statique une ressource précieuse pour améliorer les modèles de calcul prévisionnels.

Il reste cependant une difficulté qui est toujours difficile à traiter, celle de la prévision des conséquences d'une instabilité locale en compression/cisaillement. Dans ce domaine, après une rupture prématurée (et donc inattendue...) qui affecta en 1977 la cellule du Falcon 50, le CEAT proposa une méthode de prévision par traitement en temps réel des non-linéarités apparaissant pendant la montée en charge.

3.3.2 - Les essais de fatigue

En 1954, deux « Comet » explosèrent successivement en vol, et l'industrie aéronautique britannique constata que le dimensionnement avec des marges de calcul importantes, même vérifié par des essais statiques satisfaisants, ne suffisait pas à garantir une durée de vie suffisante vis-à-vis des phénomènes de fatigue. Un premier essai de fatigue sur un fuselage complet de Comet, immergé dans une cuve remplie d'eau, et soumis à des cycles de pression répétés permit de reproduire le phénomène à l'origine des accidents.

En 1955, un ingénieur de l'EAT (Gilbert Affre) se rendit à Farnborough pour prendre connaissance de cette technique d'essais. Elle fut ensuite appliquée à l'identique pour les essais de fatigue de « Caravelle » (1959-1962) (cf. figure 3, déjà citée) : le fuselage, immergé dans une cuve, fut mis sous pression par la méthode du « crève-tonneau » de Pascal. La voilure sortait de la cuve par des passages étanches ; les efforts étaient appliqués par des vérins hydrauliques dont la section était proportionnelle aux efforts à appliquer, de sorte que le seul paramètre à piloter était la pression de la pompe hydraulique qui les alimentait.

Le même type de technique fut appliqué à l'Atlantic, au Transall, puis aux Falcon 20 et 10, avec des améliorations portant sur la programmation analogique de chaque voie d'effort.

Pour le programme Concorde, le CEAT se vit confier des essais partiels : élevons, canal de post-combustion Olympus, et surtout les essais de plusieurs tronçons. Pour le plus important, le tronçon 2.6-2.7, il fallut créer un nouveau bâtiment et une installation technique considérable permettant la simulation des conditions thermiques du vol (1966-1972).

Dans le courant des années 70, le contrôle-commande fut progressivement confié à un ordinateur, ce qui permit de programmer des cycles plus complexes. L'application des philosophies de conception « fail-safe » et « tolérance aux dommages » permit d'abandonner les cuves à eau et de réaliser les essais à l'air libre : cela commença avec le Mercure, suivi du Falcon 50 et des autres avions de cette famille.

L'allongement de la durée d'utilisation des avions d'armes conduisit à s'intéresser aussi à leur comportement en fatigue : en 1970, un essai de la liaison voilure-fuselage du Mirage F1 fut lancé. La première cellule complète essayée en fatigue fut celle d'un Jaguar en 1971. Dans la même période furent effectués les premiers essais de fatigue sur des cellules complètes des hélicoptères Gazelle et Puma. Les avions d'armes ultérieurs, et certains plus anciens suivirent ensuite.

Les techniques d'essais furent ensuite constamment améliorées afin de mieux surveiller la structure en essai, d'éviter toute rupture intempestive, d'augmenter la rapidité d'exécution, et de diminuer la charge de surveillance.

Les trains d'atterrissage, conçus en « *safe-life* », firent également l'objet d'essais prolongés.

L'apparition dans les années 70 des premières structures primaires utilisant des matériaux composites, et les incertitudes sur l'effet des conditions d'environnement, conduisirent le CEAT à réaliser, à partir de l'installation technique du tronçon 2.6-2.7 du Concorde, une installation de « fatigue-vieillessement » qui permit de tester les premiers éléments structuraux disponibles : un aileron de Mirage F1 et des « lift-dumpers » Airbus. Les résultats obtenus, associés à ceux de la demi-voilure composite Falcon 10, contribuèrent à poser les bases de certification de ces nouvelles structures.

Dans la même période, la nécessité d'allonger la durée d'exploitation des aéronefs militaires conduisit les experts du CEAT à proposer au STAé d'équiper certaines flottes avec des accélérocompteurs. Furent ainsi équipés les Mirage III de tous types, puis les Mirage F1, Jaguar, Alphajet, etc. Les relevés d'accélération fournis par ces appareils, traités par le CEAT et communiqués aux utilisateurs, permirent de connaître et, si nécessaire, de gérer le vieillissement structural de chaque avion. Ils permirent aussi d'acquérir des connaissances précises sur la sévérité réelle des différents types de mission et de remettre en cause des opinions mal fondées. Cette connaissance fut notamment utilisée lors de l'examen de l'opportunité de convertir les F1C devenus excédentaires pour les missions de défense aérienne en F1-CT d'appui tactique. Il fut en effet possible d'apporter la preuve que la durée de vie résiduelle de ces avions était bien compatible avec la durée d'utilisation recherchée dans ce nouvel emploi.

En parallèle, le CEAT proposa de développer un système de surveillance plus performant, intégrant un micro-processeur. Après réalisation d'un prototype permettant de valider le concept, plusieurs séries d'équipements (SPEES – Système perfectionné d'évaluation de l'endommagement structural, mini-SPEES, micro-

SPEES) furent réalisées par Electronique Serge Dassault et employées pour diverses opérations (dont la prolongation d'utilisation du Transall).

3.3.3 - Les essais dynamiques des structures

On décrit sous cette catégorie un certain nombre d'essais dont l'objectif est de soumettre une structure à une agression mécanique brutale, avec des effets peu prévisibles mais fréquemment destructeurs.

Le premier type d'essais de cette nature, et le plus connu, est celui concernant la tenue des pare-brise aux impacts d'oiseaux. Ce problème fut d'abord traité à l'aide d'une grosse arbalète capable de lancer à 60 m/s un projectile de 1,5 kg. Cette installation fut utilisée pour le SO4050 Vautour en 1956 ; peu performante, capricieuse, elle fut remplacée en 1958 par un canon à air comprimé qui donna toute satisfaction. Ses caractéristiques furent améliorées pour le rendre finalement capable de tirer des projectiles de plus de 2 kg à la vitesse du son. Il fut aussi utilisé pour des applications non aéronautiques (vitres de TGV notamment).

Dans les essais 1960, le CEAT fut sollicité pour vérifier le fonctionnement des « dispositifs d'arrêt de poussée » des propulseurs d'engins balistiques. Le caractère explosif et destructeur de ces essais imposa la construction en 1966 d'un bâtiment spécifique.

Pour le programme Concorde, et afin de finaliser la définition de la structure du fuselage, il fallut sectionner un cadre avec une « guillotine ». L'explosion qui en résulta est restée dans les mémoires...

Dans les années 1970, sur la base des enseignements tirés des opérations au Vietnam, l'US Army avait engagé un programme visant à améliorer considérablement les chances de survie des occupants d'un hélicoptère en cas de crash. La même démarche fut suivie en France, et le CEAT réalisa plusieurs essais de crash sur des cellules de Gazelle et de Puma (cf. figure 8, déjà citée), afin d'expérimenter divers dispositifs. Quelques années plus tard une démarche similaire fut suivie pour les avions civils, et une installation d'essais de crash fut créée à l'extérieur sur une aire spécifique en 1989. C'est sur cette installation que furent réalisées successivement des simulations de crash d'une cellule de Falcon 10 complète (1993), équipée de sièges anti-crash portant des mannequins instrumentés prêtés par le Centre d'essais en vol, puis un peu plus tard d'un tronçon d'A320. Dans les deux cas il s'agissait d'expérimentations permettant de mettre au point des modèles prévisionnels de comportement et non d'essais de certification.

En parallèle le CEAT réalisa un chariot de décélération permettant de faire subir à des sièges les profils de décélération imposés pour leur certification.

3.4 - Les essais d'équipements et de systèmes

3.4.1 - Les essais dynamiques d'atterrisseurs

C'est dès 1947 que fut créée une première installation permettant de reproduire dans des conditions relativement réalistes ce phénomène si brutal et si rapide qu'est l'impact d'atterrissage. Pour cette première installation, l'atterrisseur en essai était fixé sur un chariot lesté se déplaçant librement sur un plan incliné. Ce « Toboggan » (cf. figure 1, déjà citée), machine rustique, fut progressivement complété par une gamme de machines plus réalistes comportant une plate-forme mobile lestée chutant verticalement, avec simulation de la portance pendant l'impact : ce furent

successivement les machines EETIM, St-Martin, EAT 125 tonnes, SILAT 12 tonnes (figure 13), toutes dotées d'un volant permettant de simuler la vitesse longitudinale.

Cette gamme, très complète, permet d'expérimenter les atterrisseurs de tous les aéronefs français, des avions légers aux hélicoptères et aux gros porteurs, en passant par les atterrisseurs d'avions embarqués. Pour ces derniers, il était possible de simuler l'appontage avec franchissement des protubérances présentes sur le pont du porte-avions.

Cet ensemble de moyens permet de déterminer les réglages des amortisseurs de la totalité des atterrisseurs produits par les firmes françaises et de plusieurs programmes étrangers. Il permet aussi de traiter le comportement au crash des atterrisseurs d'hélicoptères, et de déterminer des solutions à des problèmes de « shimmy » rencontrés lors des essais en vol.

3.4.2 - Les essais de pneumatiques, roues et freins

Souvent à l'origine d'incidents ou d'accidents catastrophiques, les pneumatiques, roues et freins n'ont pu être réellement testés dans de bonnes conditions qu'à partir de 1954, avec la mise en service de la machine Adamson 400 (cf. figure 4, déjà citée), et surtout après 1967 avec la nouvelle machine Adamson 640, sur laquelle il devint possible de simuler correctement le cycle de chargement subi pendant le décollage puis l'atterrissage.

La machine Repiquet, de construction française, vint compléter ce parc en 1971 ; complétée et améliorée dans les années 80, cette machine permit de faire face à de nouvelles exigences réglementaires : surcharge en fin de décollage pour simuler l'éclatement d'un pneumatique voisin, essai avec carrossage et ripé.

Disposant par ailleurs de machines de moindre importance permettant de faire des essais d'endurance, et de presses d'essais statiques, le laboratoire des pneus-roues et freins a été très sollicité tant par les manufacturiers de toutes nationalités que par les services officiels.

Un des essais les plus exceptionnels réalisé dans le laboratoire a été, en 1997, celui d'un pneumatique à très haute vitesse (600 km/h) développé par Michelin sous contrat de la DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*, Etats-Unis).

3.4.3 - Les essais d'équipements électriques

Les essais d'équipements destinés à fournir et à stocker de l'énergie électrique ont donné lieu à une activité modeste dès le début de l'existence du Centre : en 1949 la première demande d'essai du Service technique de l'aéronautique concerna un moteur à courant continu Ragonot. Dans les années 50, l'activité, encore limitée, concerna surtout des batteries et des génératrices à courant continu. Un premier alternateur de marque Labinal fut essayé en 1954.

A partir des années 1960, les générations alternatives 400 Hz se développèrent, et conduisirent à essayer des redresseurs, régulateurs, transfo-redresseurs dans la mesure où de nombreux équipements restaient alimentés en courant continu. Les moyens d'essais s'étoffèrent en parallèle afin de simuler les conditions d'altitude (1962) et de réaliser des essais d'endurance.

La fin des années 1960 et les années 1970 furent marquées par une charge d'essais considérable, et une croissance rapide des puissances installées à bord, de quelques kW à plusieurs centaines de kW. Les vitesses de rotation des machines

tournantes s'accrurent avec la recherche de puissances massiques élevées, et le laboratoire s'équipa de nombreux bancs d'essais progressivement automatisés (dont un banc de 400 kW à vitesse variable de 0 à 60 000 t/mn, et plusieurs bancs de génératrices-démarrateurs) (figure 14).

Dans les années 1980 apparurent les alternateurs à fréquence variable ; outre l'environnement mécanique et climatique, les équipements électriques furent qualifiés vis-à-vis des perturbations des réseaux et de la compatibilité électromagnétique.

3.4.4 - Les essais d'équipements hydrauliques

Les équipements hydrauliques introduits pendant la deuxième guerre mondiale principalement pour les trains d'atterrissages et les régulations d'hélices, trouvèrent un nouveau champ d'application avec les servo-commandes devenues indispensables pour contrôler le vol d'avions plus lourds et plus rapides.

Le laboratoire d'hydraulique vit ainsi son activité s'étendre progressivement des tuyauteries et raccords aux pompes, électro-pompes, accumulateurs.

Dans les années 1960 et 1970, et surtout avec le programme Concorde, se posèrent des problèmes spécifiques : nouveaux fluides (oronite en 1965, skydrol en 1972), pressions et températures élevées. Le laboratoire se dota de nombreux bancs d'essais permettant de simuler tous les paramètres de fonctionnement (températures, pressions, débits), et, pour les machines tournantes, les vitesses et gradients de vitesse. Les essais portèrent sur des équipements isolés ou constitués en systèmes complets. Le laboratoire traita également les équipements et les systèmes d'alimentation en carburant.

A partir de 1978, le laboratoire reprit l'activité d'essais des servo-commandes assurée antérieurement par le LEA⁵ (Laboratoire d'équipements aéronautiques) de Brétigny.

Dans les années 1980, le laboratoire s'adapta aux évolutions technologiques que furent les commandes de vol numériques et les très hautes pressions (560 bar) (figure 15).

3.4.5 - Les essais des équipements et systèmes de conditionnement d'air

Les besoins d'expérimentation liés aux avions pressurisés furent pris en compte dès le début des années 1950, et l'EAT étudia et fit réaliser une première installation « Turbo-frigorigène EAT » qui était équipée d'un caisson de 18 m³ simulant la cabine.

Cette première installation ayant des performances insuffisantes, l'EAT engagea l'étude et la réalisation d'une nouvelle installation, utilisant notamment des turbomachines récupérées (Gabizo), dans la perspective du programme Caravelle. Mise en service en 1958, puis progressivement améliorée dès 1961 par l'addition de plusieurs caissons (dont un de 8 mètres de diamètre), d'une centrale de vide, de réchauffeurs, etc., elle permit de faire face aux besoins de tous les programmes des années 1960 et 1970. Le programme Concorde, avec ses quatre systèmes de conditionnement d'air en parallèle, fut un essai majeur et nécessita de nombreuses années de mise au point (1967-1974).

⁵ Voir chapitre 1 (CEV), § 5.6 et 6.12.

A partir de 1980, il fallut envisager une remise à niveau complète. Par ailleurs, l'environnement du site de Guillaumet s'était largement urbanisé, et rendait difficile le maintien sur place d'une telle installation d'essais, génératrice de bruit et de pollution. L'acquisition d'une grande parcelle de terrain à l'Annexe de l'Hers offrait l'opportunité d'y installer un nouveau banc d'essais, basé sur des composants techniques plus industriels et intégrant le principe de la palettisation des systèmes essayés. Une première tranche fut mise en service en 1990. La deuxième tranche, lancée en 1993 après consultation des utilisateurs industriels, fut réalisée en 1995. C'est dans ces nouvelles installations que furent exécutés les essais du programme Rafale.

3.4.6 - Les essais des équipements de sécurité et de sauvetage

Les matériels de sécurité, très diversifiés et concernant plus particulièrement des programmes militaires, ont été initialement essayés dans divers laboratoires du Centre, mais aussi chez les industriels et au CEV.

En 1981, le STPA souhaita une rationalisation de l'organisation, et le CEAT créa un laboratoire « Sécurité-Sauvetage-Oxygénation » chargé des essais des matériels liés à la vie à bord des aéronefs, à la sécurité et à la survie. L'activité de ce laboratoire a progressivement concerné, outre les appareils d'oxygénation, les équipements pilote (casque, masque) et les équipements de survie (canot pneumatique, déclencheur de parachute, treuil...).

Dans les années 1990, l'activité se diversifia avec les essais d'équipements embarqués de génération d'oxygène (« Obogs ») et de casques comportant des dispositifs de visée ou de vision nocturne.

La mise en service en 1991 d'une installation capable de simuler la rafale subie par le pilote équipé et installé sur son siège au moment de l'éjection a permis d'étudier le comportement de cet ensemble dans des conditions très réalistes. Ce banc d'essais dénommé « *windblast* » (cf. figure 11, déjà citée) a aussi été utilisé pour la mise au point initiale de systèmes de découpage pyrotechnique de verrières, et pour la caractérisation de leurres infrarouges.

3.4.7 - Les essais des équipements d'optique et d'optronique

C'est surtout à partir de 1950, à l'époque de la guerre d'Indochine, que furent réalisés de nombreux essais visant à qualifier des objectifs et films destinés à la reconnaissance aérienne. Le laboratoire d'Optique procéda aussi à l'homologation des feux, voyants, lampes, projecteurs de lutte ASM... Dans les années 1960, il développa de nouvelles méthodes de mesure (fonction de transfert de modulation - 1963), s'équipa d'un banc photométrique et de spectrophotomètres. En 1983, le laboratoire s'installa dans de nouveaux locaux, et son activité s'étendit aux écrans plats, et aux équipements optroniques (systèmes de vision nocturne, viseur de casque).

L'expertise acquise conduisit au développement d'une activité de caractérisation de signatures infrarouges de cibles aériennes (aéronefs, moteurs, missiles, leurres) au sol et en vol à basse hauteur, en se dotant de moyens mobiles, MADIR (Moyen d'acquisition de données infrarouges) puis MADISON (Moyen d'acquisition de données informatisées de signatures optiques numérisées). En 1993 le laboratoire s'équipa d'un banc permettant de mesurer les déviations introduites par les verrières

(banc SAMOVAR - Système automatisé de mesure des déviations optiques des verrières d'aéronefs) (figure 16).

3.4.8 - Les essais des équipements de pilotage et de navigation

La décision prise en 1978 par la DTCA de transférer les activités du Laboratoire d'équipements aéronautiques de Brétigny au CEAT conduisit à la création d'un nouveau laboratoire qui fonctionna dès 1979. Un des premiers essais effectués fut celui du pilote automatique analogique du Transall. En 1981, le laboratoire traita les équipements numériques du Mirage 2000 et de l'Atlantique 2, en mettant en œuvre des moyens de test semi-automatiques, puis automatiques. Le laboratoire qualifia aussi des composants optiques (fibres et connecteurs). Tous ces essais purent être réalisés en simulant les conditions climatiques ou vibratoires de l'environnement réel.

3.4.9 - Les agressions électromagnétiques

Jusque dans les années 1960, les phénomènes électriques d'origine atmosphérique ne constituaient pas une grave menace pour des aéronefs réalisés avec des matériaux métalliques.

L'introduction progressive de composants diélectriques (radômes, carénages divers), puis d'équipements de plus en plus miniaturisés fonctionnant en très bas niveau, conduisit le CEAT à mettre en service en 1973 une installation permettant de reproduire les effets de la foudre.

Cette installation était en fait double :

- un générateur de tension de 5 MV permettait d'étudier les arcs de foudre ;
- un générateur de courant de 200 kA permettait d'étudier les effets destructeurs directs et les effets induits à l'intérieur de la cellule.

D'abord installés à l'air libre, ces générateurs ont ensuite été abrités dans un grand bâtiment à ossature bois. Ils ont permis au départ de comprendre les phénomènes et de déterminer des principes de protection, puis de traiter les problèmes pratiques des grands programmes. Ils ont ultérieurement été complétés par divers moyens permettant de reproduire des agressions normalisées (générateur « DICOM », Dispositif impulsif de courant à ondes multiples, générateur « Sisyphe » pour l'étude des effets indirects).

La multiplication des équipements, et leur sensibilité aux rayonnements émis dans leur environnement proche ou lointain conduisit par ailleurs au développement d'une importante activité d'essais de compatibilité électromagnétique : en 1980, une maquette de Mirage 2000 équipée de ses commandes de vol électriques fut soumise à la simulation d'une impulsion électromagnétique (IEM). Le CEAT s'équipa progressivement en cages de Faraday, chambres anéchoïques (figure 17), émetteurs, récepteurs, antennes, moyens fixes ou mobiles permettant d'évaluer et de résoudre les problèmes de compatibilité électromagnétique soit au CEAT, soit chez les constructeurs. Les années 1990 virent la création d'un grand hall tranquillisé pour les champs forts (hall « EOLE »).

3.4.10 - La certification des logiciels embarqués

Avec le développement de systèmes complètement numérisés, le logiciel embarqué s'est approprié les fonctions les plus critiques, du freinage au pilotage

automatique et à la gestion du vol, et cela aussi bien sur les aéronefs civils que militaires.

Devant l'impossibilité de tester exhaustivement les logiciels, le CEAT a mis en place à la fin des années 1980 une équipe d'experts de haut niveau capables de formuler un jugement sur les méthodes employées pour construire la sûreté de fonctionnement des logiciels critiques. Cette équipe, dont la taille était proche de la dizaine d'ingénieurs au début des années 1990, a exercé son activité au profit de tous les grands programmes civils et militaires.

ANNEXES

A1 - Le CEAT et ses principaux clients

Conscient que son existence à long terme dépendait d'abord de sa capacité à satisfaire les besoins de ses clients étatiques et industriels, le CEAT a veillé à construire et à maintenir des relations confiantes avec eux.

Cela a été facilité par le fait qu'il pouvait les accompagner d'abord dans la phase de recherche et de mise au point de nouveaux procédés ou de nouvelles technologies, puis lors du développement de nouveaux programmes, et enfin dans la résolution de problèmes rencontrés en service. Il était ainsi possible de construire des relations permanentes et durables avec les correspondants des services techniques et des industriels, et d'accumuler suffisamment d'expérience pour apporter expertise et conseil.

Plusieurs industriels ont d'ailleurs montré leur confiance en abandonnant complètement des moyens d'essais dont ils s'étaient dotés en interne : ce fut le cas notamment de Dassault (fermeture du laboratoire d'essais de structures de Vélizy) et de Messier (abandon des machines d'essais d'atterrisseurs installées à Montrouge). Il en fut de même avec Sud-Aviation/Aérospatiale/Airbus puisque la plupart des essais structuraux des grands programmes civils successifs furent exécutés par les équipes du CEAT (sauf naturellement lorsque les contraintes de partage « équitable » du travail et du « juste retour », spécifiques aux programmes en coopération internationale, conduisirent à des choix de prestataires ne laissant que peu de place aux critères de compétence technique et de compétitivité économique). La société Latécoère, proche voisine du CEAT, fut par contre plus un fournisseur qu'un client : en effet, et notamment dans les années 1960-1970 durant lesquelles cette entreprise avait des disponibilités de plan de charge, le CEAT utilisa ses compétences très diversifiées en lui faisant étudier et réaliser des installations d'essais complexes. Certaines donnèrent lieu à des fabrications en petite série.

A2 - Le CEAT et l'ONERA⁶

De multiples coopérations furent établies entre ces deux organismes complémentaires, l'ONERA, organisme de recherche, se situant en amont du CEAT dont l'activité était plus orientée vers la mise au point et la qualification de méthodes et de procédés. On peut citer notamment :

⁶ Voir également le chapitre 13 de ce document, notamment le § 3.3, et le document du COMAERO, *Etudes et recherches*, tome II, 2008.

- dans le domaine des matériaux, diverses coopérations sur des modèles de propagation de fissures ; sur la caractérisation d'alliages pour disques de turbines ;
- dans le domaine des structures, l'intervention d'une équipe de l'ONERA en fin d'essai statique de l'avion SN 600 « Corvette » afin de mesurer « in situ » l'ouverture d'une fissure artificielle pratiquée au sommet du fuselage mis sous pression. Il s'agissait de qualifier une méthode expérimentale de mesure du facteur d'intensité de contrainte proposée par William Barrois ;
- dans le domaine de l'aérodynamique, si certaines tensions résultèrent de la compétition autour du projet de soufflerie pressurisée, c'est dans une atmosphère de coopération compétitive mais amicale que s'instaurèrent ensuite de nombreux échanges en vue de l'utilisation croisée des moyens les plus adaptés pour traiter les problèmes rencontrés : utilisation par l'ONERA de S10 pour des essais de profils, étalonnage de certains montages par l'IMFL (Institut de mécanique des fluides de Lille). Des échanges annuels réguliers avec les industriels utilisateurs et le STPA permirent des échanges fructueux sur les méthodes et moyens de mesure, et une bonne planification de l'utilisation des souffleries vis-à-vis des besoins des programmes ;
- enfin la direction de la Physique de l'ONERA coopéra avec le CEAT dans le domaine du foudroiement, et en développant au profit du CEAT l'imageur spectral « SESIRIS » ; d'autre part, le CERT/DERMO (Centre d'études et de recherches de Toulouse / Département d'études et de recherches en micro-ondes) a mis au point un banc de caractérisation électromagnétique des matériaux.

A3 - Le « Détachement SOPEMEA »

Le lancement du programme Concorde, puis celui des programmes Airbus et Mercure, conduisirent la direction du CEAT à constater que les moyens humains dont disposait l'Etablissement seraient insuffisants tant en effectif qu'en niveau de qualification, et que la seule solution disponible consistait à recourir à un contrat d'assistance. Un contrat fut passé dans ce but avec la SOPEMEA en 1966.

Il apparut très vite qu'en pratique ce contrat ne pouvait pas s'exécuter sous la forme d'une véritable sous-traitance : il fallait en fait mettre à disposition des personnels expérimentés du CEAT une force d'appoint jeune, formée aux techniques nouvelles de l'automatique, de l'informatique et des mesures, dans une symbiose qui ne pouvait se réaliser que par une imbrication totale dans l'organisation du CEAT. Il prit donc de fait la forme peu orthodoxe d'un marché de fourniture de main d'œuvre, financé par des crédits provenant du ministère des Transports.

Ce « Détachement SOPEMEA » fut directement géré par le CEAT. L'ICETA Jean Moinardeau, rattaché à la direction, procédait aux embauches, à la détermination des conditions salariales correspondantes, puis aux avancements... (tout en veillant à assurer une certaine homogénéité avec les règles appliquées aux personnels de l'Etat).

En 1972, au plus fort de l'activité consacrée aux programmes civils, l'effectif du « Détachement SOPEMEA » atteignit 280 personnes, alors que l'effectif du personnel « Etat » était de 812.

La direction du CEAT prit conscience que cette situation exceptionnelle ne pouvait perdurer, et mit à l'étude un plan de résorption du « Détachement SOPEMEA » ; en parallèle, une proposition de réorganisation des activités Matériaux et Structures,

consistant à regrouper ces activités sur le seul site de l'Hers, fut élaborée par les deux chefs de groupe concernés (IPA Jean-Yves Normand et IPA Robert Finance).

Après de nombreux échanges entre la DTCA, la DMA (Délégation ministérielle pour l'armement) et les ministères concernés, un plan de résorption progressive fut approuvé en 1977. Il prévoyait la disparition du détachement avant 1983, grâce notamment à l'attribution de postes budgétaires par la DTCA (à ce moment, les mesures déjà prises en interne avaient permis de ramener à 194 l'effectif du détachement, et le plan prévoyait d'en intégrer 110).

L'épisode du « Détachement SOPEMEA » a eu un impact considérable sur le développement ultérieur du CEAT ; en permettant l'embauche de jeunes ingénieurs et techniciens, et en les mettant en situation de devoir faire face à une charge de travail considérable dans des délais imposés par les grands programmes (civils ou militaires), il a tout à la fois permis d'introduire des techniques nouvelles et d'implanter durablement une « culture d'entreprise » dans laquelle la recherche du résultat technique et économique, le service du client, en un mot la qualité de la prestation fournie sont prépondérants. Il a aussi permis d'augmenter de près de 40% le taux d'encadrement en niveau 1... et beaucoup d'anciens ingénieurs « SOPEMEA » devinrent d'éminents spécialistes ou des cadres importants du CEAT.

A4 - L'apport de la comptabilité industrielle

Dans le courant des années 1960, et après que les AIA ont été placés en « compte de commerce », la même évolution fut envisagée pour les centres d'essais de la DTCA.

La direction du CEAT prit cette éventualité très au sérieux, et décida de mettre en place un système comptable adapté, qui comprenait un module de comptabilité industrielle. Ce module permettait d'enregistrer de façon précise les consommations d'unités d'œuvre et de les porter rapidement à la connaissance des responsables effectifs de chaque commande élémentaire.

Ce système comptable, audité à plusieurs reprises par le Contrôle général des armées, fut dès 1971 jugé satisfaisant pour répondre au besoin de connaissance des coûts, des prix de revient des commandes, de la répartition des activités de l'établissement ainsi que de l'emploi des moyens humains et matériels.

En parallèle, le CEAT avait mis en place avec le STAé dès 1967 un protocole précisant les modalités d'information du Service sur les coûts des essais qu'il demandait au Centre, et les décisions qu'il pouvait prendre sur cette base : fixation d'un prix plafond au-delà duquel la poursuite d'un essai pourrait être mis à la charge d'un industriel, ou pourcentage des dépenses à la charge de l'industriel.

Le ministre avait fixé en 1972 un objectif de passage en compte de commerce au 1^{er} janvier 1974. Mais, la Cour des comptes ayant critiqué les conditions dans lesquelles le passage en compte de commerce de la Direction des constructions navales s'était effectué, et ayant souhaité voir adopter « d'autres solutions », cet objectif fut repoussé... puis abandonné.

L'effort fourni pour mettre en place ce système comptable ne fut cependant pas inutile : bien adapté à la structure des coûts de chaque laboratoire, accessible aux responsables effectifs de chaque commande, utilisé enfin dans le seul but de connaître les coûts sans objectif de récompense ou de sanction, ce système permit de développer de façon très pratique une véritable culture du résultat économique. Il

permet aussi d'apprendre à faire des devis réalistes, ce qui fut particulièrement utile dans la décennie 1970 avec la multiplication des programmes civils, pour lesquels il était indispensable d'établir des contrats ayant une bonne tenue.

Ce fut également un outil extrêmement formateur pour les jeunes ingénieurs militaires en début de carrière ; prenant souvent un poste en service technique en deuxième affectation, ils savaient ainsi décrypter les propositions de prix présentées par les industriels, et les négocier avec de meilleures bases.

A5 - Le CEAT et l'ENSICA

L'ENICA (Ecole nationale d'ingénieurs des constructions aéronautiques), transférée à Toulouse en 1961 sous l'autorité de l'IG Emile Blouin, et installée dans les locaux de l'ex-future Ecole vétérinaire qu'elle partageait avec l'EAT, put dès le début compter sur le soutien de cet établissement aussi bien au plan logistique que par la contribution apportée dans la constitution du corps enseignant.

Cette aide fut encore accentuée lorsque, en 1968, au départ de l'IG Emile Blouin, la DTCA confia la direction de l'Ecole à l'IG Marc Faury, déjà directeur du CEAT. La politique consistant à confier au même directeur la direction des deux établissements fut poursuivie avec l'IG Louis Pacaud puis l'IG Michel Dumas jusqu'en 1985, et se révéla très profitable pour l'Ecole ; car ces trois directeurs eurent effectivement à cœur de développer l'Ecole, à la fois quantitativement en augmentant l'effectif des promotions, que qualitativement. Admise dans les ENSI (Ecoles nationales supérieures d'ingénieurs) en 1969, elle devint rapidement l'Ecole la plus convoitée par les étudiants ayant réussi au concours commun. Forte de ce succès, l'ENICA fut rebaptisée sous le nom d'ENSICA (Ecole nationale supérieure d'ingénieurs des constructions aéronautiques) en 1979.

Pour permettre à l'Ecole de se développer, ces directeurs prirent des arbitrages toujours favorables en libérant des locaux occupés par le CEAT. Ils mirent largement à contribution les ingénieurs du Centre, en leur faisant prendre des responsabilités permanentes, ou en leur confiant la charge de mettre en place des modules d'enseignement importants. Louis Taurel puis Charley Giacometto furent nommés directeurs adjoints, Emile Blanc assura la fonction de directeur des Etudes en parallèle avec son activité de directeur technique du CEAT, avant que Claude Moreau, Claude Hervieu et Bruno Delor n'assument ce poste à plein temps. Le poste de secrétaire général fut confié à Maurice Basseguy puis à Pierre Cassagnavères, et en 1994 à Henri Texier au passage de l'Ecole dans le statut d'EPA (Etablissement public administratif).

Beaucoup d'enseignements furent assurés par les ingénieurs et techniciens du CEAT intervenant en tant que vacataires : aérodynamique, mécanique du vol, turbomachines, physique, électronique, asservissements, métallurgie, résistance des matériaux, fabrication et mécanismes... Les équipes d'enseignants, constituées au départ pour l'essentiel par des ingénieurs militaires, se renforcèrent par l'intégration progressive des jeunes ingénieurs civils recrutés par le contrat SOPEMEA.

Cette relation très étroite fut aussi très profitable pour le CEAT, en obligeant ses ingénieurs à approfondir leurs connaissances, à les tenir à jour, et à apprendre à les transmettre de façon structurée.

La collaboration étroite entre le CEAT et l'ENSICA, conduite dans un excellent esprit, ne s'arrêta pas en 1985, puisque les deux directeurs qui suivirent

(IG Pierre Sintès puis IG Jean-Louis Freson), qui avaient tous deux passé une partie de leur carrière au CEAT, maintinrent des relations étroites avec le CEAT.

Le rédacteur se souvient que, sortant de SUPAERO en 1968 et affecté au CEAT, il fut chargé par l'IGA Marc Faury et l'IC Emile Blanc de mettre en service les machines du laboratoire de Métallurgie (avec l'aide précieuse d'un ouvrier de laboratoire !), de créer les travaux pratiques de cette discipline, et d'intervenir en tant que répétiteur du professeur titulaire nouvellement recruté, l'IC Charles Apert. Les cours et les travaux pratiques furent assurés en 1969. Il fut ensuite intégré dans l'équipe de Résistance des matériaux, au sein de laquelle il put bénéficier de la compétence des deux maîtres qu'étaient l'IP Jean-Paul Perrais et l'IP Jean-Marie Fehrenbach. Il estime leur devoir beaucoup !

A6 – La direction de l'EAT et du CEAT

Les directeurs		Les directeurs techniques	
IGA Dellus	1948-1961	ICA Plenier	1961-1971
IGA Faisandier	1961	ICA Blanc	1972-1973
IGA Faury	1962-1971	ICA Dumas	1974-1977
IGA Pacaud	1972-1977	ICA Fehrenbach	1978-1984
IGA Dumas	1977-1985	ICA Duc	1984-1989
IGA Ripoll	1985-1991	ICA Naville	1989-1990
IGA Finance	1991-1996	ICA Finance	1991
IGA Pelosse	1997- 2000	ICA Freson	1991-1995
IGA Berthet	2000-2003	ICA Costes	1995-1999
IGA Fourure	2003-2007	ICA Ramette	1999-2002
IGA Osterroth	2007-	ICA Bouchet	2002-2005
		ICA Gautrot	2006-2008
		ICA Baroux	2008-

BIBLIOGRAPHIE

Jean Simonnot et Michel Baillet, *Le CEAT, des essais et des hommes*, CEAT, 1999.

Ouvrage collectif : *L'industrie aéronautique et spatiale française*, GIFAS, 1984.

Documents divers recueillis au Centre d'archives de l'armement (Châtelleraut) par l'IGA Monlibert :

- Rapport d'enquête de l'Inspection générale des services techniques de l'aéronautique, IGA Brissot, janvier 1959.
- Etude des effectifs de l'EAT et des besoins pour 1966, ICA Faury, 14 décembre 1965.
- Note DTCA 18809 au STAé et au CEAT approuvant les dispositions du projet de protocole concernant le financement des essais, IGA Garry, 29 novembre 1967.
- Fiche 94/DPAI proposant une stratégie relative à l'implantation de nouveaux moyens d'essais aérodynamiques, et notamment d'une soufflerie basse vitesse pressurisée, 9 juin 1971.
- Note 9070/DTCA faisant état de la position de la DTCA sur le projet de soufflerie subsonique à densité variable, IG Soissons, 13 juin 1971.

- Note DTCA 800329 au Délégué général pour l'armement transmettant le plan établi par le CEAT et proposé par la DTCA pour mettre un terme au contrat d'assistance SOPEMEA, IGA Georges Bousquet, 17 février 1977.
- Note 027507 du ministre de la Défense au Délégué général pour l'armement approuvant le plan de résorption progressive du personnel SOPEMEA, Yvon Bourges, 20 juin 1977.
- Décision 2144/DTCA relative au transfert des activités du LEA de Brétigny au CEAT, IGA Georges Bousquet, 23 février 1979.
- Instruction 9334/DTCA/D définissant les attributions et missions du CEAT, IGA Georges Bousquet, 27 août 1979.

Note 101090 du Délégué général pour l'armement à la DTCA approuvant le lancement de la deuxième tranche des bancs d'essais de systèmes de conditionnement d'air au CEAT, Henri Conze, 5 août 1993.

Témoignage de l'IC Perrais.

Documentation personnelle de l'IG Finance.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie chaleureusement Georges Bousquet, Jean-Marie Fehrenbach, Jean-Louis Fréson, Christiane Galy, Jean-Paul Perrais, Richard Molinié, et Bernard Osterroth pour l'aide apportée dans la rédaction de ce chapitre.



Fig. 1

Essai dynamique de l'atterrisseur principal Armagnac au Toboggan (1949)

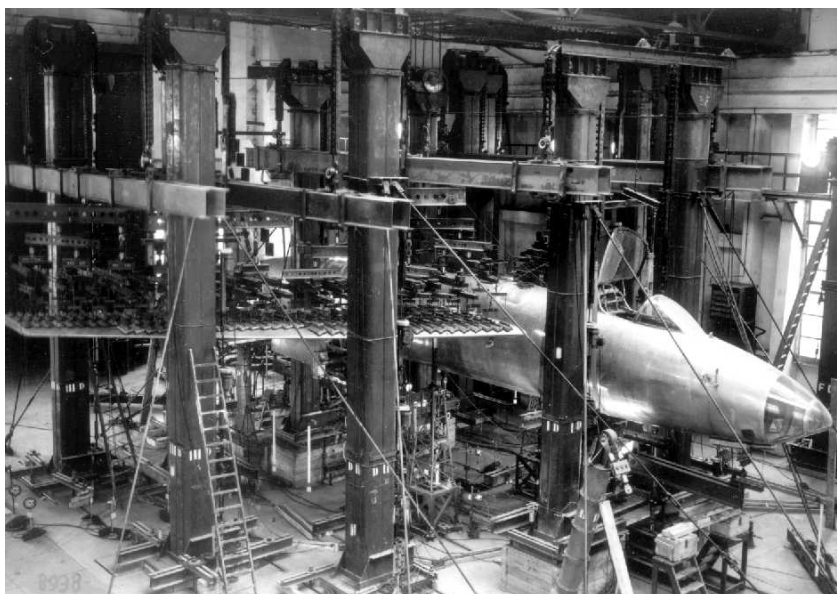


Fig. 2

Essais statiques de l'avion Vautour avec installation d'essais CTW, dans le hall RE3



Fig. 3

Essai de fatigue Caravelle dans la cuve à eau (1956)

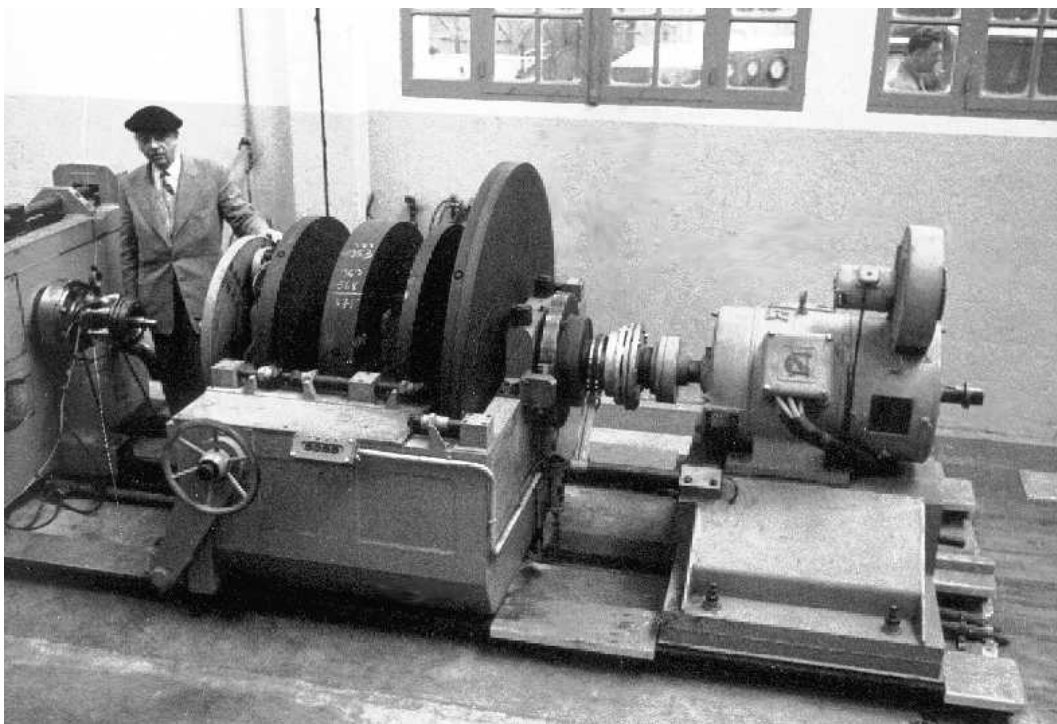


Fig. 4

Machine d'essais de freins EAT (en 1957)

COMAERO

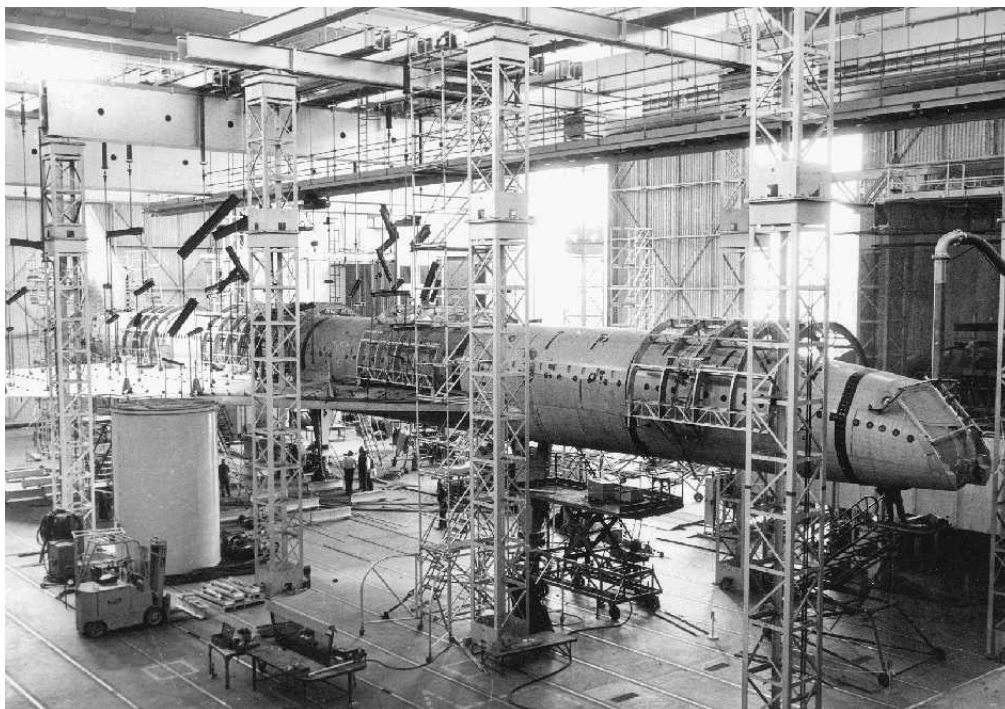


Fig. 5

Essai statique Concorde dans le grand hall d'Hers (1968)

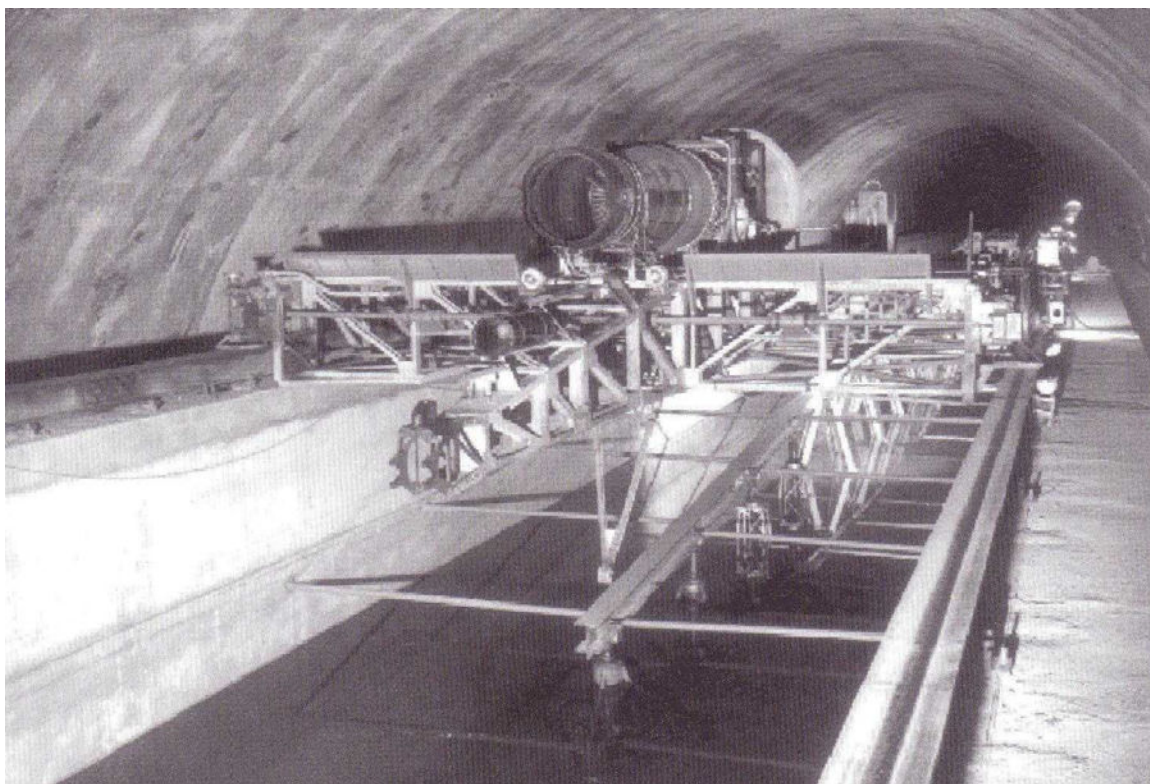


Fig. 6

Essai dynamique de la crosse d'appontage de l'Etendard au tunnel (1970)



Fig. 7

Essai statique à chaud sur radôme de Mirage F1 (1970)

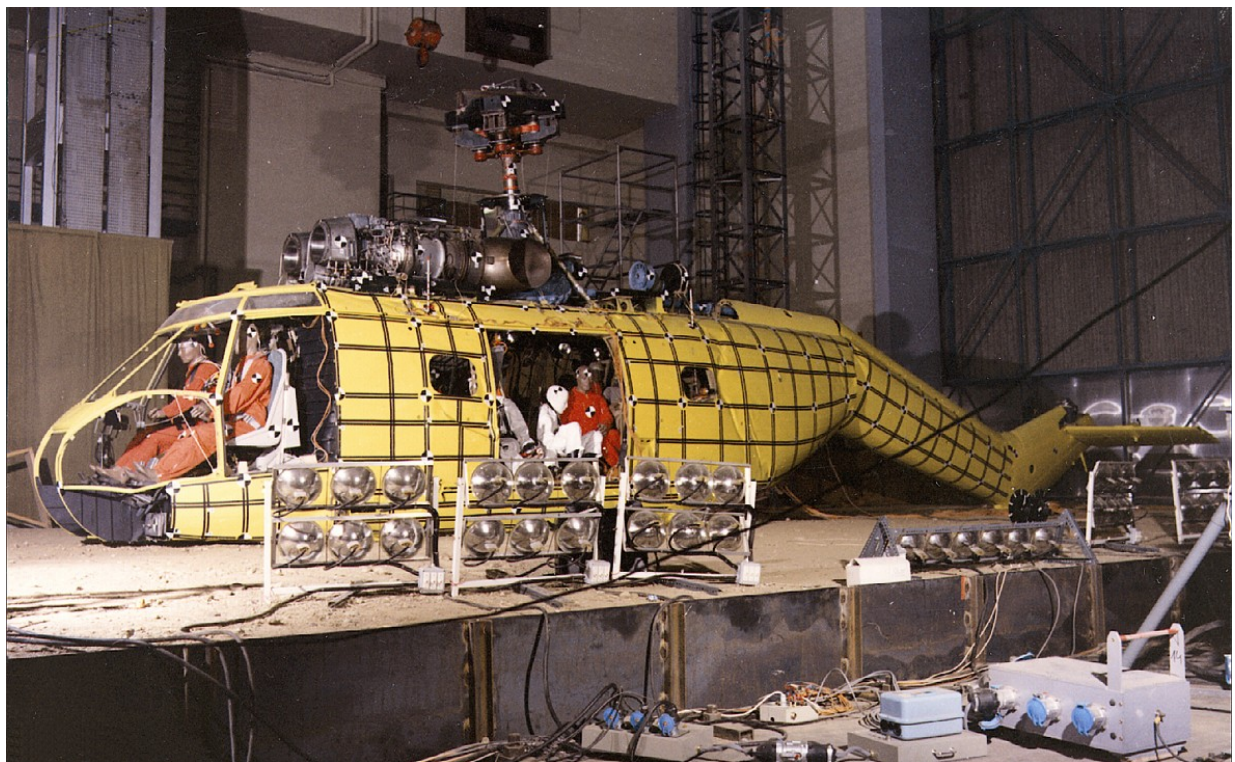


Fig. 8

Simulation de crash d'un hélicoptère Puma (1978)



Fig. 9

Machine d'essais de pneumatiques Repiquet (1972)

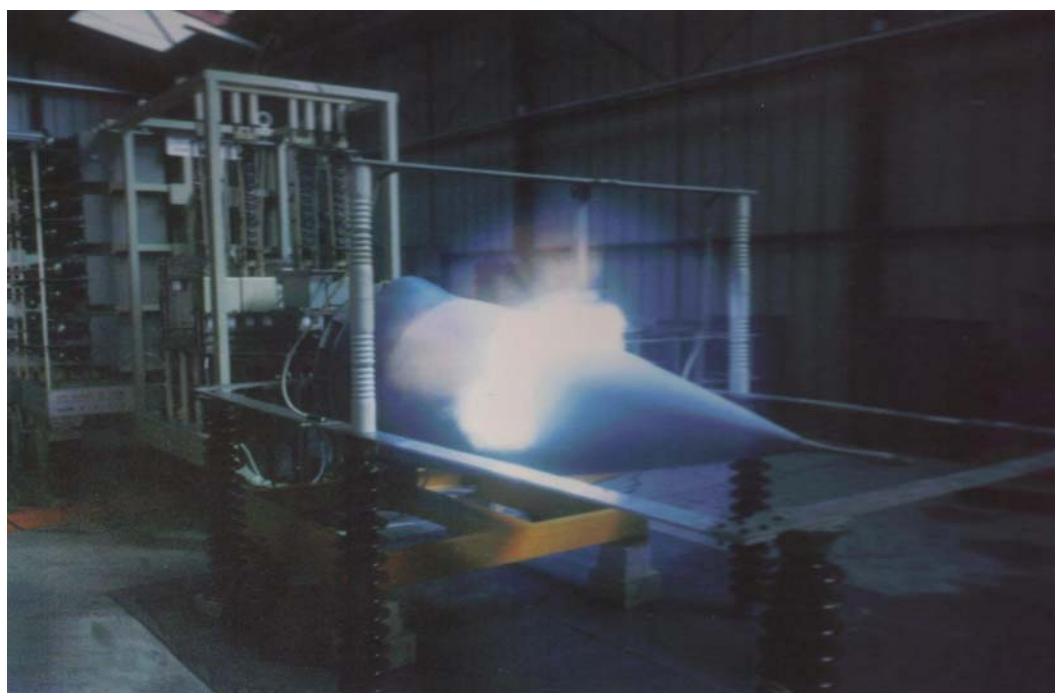


Fig. 10

Choc de courant sur radôme de Mirage 2000



Fig. 11

Banc de simulation d'éjection Windblast (1992)



Fig. 12

Essai en traction d'un panneau d'intrados ATR42 sur machine horizontale Schenck (1982)



Fig. 13

Essai dynamique de l'atterrisseur auxiliaire Rafale M sur machine SILAT (1992)

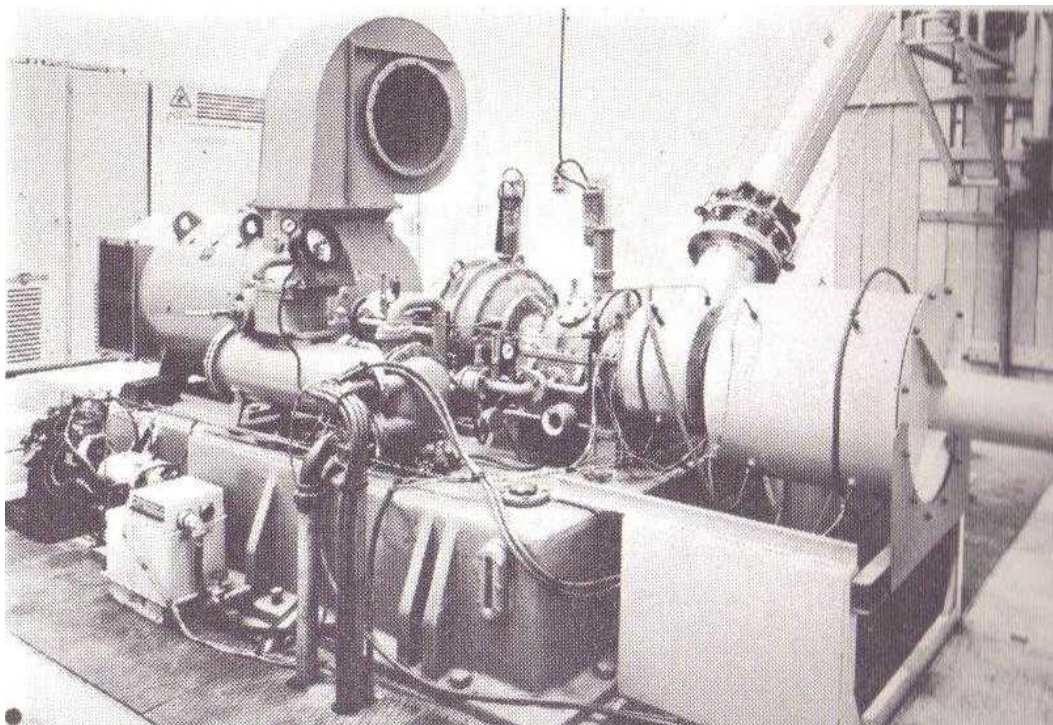


Fig. 14

Banc d'essais électriques 400 kW, 60 000 t/mn (1970)



Fig. 15

Essai du système hydraulique de commande d'empennage horizontal Airbus 340 (1991)

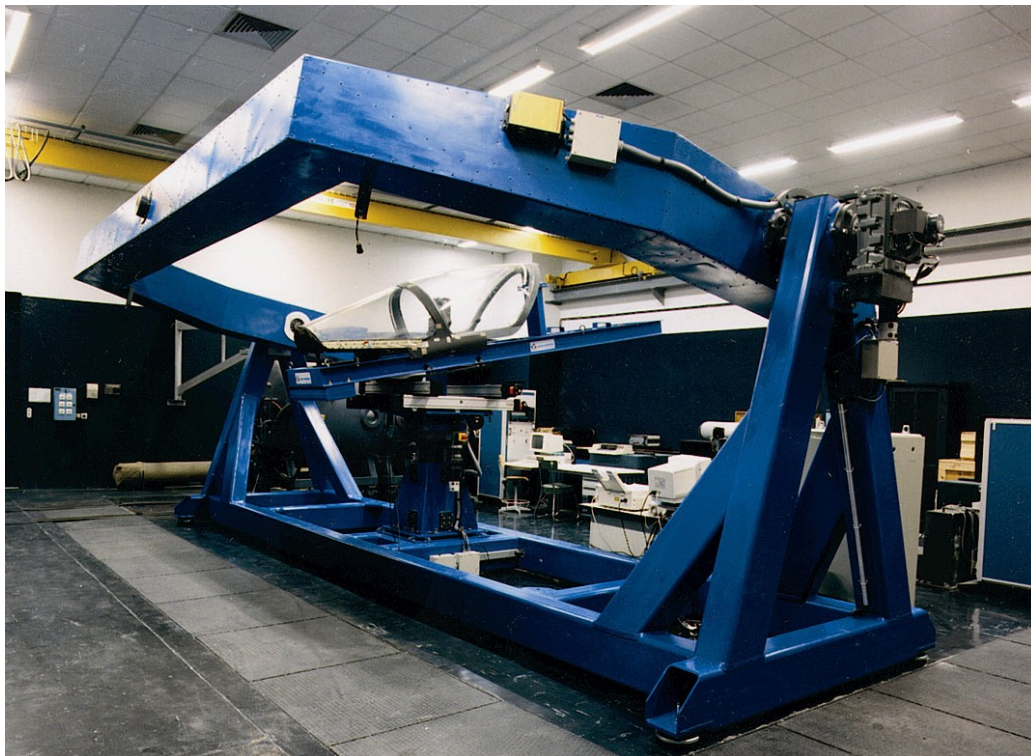


Fig. 16

Banc de mesures de déviations optiques sur verrières SAMOVAR (1993)

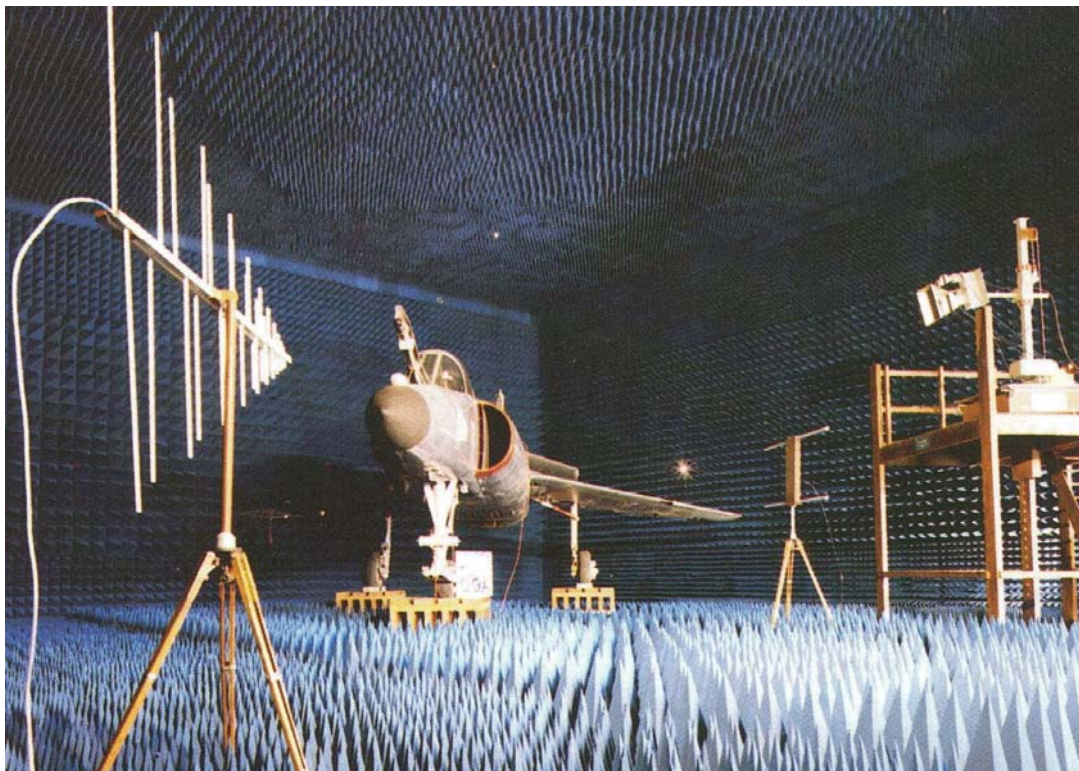


Fig. 17

Agressions électromagnétiques sur Super-Etendard (1992)

CHAPITRE 3

Le CEPr (Centre d'essais des propulseurs)¹

AVERTISSEMENT

L'histoire du CEPr est intimement liée à celle des moteurs aéronautiques. Le CEPr a été créé, puis développé, entretenu, amélioré, pour apporter une contribution nécessaire à la mise au point des moteurs aéronautiques, tant civils que militaires, dont il a accompagné pas à pas les progrès technologiques et les programmes d'études et de réalisation. Tous les moteurs aéronautiques, à usage civil ou militaire, développés en France depuis l'après-guerre sont passés par le CEPr. Expliquer l'histoire du CEPr nécessiterait donc de retracer celle des moteurs aéronautiques en France. Pour éviter des redites inutiles, cette dernière n'est pas rappelée ici : le lecteur se reportera à l'ouvrage que le COMAERO a précédemment consacré à ce sujet, ouvrage publié en 2005 sous la coordination de Michel Lasserre.

A noter que le CEPr a changé de nom en 2010 pour devenir DGA Essais propulseurs, le changement de nom ayant été décidé pour marquer son appartenance à la DGA (tous les autres centres de la DGA ayant également pris un nom en DGA xxx).

1 - LES ORIGINES DU CEPR

L'idée de créer des moyens spécifiques d'essais au sol de moteurs aéronautiques remonte à la naissance même de l'aviation en France. C'est dans le parc de Chalais-Meudon, berceau de l'aérostation militaire, que fut édifiée en 1916, en pleine guerre mondiale, la Station d'essais de moteurs, organisme dépendant de l'Etablissement d'expériences techniques. Il s'agissait à l'époque de bancs d'essais rudimentaires, en plein air, et de modestes baraques en bois (figure 1). Leur vocation était de permettre l'évaluation des moteurs au profit de l'Etat, dont le rôle fut central dès les balbutiements de l'aviation militaire.

La paix revenue, fin 1918, vit l'essor de l'aviation sous toutes ses formes modernes. Les grands raids aériens, la création de lignes commerciales à longue distance, les nouveaux concepts militaires en matière de défense aérienne et d'attaque au sol, tout concourrait alors à une course aux performances.

Très vite, il s'avéra que les progrès, particulièrement dans le domaine des moteurs, n'étaient possibles qu'à condition de disposer de moyens d'essais importants et regroupés afin de pouvoir les adapter rapidement à l'évolution rapide des besoins et des techniques.

La construction à Orléans-Bricy d'un Centre d'essais des moteurs (CEMO), lancée en 1937, devait répondre à cette préoccupation. Un important chantier fut entrepris, incluant une première installation simulant l'altitude. Celle-ci cependant visait exclusivement les essais de moteurs à pistons.

¹ Par Bruno Debout.

La guerre survenant, les équipes d'essais de Chalais-Meudon rejoignirent précipitamment Orléans-Bricy. Mais le sort voulut que le centre fût détruit par les bombardements allemands dès 1940. Les rescapés, avec le matériel récupéré, se regroupèrent à Vernet-les-Bains, dans les Pyrénées-Orientales, où malheureusement une inondation anéantit une grande partie de leurs efforts, puis à Saint-Etienne, où s'élabora l'avant-projet d'un centre destiné à remplacer celui d'Orléans-Bricy.

La libération de la France, en 1944, permit le regroupement des éléments de la Direction technique et industrielle de l'aéronautique (DTIA) ainsi que ceux des centres d'essais, dispersés en province.

C'est ainsi que le Centre d'essais des moteurs se reconstitua à Chalais-Meudon et devint le Centre d'essais des moteurs et des hélices (CEMH), sous la direction de l'Ingénieur Général François Ricard. Il rejoignait d'autres grandes installations que ce qui deviendra plus tard l'ONERA (Office national d'études et de recherches aérospatiales)² y avait construites, à partir de 1932.

Concernant les moyens d'essais des moteurs, tout était à reconstruire : sur le site de Chalais-Meudon, on re-créa une rangée de bancs d'essais de moteurs à pistons à l'air libre, avec des cabines de conduite en bois. Deux petits bâtiments abritaient le Service des essais de laboratoires et quelques bureaux. D'autres bancs d'essais de moteurs contrôlés par le CEMH existaient, notamment à Bois-Colombes et Boulogne-Billancourt. Cette situation entraînait une dispersion du travail des équipes.

Ceci n'était évidemment pas satisfaisant. De plus, les installations d'Orléans-Bricy étant difficilement récupérables, la nécessité de construire un nouveau centre d'essais devint évidente. Donc, décision fut prise de demander au Service installations du CEMH de préparer la création d'un nouveau centre d'essais.

- *La nécessité de moyens d'essais au sol des turboréacteurs*

Au cours de la guerre, la France n'avait pas pu participer aux importants progrès réalisés dans les autres nations (Allemagne, Grande-Bretagne, Etats-Unis, Japon). Surtout, la France avait été exclue du développement du nouveau type de moteur, le turboréacteur, et il fallait d'urgence combler le retard pris.

Pour répondre à ce défi, l'État décida la création de la SNECMA (Société nationale d'études et de constructions de moteurs d'aviation), puis signa en avril 1946 un contrat avec le « Groupe O », dirigé par l'ingénieur allemand Herman Oestrich, ex-directeur technique de la branche turboréacteurs des usines BMW (*Bayerische Motoren Werke*), installé à Rickenbach près de Landau en zone française, pour l'étude du turboréacteur ATAR101 avec le soutien technique de la SNECMA ; ce Groupe O fut transféré à Decize dès 1946, puis intégré à la SNECMA en 1950.

Le premier moteur ATAR101 fonctionna en mars 1948 à Villaroche. Il fut testé en vol à partir de novembre 1951 sur un quadrimoteur Languedoc SE161 (figure 2) transformé en urgence en « banc volant », un mois avant de propulser en vol un avion monomoteur MD450 Ouragan.

² Voir le chapitre 13 de ce document.

Tout ceci, fait dans l'urgence pour combler en partie le retard pris pendant la guerre, n'était cependant pas suffisant, sur le long terme, pour redonner à la France sa place dans cette industrie des moteurs d'avions.

Le fonctionnement des moteurs à réaction dépend en effet fortement des conditions de vol, notamment :

- des conditions thermodynamiques à l'entrée du moteur (compresseur), liées au nombre de Mach et à l'altitude de vol ;
- du rapport de détente du jet dans la tuyère d'éjection.

Mettant en jeu des phénomènes complexes et pas toujours bien maîtrisés, aussi bien aérodynamiques que mécaniques, la mise au point des réacteurs nécessite des essais dans des conditions aussi proches que possible de leur utilisation prévue.

Des essais sur avions porteurs, utilisés comme *bancs d'essais volants*, sont possibles, comme l'a montré l'expérience menée sur le Languedoc SE 161. Mais tant du point de vue des risques (il n'était pas rare de voir des moteurs exploser) que de celui des coûts, la solution *banc d'essais volant* n'était pas satisfaisante. Il fallait des installations au sol capables de simuler l'environnement du réacteur en vol.

De telles installations mettent en jeu d'énormes puissances. Elles doivent être pilotées avec une grande précision car il y a une corrélation permanente entre le fonctionnement du réacteur en essai et les conditions de vol - débit et température d'air - à lui fournir pour maintenir les conditions de vol exigées par chaque point d'essai. Elles sont donc extrêmement complexes et coûteuses. Aussi a-t-il été convenu dès le départ, en 1945, que les industriels motoristes français ne posséderaient pas leurs propres installations, et que le nouveau centre étatique regrouperait l'ensemble des installations nécessaires et les mettrait au service des industriels autant que nécessaire pour leurs propres travaux de mise au point des moteurs. Le centre étatique aurait donc une double mission, une mission étatique traditionnelle, et une mission industrielle en liaison directe avec les compagnies motoristes.

Ce choix, consistant à regrouper les moyens dans un seul et unique centre, n'a pas été fait par les Etats-Unis d'Amérique et la Grande-Bretagne. Aux USA, il fut construit à Tullahoma un très grand centre contrôlé par l'US Air Force, mais on construisit également des installations puissantes chez les deux grands constructeurs, Pratt&Whitney et General Electric. En Grande-Bretagne, on construisit un centre étatique à Pyestock, comparable au CEPr, mais on équipa également Rolls-Royce de moyens puissants. Le choix fait en France était dicté par des critères économiques, compte tenu de la situation de la France et de son industrie après les destructions de la guerre et des immenses besoins pour la reconstruction. Cette orientation a été maintenue, depuis, pour l'essentiel.

Cette décision une fois prise, il fallait trouver un site capable d'accueillir ces installations, dont on prévoyait le fort développement ultérieur, et qui nécessitait à la fois de l'espace (les essais sont plutôt bruyants !) et de grandes réserves d'eau capables d'assurer le refroidissement des machines importantes nécessaires à la simulation des conditions de vol. Ces conditions existaient sur le plateau de Saclay (figure 3), grâce à la présence des étangs réalisés au XVII^e siècle pour drainer les eaux du plateau de Saclay et créer une réserve destinée à alimenter les bassins de Versailles. De plus, ce site présentait le double avantage d'être contigu au *fort de Villeras* (le fort de Villeras, vaste ensemble de constructions semi-enterrées, faisait

partie d'un ensemble édifié entre 1874 et 1881 pour défendre Paris), déjà domaine public, et d'être en région parisienne, proche de la plupart des industriels motoristes.

L'acte fondateur du CEPr fut donc un décret du 9 août 1946 (figure 4), signé au nom du président du gouvernement provisoire de la République, Georges Bidault, par MM. Jules Moch, ministre des Travaux publics et des transports, et Charles Tillon, ministre de l'Armement. Ce décret déclarait *d'utilité publique et urgente l'acquisition de terrains, sur le territoire des communes de Saclay et de Bièvres, pour l'installation d'un centre d'essais des moteurs et des hélices*.

Immédiatement, architectes et ingénieurs se mirent au travail pour concevoir le nouveau centre d'essais sur le site de 62 hectares³ qui lui était ainsi consacré. Outre sa vocation principale, qui, comme indiqué plus haut, était de développer les moyens lourds nécessaires à la mise au point *en vol simulé* des réacteurs, il fut décidé que le nouveau centre devait aussi regrouper les installations conventionnelles d'essais au sol, auparavant dispersées, ainsi que les laboratoires nécessaires pour effectuer les analyses spécifiques aux moteurs (carburants, matériaux, etc.). Il s'agissait donc de créer un grand « centre d'essais des propulseurs », capable de répondre à l'ensemble des besoins du développement industriel et des contrôles et évaluations étatiques des moteurs d'avions.

Dès 1948, les premiers bancs d'essais, en condition « sol », furent mis en service (figure 5). Il s'agit de grands bancs capables d'effectuer l'essai du moteur muni de son hélice. Déjà soucieux des problèmes de bruit et d'environnement, les ingénieurs installent ces bancs dans les fossés du fort de Villeras. En 1952 fut mis en service le premier banc pour turboréacteur T2 (T, comme turboréacteur), qui vit les essais de la première génération de moteurs à réaction d'après-guerre, tels que le Nene⁴, le Tay⁵, le Verdon⁶ et les premiers ATAR. En mars 1951, les laboratoires furent transférés de Chalais-Meudon à Saclay (figure 6). En 1953 la toute première installation de conditionnement d'air, appelée « bâtiment A », fut achevée. Inspirée de réalisations allemandes, cette installation relativement modeste n'était capable de conditionner qu'un débit d'air de 2 kg/s jusqu'à -40°C. Mais cette installation, seulement apte en l'état à la réalisation d'essais en altitude simulée de moteurs à pistons, devait surtout servir de maquette pour la réalisation ultérieure des grandes installations qui, capables de traiter un débit 100 fois supérieur, répondront pleinement aux besoins des turboréacteurs en développement à cette époque.

L'histoire du CEPr est ensuite une suite ininterrompue de rénovations et d'investissements nouveaux destinés à maintenir les capacités d'essais au niveau requis par les progrès des moteurs, parallèlement, bien sûr, avec la réalisation des essais eux-mêmes, dans le cadre des programmes de moteurs successivement développés en France, qui tous, militaires ou civils, sont passés dans ses installations. On peut distinguer les trois grandes étapes suivantes.

³ 250 hectares, avec les étangs.

⁴ La rivière Nene est une rivière de l'est de l'Angleterre. Conçu en 1944, le Nene ou Rolls-Royce RB41 est l'un des premiers turboréacteurs fabriqués en série par Rolls-Royce.

⁵ La Tay est une rivière écossaise. Le Rolls-Royce RB44 Tay est une extrapolation, avec réchauffe (post-combustion), du RB41 Nene.

⁶ Rivière française. A donné son nom à un turboréacteur dérivé du Tay, construit sous licence par la société Hispano-Suiza.

2 - DE LA CREATION JUSQU'AUX ANNEES 70 : LA MISE EN PLACE DE L'OUTIL

2.1 - La source d'énergie

On avait pensé, à l'origine, recourir à l'électricité. Mais, à la sortie de la guerre, la production électrique pour la région parisienne était insuffisante. Et, en pleine reconstruction, la priorité était d'équiper la population. Il aurait fallu construire une ligne spéciale à longue distance pour alimenter le Centre. On se tourna donc vers la vapeur. Il fut décidé de créer sur place une centrale de production de vapeur et d'utiliser des turbines à vapeur pour entraîner les compresseurs d'alimentation d'air et les compresseurs d'extraction des gaz brûlés. On se tourna naturellement vers l'Etablissement des constructions navales d'Indret qui fournit les six chaudières du porte-avions désaffecté *Joffre* et deux chaudières du *Montcalm* qui avait été coulé en rade de Toulon. Au total, ces groupes de chaudières, alimentés en fuel lourd à basse teneur en soufre, pouvaient fournir une puissance de 75 MW (figure 7). D'utilisation souple, ils remplirent leur mission pendant de nombreuses années malgré des conditions d'utilisation très différentes de celles pour lesquelles ils avaient été conçus.

2.2 - Les moyens d'atmosphérisation⁷

Parmi les moyens lourds mis en place pendant cette première période du CEPr, il convient de mentionner l'installation des groupes de compresseurs et extracteurs TA-TB de 26 MW chacun, réalisés par la société Rateau en 1960 (figure 8). Ces compresseurs, dont la mise au point demanda de nombreux efforts, étaient les premiers de cette taille réalisés en France.

2.3 - Les caissons d'essais

Les premiers grands caissons d'essais en vol simulé ont été construits dans les *halls sud* et *central* entre 1954 et 1956, associés à une première série de groupes d'extraction d'une puissance de 7 MW (figure 9).

Le premier essai, en vol simulé, d'un réacteur complet a été réalisé sur un réacteur ATAR G de la SNECMA en juillet 1957 dans le caisson R1. Cet essai avait cependant été précédé en novembre 1956 par un essai de compresseur ATAR 101 D au banc C1.

La construction des autres grands caissons, nécessaires pour assurer le plan de charge d'essais nécessité par les différents programmes de moteurs en cours de développement, se poursuivit à un rythme soutenu : caisson S1 en 1958, caissons R3 et R4 peu après, et enfin R5 en 1962 et R6 en 1965 (figure 10).

Ces deux derniers caissons (qui devaient initialement s'appeler S2 et S3 car ils étaient prévus pour essayer des statoréacteurs à Mach 4) se distinguent par leurs très grandes dimensions. Ils ont été notamment utilisés pour la mise au point du système propulsif du Concorde (moteur Olympus 593) (figure 11) et pour les essais en jet libre des entrées d'air. Ils ont aussi été utilisés pour des essais de motorisation du missile ASMP (Air-sol moyenne portée) (figure 12), et, plus récemment, du

⁷ L'Annexe 1 présente succinctement les principes de réalisation des vols simulés.

statoréacteur VESTA (Vecteur à statoréacteur), prédéveloppé au profit des projets ASMPA et ANF (Antinavire futur ; programme suspendu à la fin 1999). Le caisson R6 s'est également montré particulièrement bien adapté aux essais de givrage.

2.4 - Les essais de fusées

Lorsque le gouvernement français décida, en 1958-1959, de constituer une force de missiles balistiques stratégiques, une des premières préoccupations était de mettre en place les moyens d'essais nécessaires.

Il fut dans un premier temps décidé que les nouvelles installations en cours de réalisation à Saclay devaient contribuer à la mise au point de tels propulseurs. Afin de faire percevoir l'étendue de ses nouvelles missions, le centre d'essais, qui jusque-là portait le nom de Centre d'essais des moteurs et des hélices (CEMH) devint le Centre d'essais des propulseurs (CEPr) par arrêté ministériel du 28 mai 1959.

Le tout nouveau CEPr se vit immédiatement confier la mission d'assurer la réalisation et l'exploitation d'un champ de tir à implanter sur un vaste terrain que possédait la Poudrerie nationale à St-Médard-en-Jalles (Gironde). Les premiers travaux sur ce site, devenu annexe du CEPr, commencèrent dès avril 1961. Rapidement, il apparut nécessaire que des équipes des principaux industriels concernés (Nord-Aviation, Sud-Aviation, SEP, etc.) s'installent également sur le site pour y mener, sous la maîtrise d'œuvre de la SEREB (Société d'études et de réalisations d'engins balistiques), leurs activités de montage et d'achèvement des principaux sous-ensembles des futurs missiles.

En août 1964, un marché fut passé par l'Etat à la SEREB, qui créait le CAPE (Centre d'achèvement des propulseurs et engins) et lui en confiait la gérance. Les activités essais et achèvement se développaient désormais dans deux établissements proches mais distincts : l'annexe du CEPr d'un côté, le CAPE de l'autre. En avril 1966, le CAPE devint un établissement à part entière de la Direction technique des engins (DTEn). La réunion de ces deux établissements intervint finalement en janvier 1967 sous le nom de Centre d'achèvement et d'essais des propulseurs d'engins (CAEPE)⁸.

Simultanément, face à l'urgence, se développèrent à Saclay plusieurs moyens d'essais pour les tirs de fusées en « atmosphère raréfiée » simulant les conditions de fonctionnement en altitude, entre autres pour de gros propulseurs de 1 500 mm de diamètre. Il s'agissait de profiter des moyens en place à Saclay en matière de simulation des conditions de vol en altitude.

Ce furent d'abord le banc K3 situé dans le hall nord, puis le banc F1 (figure 13) et l'installation dite « Silo SEREB » (destinée à la mise au point de la sortie de la fusée de son silo), implantés à l'écart des autres bancs (figure 14).

Le tout premier tir sur un bloc de poudre RITA I eut lieu en juillet 1965, le dernier sur RITA II en novembre 1970 : l'altitude simulée était supérieure à 30 km avec une pression maintenue dans le caisson du banc F1 en dessous de 1 kPa (un centième de la pression atmosphérique) pendant toute la durée du tir.

Le CEPr réalisa aussi des essais de moteurs-fusées aéronautiques à carburant et comburant liquides. Jusqu'en 1966, des essais du moteur du Trident, puis ceux des

⁸ Voir le chapitre 9 de ce document.

moteurs-fusées d'appoint du Mirage III, eurent lieu dans un banc dédié spécialement à cette activité, situé en bordure de l'étang.

Naturellement, ces essais de fusée, dont l'impact sur l'environnement (émissions acoustiques et gazeuses) est fort, disparurent complètement du site de Saclay au profit de celui de Saint-Médard, dont la situation était beaucoup mieux adaptée.

2.5 - Les essais de composants

Les grandes installations d'atmosphérisation, dont la vocation première était de permettre les essais de propulseurs complets en condition de vol simulé, permettaient également d'étudier le fonctionnement des différents sous-ensembles d'un turboréacteur : compresseur, chambre de combustion, turbine, canal de post-combustion, moyennant des adaptations relativement simples. Il devenait donc possible de procéder à des travaux de recherche et développement dans des secteurs spécialisés avant de lancer le développement d'un moteur complet, limitant ainsi considérablement les risques techniques, les coûts et les délais de tels développements. Ces essais dits « partiels » permettaient aussi, et c'est un point capital, de fixer au meilleur niveau possible, en améliorant l'état de connaissance des technologies les plus critiques, les objectifs de performance des nouveaux propulseurs de la génération suivante.

2.5.1 - Essais de chambres de combustion

Ces essais avaient débuté dès 1954 dans les bancs K1 et K2, puis K3, à des niveaux de pression modestes, de l'ordre de 5 bars, mais la conception des moteurs ayant subi un saut technique brutal, les projets bancs K4 et K5, de même classe, furent abandonnés pour faire place à une étude de bancs beaucoup plus performants à la pression de 25 bars, qui aboutit à la réalisation des bancs K6 et K7 mis en service en 1969 (figure 15). Ceci nécessita la mise en place d'un nouveau groupe de compression, désigné BBO (*Brown Boveri Oerlikon*), entraîné par des moteurs électriques et associé à un réchauffeur. Cette installation permettait d'atteindre 25 bars et 580°C pour un débit de 25 kg/s.

2.5.2 - Essais de compresseurs

Partie complexe essentielle des turbomachines, tant du point de vue des performances que de la sécurité en vol, les compresseurs ont fait l'objet d'essais spécifiques très tôt au CEPr. Les bancs construits à cette fin, très utilisés jusqu'aux années 70, ont eu ensuite des fortunes diverses. Le banc C1 est devenu un caisson d'essais de petites turbomachines comme le TRI60, petit turboréacteur de la société Microturbo (qui a donné lieu à une famille qui propulse notamment l'engin cible C22 d'Aérospatiale, ou les missiles de croisière Apache et Scalp/Storm Shadow), et les APU (*Auxiliary Power Unit*) de diverses sortes.

Le banc C2 a aussi été utilisé pour des essais de petites turbomachines.

Ultérieurement, en 1979, un grand banc C3 a été réalisé pour les essais de compresseurs CFM56, dont la SNECMA avait la responsabilité dans le cadre de sa collaboration avec General Electric (voir plus bas).

2.5.3 - Essais de turbines

Les moyens du CEPr, permettant de produire des conditions thermodynamiques représentatives, ont également été mises à profit pour des essais de turbines. C'est ainsi qu'a été mis au point avec la SNECMA, en 1969, le banc TU qui a permis d'importantes études d'aubes de turbine refroidies, élément clé du développement des turboréacteurs modernes (figure 16). Ces essais ont été possibles grâce à une instrumentation mise au point par l'ONERA.

Cependant la grande complexité de ce type d'essais, qui nécessitent à la fois des conditions thermodynamiques extrêmes (l'entrée de la turbine est le point le plus chaud et le plus comprimé du turboréacteur ; on y atteint des températures supérieures à la température de fusion des métaux utilisés !), et la nécessité de freins extrêmement puissants pour absorber l'énergie considérable produite par la turbine en essai, tournant de plus à très grande vitesse, a conduit à ne pas développer ce type d'essais, la mise au point des turbines étant alors conduite sur ensemble compresseur-chambre de combustion-turbine (moteur complet ou corps HP seul) : ce fut le cas notamment du programme DEXTRE (Développement exploratoire de turbine refroidie), lancé à la fin des années 70 dans le cadre des développements exploratoires préliminaires au lancement du moteur M88.

2.5.4 - Essais de givrage

Les grands moyens d'atmosphérisation, notamment les systèmes de réfrigération, ont également été mis à profit pour réaliser des essais de givrage. On sait en effet les risques qu'entraînent, pour tous les objets volants, les conditions givrantes : modification des formes aérodynamiques entraînant de fortes pertes de rendement, ingestion de blocs de glace pouvant entraîner l'extinction des moteurs ou même des ruptures mécaniques. Ces phénomènes complexes et très instables sont difficiles à appréhender par le calcul. De plus, les essais en vol sont dans ce domaine particulièrement délicats, faute de pouvoir trouver dans l'atmosphère les conditions stables et reproductibles nécessaires pour faire des essais en toute sécurité.

Dès 1958 quelques tentatives eurent lieu pour reproduire de façon rudimentaire des nuages givrants, mais c'est à partir de 1962 que le CEPr acquit véritablement cette technique à l'occasion d'essais en vol simulé en caisson : essais du turboréacteur britannique Viper 520 monté dans sa nacelle, du turbopropulseur Turboméca Astazou II (pour l'avion Potez 840), du Turboméca Bastan VI. C'est ainsi qu'en 1965 le CEPr fut à même de réaliser la mise au point et la certification en givrage des nacelles propulsives du Mystère 20.

Cette technique de simulation est très délicate. En effet, de nombreux paramètres entrent en jeu : outre les conditions de vol (altitude, température, vitesse), il faut agir sur le débit, la température et la forme des gouttelettes d'eau injectées en amont du matériel en essais au travers de grilles de géométrie complexe. Par la suite, au fil des années, cette technique d'essais s'est progressivement améliorée tandis que les matériels essayés se diversifiaient : éléments de voilure ou d'empennage, éléments de rotors et surtout entrées d'air de turbomoteurs d'hélicoptères (figure 17).

2.5.5 - Essais acoustiques

L'étude des niveaux sonores s'est rapidement avérée nécessaire dès l'apparition du turboréacteur et le développement de l'aéronautique moderne, tant civile que

militaire qui a suivi. L'étude du rayonnement acoustique est donc devenu un impératif dans le développement de tout réacteur ou turbomoteur. C'est en 1966 que fut créée une première chambre sourde, permettant des mesures sur des ensembles propulsifs dans les conditions du point fixe au sol (figure 18). Les silencieux du Concorde, entre autres, y furent étudiés.

2.6 - Les bancs d'essais au sol

On l'a vu, les premiers bancs d'essais de moteurs aéronautiques étaient des « bancs d'essais au sol ». Ces dispositifs relativement simples permettaient des essais réalistes des moteurs à pistons, dont les domaines de vol étaient très limités.

Pour les turboréacteurs, dont les domaines de vol beaucoup plus larges rendent nécessaire de développer des installations de simulation du vol, des moyens d'essais au sol restent malgré tout encore nécessaires. Il faut en effet vérifier les conditions de fonctionnement du moteur dans les conditions « sol », qui sont aussi celles du décollage, mais aussi et surtout, ces bancs d'essais au sol, beaucoup plus simples que les caissons d'essais en vol simulé, permettent des essais infiniment moins coûteux. Aussi y fait-on la majorité des essais dits « d'endurance », destinés à vérifier la bonne tenue du moteur en fonction de son vieillissement. De tels essais sont donc systématiquement prévus pendant le développement des moteurs nouveaux. Notamment, les essais officiels de qualification comprennent toujours des essais permettant de vérifier la tenue des performances minimales en fonction du programme de maintenance imposé. Ce type d'essais est également conduit ensuite, pendant toute la vie d'un moteur, pour valider les nombreuses modifications qui ne manquent pas d'intervenir.

Comme indiqué plus haut, les premiers bancs d'essais étaient des bancs-sol construits, entre 1948 et 1953, dans les fossés du fort de Villeras. Dans les années 60, avec la perspective d'un accroissement notable des puissances en jeu, il est apparu nécessaire de sortir des fossés trop étriqués du fort pour aller construire des installations plus larges sur le plateau. C'est ainsi que naquirent, en fin des années 60, les bancs jumeaux T0 et T1 de grandes dimensions (veine d'essais de 11 m de côté et débit d'air de 600 kg/s au T1) pour les essais des grands turboréacteurs en cours de développement (figure 19).

On y réalisa notamment les essais d'endurance (dits « épreuve type ») des réacteurs ATAR 9K50 (Mirage F1), Olympus (Concorde), M53 (Mirage 2000) et plus récemment M88 (Rafale). On peut mentionner les essais, particulièrement spectaculaires par les puissances mises en jeu, de l'Olympus 593B avec préchauffe à 120°C de l'air d'admission, pour étudier l'endurance en vol de croisière à Mach 2. Parmi les essais réalisés, on peut aussi mentionner les essais réalisés en 1972 de la TRA28 (Tuyère reverse arrière), couplée à deux Olympus, pour la mise au point des tuyères d'éjection et des inverseurs de poussée de l'avion Concorde (figure 20), ou les essais, de 1978 à 1980, du CFM56 (1 500 cycles d'endurance et mise au point de l'inverseur de poussée).

Même s'ils ne sont pas la vocation exclusive du CEPr, ces essais « spéciaux » dans les conditions *sol* font donc aussi partie du métier du CEPr, notamment lorsqu'il s'agit de réaliser des installations particulièrement importantes ou complexes nécessitant les mêmes savoir-faire que les essais en vol simulé.

2.7 - Les moyens d'accompagnement

2.7.1 - Les mesures

Les moyens de mesure et de calcul sont évidemment un point capital dans tout centre d'essais. C'est particulièrement vrai dans le cas des essais de propulseurs ou de leurs composants, car les heures d'essais, particulièrement coûteuses et parfois risquées pour le spécimen en essais, doivent bien évidemment être « exploitées » à fond, de manière complète, exacte et rapide.

Placée sous la responsabilité d'un département « méthodes » important et autonome, la politique du CEPr a toujours été de « coller » aux progrès technologiques en la matière, progrès qui ont marqué cette période.

Au départ, le réacteur en essai était monté sur une balance à galets roulants, vite remplacés par des balances à lames élastiques, et on mesurait la force exercée entre la partie fixe et la partie mobile au moyen de dynamomètres. Les mesures de pression, de l'ordre d'une quarantaine, étaient faites sur des manomètres à liquide que l'équipe d'essai observait avec attention. On photographiait ces panoplies de manomètres pour garder la mémoire de l'essai et affiner leur exploitation (figure 21).

Jusqu'à la fin des années 60, la précision des capteurs s'améliora progressivement, on en augmenta le nombre et on multiplia les enregistreurs à support papier. Certaines mesures (notamment les vibrations et certaines pressions) étaient enregistrées sur des enregistreurs magnétiques, permettant l'acquisition de phénomènes rapides.

A partir de 1968, on entra dans une ère nouvelle : disparition des manomètres à liquides, remplacés par des capteurs électroniques, et de la plupart des appareils de mesure dans les cabines d'essais (figure 22). Les informations des capteurs étaient désormais transmises directement à un ordinateur central IBM 1 800. L'ère du dépouillement automatique et en temps réel était ouverte (figure 23). L'équipe de conduite du réacteur en essais recevait alors de cet ordinateur, en temps quasi réel, la restitution des mesures qui l'intéressaient pour la conduite de l'essai ; l'ingénieur responsable de l'essai pouvait disposer en temps réel de valeurs thermodynamiques essentielles pour l'intégrité du moteur, telles que, par exemple, la température d'entrée dans la turbine, donnée inaccessible à une mesure directe. Il s'agissait là d'une véritable révolution dans la conduite des essais. A partir de là, la porte était ouverte à des progrès considérables dans la connaissance des phénomènes thermodynamiques ou mécaniques internes aux turboréacteurs (notamment les phénomènes vibratoires, particulièrement délicats dans les machines tournantes).

2.7.2 - Les moyens de laboratoire

Le fonctionnement des moteurs est étroitement dépendant de la qualité des carburants et lubrifiants utilisés, qui doivent donc être caractérisés avec précision. De plus, l'analyse des gaz de combustion, celle des particules présentes dans l'huile de lubrification, l'état métallurgique des pièces métalliques, tout doit être vérifié et suivi avec attention. Il faut également définir les instruments de mesure et d'étalonnage les mieux adaptés aux essais souvent complexes à réaliser. Dès le départ, à Chalais-Meudon, le centre d'essais fut donc doté de laboratoires spécifiques chargés de l'ensemble de ces missions. Ce laboratoire, transféré pendant l'hiver 1951 à Saclay, fut organisé autour de quatre grandes activités :

- la section des essais d'accessoires, directement pilotée par le Service technique de l'aéronautique (STAé), testait les équipements tels que les systèmes d'alimentation en essence ou autres carburants (pompes, filtres, injecteurs, régulateurs, etc.), les systèmes d'allumage (bougies, allumeurs de chambre de combustion). Ces essais souvent complexes comportent la simulation de l'ambiance : vibratoire, thermique, humidité rencontrée sur le moteur en fonctionnement (figure 24) ;
- la section carburants-lubrifiants, chargée de conduire tous les essais normalisés pour caractériser les carburants, huiles et graisses. Le laboratoire de chimie analyse, entre autres choses, les dépôts recueillis sur les moteurs ou les alliages des pièces ;
- la section d'essais de matériaux mettait en œuvre des moyens très complets permettant la caractérisation mécanique et thermique des matériaux : machines de traction et de fluage, essais de fatigue, spectrographie, métallographie, rayons X, etc. ;
- la section mesures, responsable du suivi et de la qualité des nombreuses mesures nécessaires aux essais réalisés dans les bancs d'essais (mesures électriques telles que celles faites par pyromètres, par thermocouples ou par sondes à résistance, mesures de pressions et de température, mesures vibratoires, etc.). Cette section fut en 1955 fusionnée avec le bureau de calculs pour devenir ce qui est resté ultérieurement connu sous le vocable « Service méthodes » (figure 25).

Ces moyens de laboratoire, importants puisqu'ils regroupèrent jusqu'à une centaine de personnes, y compris des ingénieurs et techniciens (souvent féminins) hautement qualifiés, ont beaucoup contribué à l'expertise technique de la DGA dans le domaine aéronautique. La proximité géographique entre ces laboratoires et les services techniques parisiens (STAé principalement, mais aussi états-majors et services de la DGAC, Direction générale de l'aviation civile), facilitait en effet grandement les contacts au quotidien. En permettant une bonne réactivité des services concernés face aux inévitables incidents ou accidents rencontrés en exploitation, cette proximité fut à l'origine du développement au CEPR d'une activité d'expertise technique d'aéronefs accidentés, tant civils que militaires (figure 26), activité qui prit au fil des ans une importance croissante, en parallèle avec le développement des techniques aéronautiques et la recherche d'un niveau de sécurité toujours plus grand (cf § 3.6 ci-dessous).

3 - LES ANNEES 70 : LA CONSOLIDATION, LES GRANDS PROGRAMMES

Les années soixante ont vu des décisions très « structurantes » pour l'industrie aéronautique française, avec le lancement, pour ce qui concerne directement les moteurs, de l'Olympus du Concorde ou du moteur CFM56.

En 1970, le CEPR était en pleine possession de ses moyens industriels et techniques, notamment en ce qui concerne les essais en vol simulé des moteurs militaires. Cependant, après une vingtaine d'années de fonctionnement à cadence le plus souvent élevée, des signes de vieillissement apparaissaient.

Pour faire face aux nouveaux grands programmes, il devenait impératif de faire des compléments d'investissement technique dans les trois directions suivantes :

- le renforcement des moyens lourds d'atmosphérisation, pour les essais en vol simulé ;
- l'adaptation des moyens d'essais pour répondre aux besoins nouveaux (les caractéristiques thermodynamiques des moteurs Olympus et CFM56 dépassaient de loin celles des programmes antérieurs) ;
- l'extension et la modernisation des moyens d'accompagnement des essais, comme les moyens de mesures et les bancs d'essais d'équipements.

3.1 - Les moyens d'atmosphérisation

L'installation initiale, notamment les anciennes chaudières de bateaux et les chaînes de compresseurs TA et TB, exigeaient un fréquent et coûteux entretien, qui diminuait les possibilités d'essais. Il fallait donc doubler cette installation par une installation moderne de même puissance (50 MW) mais améliorée du point de vue de la maintenance et de la disponibilité. A nouveau on se livra à une évaluation détaillée des différentes solutions techniques.

La solution électrique fut à nouveau éliminée, la puissance électrique nécessaire étant trop importante compte tenu de l'équipement électrique du plateau de Saclay et de la lourdeur des investissements qui auraient été nécessaires pour y remédier.

Une solution « turbine à gaz », séduisante au plan technique, a été jugée trop risquée. Il s'agissait d'associer quatre turboréacteurs ATAR en barillet, utilisés en générateurs de gaz, pour entraîner des compresseurs d'atmosphérisation par l'intermédiaire d'une turbine de puissance et d'un boîtier d'engrenages.

La troisième solution étudiée était basée sur des compresseurs entraînés par des turbines à vapeur, la puissance étant fournie par des chaudières industrielles. C'est cette dernière solution, la plus « classique » compte tenu des technologies disponibles à cette époque, qui fut retenue, donnant ainsi naissance au « bâtiment C », imposante installation qui, pendant longtemps, a constitué le cœur du CEPr (figure 27).

Cette centrale, qui comportait deux groupes (chacun constitué d'un ensemble chaudière, turbine de puissance et compresseur d'air) comparables en puissance et complétant les autres moyens déjà disponibles, a donné au CEPr une grande souplesse d'utilisation grâce à la possibilité d'utiliser séparément les divers moyens. Cette souplesse, remarquable compte tenu de l'ampleur des installations, restait quand même toute relative : la programmation des essais devenait au quotidien une activité particulièrement cruciale pour utiliser au mieux les moyens d'atmosphérisation en fonction des programmes d'essais des différents bancs. Il était désormais possible de mener simultanément plusieurs essais importants dans deux ou plusieurs bancs.

Cette capacité a été déterminante par la suite pour réaliser ultérieurement, dans de bonnes conditions, les essais des moteurs militaires (M53 puis M88), en parallèle avec les essais de l'ensemble des autres programmes (CFM56, Larzac, moteurs d'hélicoptères, etc.).

3.2 - Les bancs d'essais

L'arrivée des grands programmes a également conduit le CEPr à des investissements complémentaires dans ses bancs d'essais.

3.2.1 - Les bancs d'essais de moteurs

Bien que la plus grande partie des bancs d'essais proprement dits existât déjà, l'arrivée des nouveaux programmes provoqua une mise à niveau des installations. Très gros moteur aux performances exceptionnelles, l'Olympus imposait des contraintes d'essais presque toujours à la limite des capacités du Centre. Ses caractéristiques de fonctionnement (vol à Mach 2 en continu, grand débit d'air) dépassaient celles des moteurs militaires. Ses essais ont engendré au CEPr une activité particulièrement soutenue pendant près de 10 ans.

Ce programme exigeant, qui nécessitait la recherche d'une utilisation optimale des installations d'atmosphérisation, fut pour le CEPr une source d'innovations et de progrès. Parmi les moyens les plus importants concernés on peut citer le caisson R5, qui fut adapté aux essais extrêmement sévères du moteur avec post-combustion, ou le banc au sol T1 qui fut adapté à la réalisation d'essais de deux Olympus couplés dans une configuration analogue à celle de l'aile du Concorde.

3.2.2 - Le banc C3

En 1973, la construction d'un banc d'essais de compresseurs de grande capacité s'est avérée nécessaire pour permettre à la SNECMA de développer le corps BP (Basse pression) du moteur CFM56, qui était de sa responsabilité dans la coopération avec General Electric. Le CEPr, grâce à la configuration particulière de son bâtiment C (voir plus haut), pouvait fournir, en sortie d'arbre du groupe CA, les 40 MW de puissance mécanique nécessaires pour l'entraînement du compresseur.

Ce projet très ambitieux fut réalisé de mai 1975 à octobre 1979, avec la collaboration technique de la SNECMA. Cette installation (figure 28), la plus puissante au monde lors de sa mise en service, fut inaugurée par le Délégué général pour l'armement et le Directeur général de l'Aviation civile le 21 novembre 1979.

3.2.3 - Le banc d'ingestion TX

La réglementation du transport aérien civil impose de faire des essais d'ingestion de corps étrangers dans les moteurs et de vérifier qu'en aucun cas la sécurité des passagers de l'avion ne puisse être compromise. Cette question est particulièrement cruciale sur les moteurs modernes dotés de soufflante de grand diamètre, la rupture éventuelle de pales libérant des énergies cinétiques énormes. Début 1971, le banc TX, spécialement conçu pour cette catégorie d'essais, fut construit à l'écart des autres installations du centre, pour des raisons évidentes de sécurité. On y testa à l'air libre les moteurs dans les conditions les plus critiques :

- ingestion d'un ou plusieurs corps étrangers (oiseaux, grêlons, morceaux de glace, etc.) (figure 29). Les projectiles sont envoyés sur le moteur, à la vitesse correspondant à celle qu'aurait l'avion en vol, au moyen de canons à air comprimé. On observe alors le comportement du moteur au moment de l'impact et on vérifie son comportement pendant les secondes ou les minutes qui suivent, comportement qui doit être conforme aux exigences réglementaires ;

- départ d'une aube de soufflante, suite à une rupture en pied de pale. L'essai, qui consiste à vérifier que le carter du moteur « contient » tous les éléments projetés, est une épreuve particulièrement difficile dans la mise au point d'un gros moteur.

Au-delà de leur caractère très spectaculaire, ces essais nécessitent des installations particulièrement complexes mettant en jeu des capteurs à très faible temps de réponse et des caméras rapides. Ils exigent aussi une très grande rigueur méthodologique de la part de l'équipe chargée de l'essai : on ne saurait tolérer, en effet que, suite à un quelconque défaut dans la procédure, un tel essai, destructeur pour le matériel prototype en essai et donc particulièrement coûteux, ne puisse être utilement et complètement exploitable par l'industriel.

Cette activité deviendra un point fort du CEPr contribuant à sa renommée internationale.

3.3 - Les essais acoustiques

L'essor du transport aérien, avions ou hélicoptères, a obligé le monde aéronautique à se préoccuper très sérieusement des questions environnementales, notamment le bruit rayonné au voisinage des aéroports. Il fallait, par des travaux de recherche, faire des progrès au niveau même de la conception. Les moteurs constituant la principale source sonore, le CEPr se trouvait donc au cœur du problème. Le banc H1 et la chambre sourde A17, construite en 1968, avaient déjà permis, à partir d'expériences plus ou moins empiriques, de perfectionner les méthodes de recherche et de définir les moyens d'essais nécessaires.

C'est ainsi qu'on s'est aperçu que, pour obtenir des résultats valables, il fallait simuler la vitesse d'avancement, par un écoulement entourant la tuyère en essais. Après étude de différentes solutions, il fut décidé par la Direction des recherches et moyens d'essais (DRME) de la DGA de construire au CEPr, en coopération CEPr-ONERA⁹ (Office national d'études et de recherches aérospatiales), une soufflerie acoustique utilisant les jets de petits réacteurs comme source de bruit. La soufflerie acoustique CEPRA 19 (figures 30 et 31) a été, à sa mise en service en 1977, unique en Europe, et sans doute supérieure aux installations analogues existant aux USA, comme en témoignait l'intérêt des nombreux visiteurs étrangers de l'époque.

3.4 - Les essais de sous-ensembles

En parallèle avec les investissements liés aux grands programmes aéronautiques civils, évoqués plus haut, cette époque a vu également le développement d'installations nouvelles spécifiques aux besoins des programmes militaires, qui, eux aussi, vivaient une révolution technologique.

Il s'agissait notamment d'augmenter considérablement les performances par l'accroissement de la température devant la turbine (ce qui nécessitait de mieux maîtriser les techniques extrêmement complexes de la métallurgie des aubages et de leur refroidissement par circulation interne d'air « frais »), et d'introduire dans les moteurs militaires la technique « double-corps ».

Ce furent notamment :

- les deux veines d'essais de chambre de combustion K8 et K9, destinées à compléter les capacités d'essais des veines K6 et K7 ;

⁹ Voir le § 3.4 du chapitre 13 de ce document.

- le banc L4 pour les essais en tout ou partie de corps haute pression, qui permettait de radiographier les éléments tournants aux rayons X. Ce banc a servi notamment de support au programme DEXTRE (Développement exploratoire de turbine refroidie) (figure 32) ;
- le montage MINOS (Montage inter ONERA-SNECMA), au banc TU, destiné à l'étude des procédés de refroidissement des aubes de distributeurs et de roues de turbine (figure 33).

D'autres montages originaux virent le jour à cette époque, destinés à valider des solutions aux problèmes techniques pointus que posait l'utilisation de plus en plus sévère de matériels militaires :

- le montage dit « tournebroche », permettant de tester les moteurs en rotation autour de leur axe longitudinal pour vérifier le fonctionnement des paliers et de leur système de lubrification dans les conditions de vol spécifiques aux matériels militaires ;
- le banc H9, pour tester les moteurs d'hélicoptères sous une forte assiette (cabré-piqué).

A noter, également, les premiers dispositifs permettant de réaliser des essais d'endurance en pilotage automatique, dans les bancs de Villeras, puis au banc T1 (pour le CFM56).

Une grande partie du savoir-faire acquis grâce à ces études et ces mises au point contribuera ultérieurement de façon significative à la réalisation du moteur M88 du Rafale.

3.5 - Les moyens d'accompagnement

Face à la diversification des essais, qui nécessitaient des mesures toujours plus complexes et plus nombreuses, et à la révolution des méthodes de mesures entraînée par la généralisation de l'informatique, le CEPr décida un important programme de rénovation de ses laboratoires et de ses réseaux informatiques. Deux bâtiments nouveaux adaptés aux matériels plus sophistiqués et aux nouvelles exigences en matière de sécurité furent construits, l'un pour abriter les laboratoires d'essais (bâtiment E), l'autre pour abriter le Service méthodes (bâtiment M), qui donnent au CEPr sa physionomie actuelle.

Cette époque vit aussi un renouvellement de l'instrumentation dans les cabines d'essais. On assista à la généralisation des circuits de télévision, permettant le suivi visuel du moteur en essai, et des écrans numériques permettant aux équipes chargées de la conduite des essais de suivre en continu la multitude de paramètres liés non seulement au prototype en essai, mais aussi à l'ensemble des moyens d'atmosphérisation mis en œuvre pour assurer les conditions de vol voulues. On multiplia également les moyens d'analyse vibratoire qui, en permettant de détecter très en amont les éventuelles dégradations du prototype en essai, amélioreraient grandement la sécurité.

Au total, près de 23 000 appareils furent mis en service, exigeant un effort de gestion et de standardisation soutenu afin de contenir la croissance vertigineuse du volume et du coût des moyens de mesure.

L'informatique faisait déjà largement partie du paysage au CEPr. Au début 1973, 23 bancs étaient reliés au central de mesures et à son ordinateur IBM 1800. Ce déploiement rapide, massif et centralisé de l'informatique, malgré des matériels aux capacités encore très limitées à cette époque, a nécessité la mise en place d'un système complexe de multiprogrammation. De plus, il fallut édicter des règles très strictes d'emploi de ces moyens, limitant les traitements en temps réel au strict nécessaire pour assurer la conduite des essais, et reportant aux périodes « hors essais » l'exploitation complète et lourde du reste des mesures.

Rapidement, profitant des progrès rapides des technologies correspondantes, une deuxième génération de moyens informatiques fut mise en place à partir de 1976. Dénommée STRATOS (Système temps réel d'acquisition et de traitement par ordinateur scientifique), elle était constituée d'un réseau de mini-ordinateurs MITRA (Mini-machine pour l'informatique temps réel et l'automatique) de la C2I, installés dans les bancs, formant autant de chaînes d'acquisition rapide, organisés autour d'un ordinateur MITRA plus puissant installé au Centre de calcul.

3.6 - Les expertises

Au début des années 60, la construction du boulevard périphérique parisien a entraîné des restructurations au sein de la Cité de l'Air, et les laboratoires du Service technique aéronautique ont dû déménager. Leurs attributions, principalement la qualification de matériaux pour la construction aéronautique et les expertises de pièces (le plus souvent, après incident ou accident), furent réparties entre le CEPr (pour les matériaux destinés aux moteurs) et le CEAT¹⁰ (Centre d'essais aéronautique de Toulouse) (pour les matériaux destinés aux cellules).

Cette répartition n'avait rien d'artificiel. En effet, les conditions d'utilisation des moteurs (fortes températures, pressions, vibrations) exigent des matériaux spécifiques. Même si, bien sûr, les techniques générales sont communes à ces deux familles de matériaux, leur mise en œuvre dans le milieu aéronautique les distingue clairement et il n'était donc pas « antiéconomique », dans le contexte de l'époque où des progrès considérables étaient à prévoir dans la science des matériaux, de voir deux laboratoires distincts s'y consacrer.

Les expertises ont pris progressivement une place importante dans l'activité des laboratoires du CEPr. Une grande salle fut affectée aux opérations de démontage des matériels accidentés. Le démontage de ces matériels nécessite en effet des outillages et des compétences très spécifiques. Une maladresse peut en effet faire disparaître des éléments techniques essentiels pour la compréhension des causes et des processus de détérioration de l'aéronef expertisé (moteur, équipement, etc.).

Agissant à la demande soit des commissions d'enquête constituées officiellement à la suite d'accidents d'aéronefs civils ou militaires, soit directement d'utilisateurs des matériels (armées, compagnies), les équipes en charge de ces travaux se sont taillées au fil des ans une réputation de compétence bien établie (pour mémoire, on peut mentionner, entre autres, que des experts du CEPr ont été amenés à témoigner lors du procès consécutif à l'accident du Concorde survenu le 25 juillet 2000 à Roissy).

4 - LES ANNEES 80-95 : LA RENOVATION

¹⁰ Voir chapitre 2.

Dès le début des années 80, la question du remplacement des anciens compresseurs, extracteurs et chaudières se posait de manière vitale pour assurer la capacité du centre à poursuivre ses missions. En effet, malgré un effort continu d'entretien et de réparation, la vétusté des installations devenait manifeste et leur inadaptation aux besoins à venir était inéluctable. Le lancement d'un programme de rénovation devenait nécessaire. Des études approfondies furent lancées.

De nouveau, la question centrale des sources d'énergie fut analysée, en intégrant les importants progrès réalisés par les systèmes électriques et l'équipement de la région en matière de réseaux haute tension. Les analyses économiques montrèrent désormais clairement un avantage significatif pour l'énergie électrique, notamment en terme de coût d'investissement et de maintenance. De plus, cette énergie permettait une plus grande souplesse et une meilleure productivité, le démarrage ou l'arrêt des installations étant infiniment plus rapides que dans le cas des lourdes installations à vapeur.

Il apparaissait également que les bancs d'essais des chambres de combustion devenaient insuffisants face aux besoins des moteurs futurs, dont les caractéristiques (la température devant turbine et le taux de compression) progressaient rapidement.

Un programme majeur de rénovation fut donc mis sur pied sur ces bases en 1983, en liaison avec les services de la DCAé (Direction des constructions aéronautiques). Après divers remaniements et affinages des estimations, l'autorisation ministérielle fut obtenue en 1985. Prévu initialement sur 10 ans, mais étalé par la suite sur 25 ans, ce programme, intitulé RENOVATMOS (Rénovation des moyens d'atmosphérisation), était découpé en modules indépendants, de manière à permettre la réalisation des essais de manière continue et coordonnée avec les besoins des programmes visés (notamment, le M88 du Rafale et les versions successives du CFM56). Il s'agissait d'une opération particulièrement complexe car il fallait coordonner précisément les opérations de montage des nouvelles installations avec les opérations de démantèlement des installations anciennes qu'elles devaient remplacer, tout en assurant la charge d'essais.

Les premiers marchés industriels majeurs furent notifiés au début de 1987. Ils concernaient un premier module d'extraction, dit EX1, qui comprenait un ensemble de compresseurs d'extraction. Ils comprenaient également un ensemble de collecteurs avec tous leurs équipements : réfrigérants, vannes, séparateurs d'eau, etc., reliant les nouveaux ensembles d'extraction aux caissons d'essai. La mise en service eut lieu à l'été 1993 (figure 34).

En 1989, parallèlement, était entreprise la réalisation du deuxième module de ce programme de rénovation, dit HP1. Il s'agissait cette fois de réaliser, pour les essais de chambres de combustion des moteurs modernes, une veine d'essai « haute pression » et un groupe d'alimentation en air conditionné capable de l'alimenter en air dans les conditions représentatives de celles rencontrées sur les moteurs à la sortie des compresseurs.

Ces conditions, très sévères (60 bars, 850°C), représentaient un fort challenge technologique. Elles nécessitaient des mesures de sécurité draconiennes avec notamment la construction d'un bâtiment renforcé et d'une cabine de pilotage déportée. Cette installation fut mise en service en 1998 (figure 35).

Enfin, en 1991, était lancé le module BP1, concernant cette fois l'alimentation des caissons d'essais (comprenant des compresseurs, réchauffeurs, système de séchage et systèmes de refroidissement) et l'ensemble des équipements nécessaires pour créer à l'entrée des caissons les conditions de vol rencontrées dans le domaine de vol des avions modernes. Ce module devait remplacer les anciens compresseurs Rateau, les chaudières, et les équipements associés, qu'il fallut donc dans un premier temps démanteler. Cette installation fut mise en service en 2002.

Au total, c'est près de 350 millions d'Euros (aux conditions économiques de janvier 2010) qui furent investis au titre de ce programme RENOVATMOS.

Outre ces grandes opérations liées au programme RENOVATMOS, cette période vit un certain nombre de rénovations d'équipements de moindre envergure mais tout aussi nécessaires à la bonne exécution des missions du CEPr.

Les efforts ont notamment porté sur les systèmes de contrôle-commande des moyens de pilotage des machines. L'idée était principalement de centraliser et d'automatiser ces moyens, de manière à renforcer la souplesse d'utilisation des capacités du Centre et à optimiser les moyens humains nécessaires pour les mettre en œuvre.

Un important effort de modernisation a également été fait sur les cabines de pilotage des moteurs en essais. Pour les essais du moteur M88 du Rafale, il fallait faire face à la multiplication des voies de mesures exigées par la SNECMA (plus de 2 000 voies). Les cabines de contrôle des caissons R3 et R4 durent être entièrement reconstruites, dans des dimensions beaucoup plus grandes. La décision tardive de lancement de cette opération (la décision fut prise fin 1987, en même temps que la décision de lancement du programme de développement de ce moteur) obligea à des procédures draconiennes d'ordonnancement des travaux qui devaient être achevés dès la mi-89 pour permettre les premiers essais du M88. Malgré les inévitables aléas liés à de telles opérations, les délais furent tenus (figure 36).

Un autre exemple d'adaptation du CEPr à l'évolution des besoins fut l'histoire du caisson S1. Mis en service en 1958, ce caisson était un des plus anciens du CEPr. Il était destiné à l'origine aux essais de statoréacteurs, comme l'indique son sigle « S ». Les premiers matériels essayés dans ce caisson furent effectivement des statoréacteurs, dont on pensait à l'époque équiper certains avions militaires. Mais par la suite, le développement de ces propulseurs ayant été abandonné, le banc a été reconverti pour les essais de turboréacteurs et, surtout, de turbomoteurs d'hélicoptères, en parallèle avec le développement très remarquable de l'industrie des hélicoptères (Aérospatiale, puis Eurocopter) et de celle des turbomoteurs associés (Turboméca). Plus tard, dans les années 80, ce caisson a été adapté aux essais en conditions givrantes, quand les progrès des systèmes de pilotage des hélicoptères permirent de généraliser le vol sans visibilité, donc dans les nuages.

La conception générale du CEPr, vue tout au long de son histoire comme un système global interconnectant l'ensemble des moyens (ressemblant à certains égards à un circuit électronique, voir la figure 37), en fait un instrument particulièrement flexible.

5 - AU-DELA DES MOYENS, DES HOMMES ET DES FEMMES

5.1 - Une volonté de bien faire

En parallèle avec les grands investissements nécessaires à la satisfaction des performances techniques imposées par l'accroissement des performances des matériels à essayer, le CEPr s'est efforcé, tout au long de son histoire, d'adapter ses méthodes de travail aux exigences croissantes de ses clients en termes de productivité et de réactivité. Loin de s'isoler dans une quelconque « exception culturelle » liée à son statut particulier d'organisme étatique, le CEPr a adapté de manière continue ses méthodes de travail à celles de l'industrie aéronautique, avec les mêmes exigences de progrès et, autant que possible, d'efficacité.

C'est ainsi, par exemple, que fut développé le concept de « palétisation¹¹ », qui consiste à préparer, dans des salles affectées à cet usage, les prototypes en vue de leur essai en caisson. Le moteur y est fixé sur son bâti-support, et les équipements et l'instrumentation y sont installés et testés, avant que l'ensemble ne rejoigne le caisson pour y commencer les essais (figure 38). Tout ceci dans le but de réduire au strict minimum le temps d'immobilisation du caisson, élément le plus coûteux de la chaîne. Naturellement, dans la réalité, les choses sont rarement aussi simples, car le propre des essais de moteurs prototypes, notamment pendant les phases initiales de leur développement, est d'avoir à faire face à d'incessants imprévus qui nécessitent fréquemment des modifications du programme d'essais, voire de longs temps de pause pour des études complémentaires. Un dialogue permanent et confiant entre les ingénieurs CEPr chargés des essais et leurs donneurs d'ordre (industriels et services étatiques) reste donc essentiel.

L'effort continu de modernisation a aussi toujours porté sur les procédures de travail. Quels que soient les moyens techniques mis en place dans un établissement comme le CEPr, les avantages qu'en attendent les utilisateurs finaux (en l'occurrence, les industriels et les services de la DGA) ne se concrétisent réellement que si les personnels chargés de les mettre en œuvre suivent la même voie et améliorent au même rythme leur savoir-faire et leur organisation. C'est particulièrement vrai dans un établissement tel que le CEPr, dont les moyens lourds nécessitent des procédures strictes et optimisées pour respecter les délais tout en assurant un haut niveau de sécurité des matériels en essais et des installations d'essais elles-mêmes.

Au CEPr, cela s'est traduit par la mise en place, très tôt, d'équipes dédiées à la planification et au suivi des opérations de maintenance des installations. Il faut en effet organiser très rigoureusement les opérations complexes de maintenance car le moindre dérapage risque de retarder une campagne d'essai importante pour l'industriel motoriste. Dans le contexte très rigoureux de l'achat public (voir les procédures d'appel d'offres des marchés publics !), cette exigence de planification et de rigueur dans le respect des procédures touche l'ensemble du personnel, depuis les responsables chargés de la planification des essais, des opérations de rénovation ou des opérations de maintenance, jusqu'aux services administratifs chargés des procédures de lancement des appels d'offres, entre autres.

La direction de l'établissement s'est toujours attachée à veiller à la cohérence de l'ensemble, car toute défaillance ici ou là aurait en finale des conséquences directes

¹¹ Ceci est à rapprocher de la « palettisation » utilisée dans la soufflerie F1 de l'ONERA/Fauga. Voir chapitre 13, § 1.4.2.

extrêmement préjudiciables sur les programmes de développement des matériels aéronautiques.

C'est dans cet esprit que, très tôt, le CEPr s'est engagé dans la rédaction de procédures détaillées pour ses principales activités et la mise en place d'un système qualité. Ceci s'est traduit, à partir de 1990, par l'accréditation COFRAC (Comité français d'accréditation) de la plupart des activités de laboratoires, et l'obtention, début 1998, de la certification ISO 9001 couvrant la quasi totalité de ses activités.

5.2 - Un vivier de compétences

Du fait de sa proximité des centres nerveux de la DGA, le CEPr peut s'enorgueillir d'avoir fourni (et de fournir encore) de nombreux ingénieurs de qualité aux services centraux de la DGA. Apportant une expérience forte, tant sur les plans techniques, humains, ou administratifs aux jeunes ingénieurs qui lui sont affectés, le CEPr s'est avéré aussi un vivier dans lequel les services de la DGA puisèrent bon nombre des jeunes ingénieurs expérimentés dont ils avaient besoin pour assurer les responsabilités lourdes des programmes d'armement. On ne compte plus les responsables de très haut niveau, de l'administration comme de l'industrie, qui sont issus de ses rangs.

5.3 - Un point noir

La gestion des personnels, au CEPr, a aussi un côté particulièrement douloureux : pour le calorifugeage des nombreuses parties chaudes de ses circuits, le CEPr a, comme tous les établissements industriels construits à cette époque, largement utilisé l'amiante, dont il ignorait les méfaits. Aujourd'hui, il déplore plusieurs décès liés à ce sinistre produit, et une quarantaine de cas de maladie professionnelle reconnue. Le problème a été pris à bras le corps dans le milieu des années 90, dès qu'il en a été pris conscience. Toutes les installations ont fait l'objet d'une cartographie détaillée de l'amiante. Grâce à une implication très active des différents acteurs concernés (direction, responsables prévention, médecin de prévention, élus du CHSCT, responsable pôle amiante), les personnels ont été largement informés et sensibilisés sur les précautions à prendre, notamment à l'occasion des interventions de maintenance. De nombreuses opérations lourdes de désamiantage ont par ailleurs été conduites, par des sociétés spécialisées.

5.4 - Un établissement difficile

Une particularité du CEPr tient à sa localisation géographique. Situé en région parisienne, à une vingtaine de kilomètres du cœur de la capitale, l'établissement s'est toujours trouvé confronté à des difficultés qui lui étaient spécifiques :

- la politique de décentralisation lancée dans les années 60, avec la création en 1967 du « Comité de décentralisation », chargé de mettre en oeuvre une politique de délocalisation des organismes publics de la région Île-de-France vers les autres régions. Variant dans ses modalités au cours du temps, cette politique a toujours conduit à rendre difficile, voire interdire le développement au CEPr d'activités significatives en dehors du « métier central » (les essais de moteurs en vol simulé, considérés, à juste titre, comme impossibles à déménager). Ce fut sans doute un réel handicap pour les activités de laboratoires du CEPr, dont beaucoup se sont vues aspirées par les établissements provinciaux (CEAT essentiellement). Ceci créait

dans l'esprit des personnels concernés la crainte de voir disparaître, suite à un transfert en province, leur poste de travail ;

- un certain tropisme des services parisiens, généralement considérés comme prioritaires dans l'affectation des ingénieurs militaires. Tout au long de son histoire, à l'exception des premières années, le CEPR a souffert d'un « taux d'encadrement » (ratio personnels de niveau 1/effectif total) trop faible face aux enjeux techniques.

Il en résultait pour certains personnels de l'établissement (principalement ouvriers, qui constituent plus de la moitié de l'effectif) un sentiment permanent et diffus d'inquiétude qui explique probablement l'étiquette d'« établissement difficile » qui a pu coller au CEPR à certaines périodes.

Les directions successives se sont efforcées de contrer ce phénomène en favorisant une vie sociale forte (par exemple, par la mise à disposition des personnels d'installations sportives ou de loisirs : la vaste emprise domaniale du CEPR s'y prêtait particulièrement bien) et en acceptant des efforts particuliers en matière de formation. La focalisation des esprits sur des démarches collectives de progrès (telles que l'amélioration continue des processus, le contrôle de gestion, la démarche « qualité », la démarche « marketing »), ont également contribué à maintenir la motivation, même pendant les périodes d'incertitude.

Au final, et avec le recul du temps, on doit constater que les personnels ont toujours su garder la cohésion nécessaire pour relever les défis qui ne manquaient pas de se poser périodiquement, face aux attentes des industriels et aux aléas inévitables des essais.

6 - CONCLUSION

Le CEPR est le résultat d'une volonté étatique forte, à la sortie de la guerre, de redonner à la France les moyens de retrouver son rang dans l'aéronautique, notamment dans la maîtrise de cette technologie essentielle qu'est la propulsion. Même si le contexte a considérablement changé pendant cette période, dans l'esprit cette volonté s'est maintenue tout au long de ses 60 années d'existence. Il en est résulté une politique constante de mise à niveau des capacités du Centre en fonction des nouveaux besoins des programmes aéronautiques et des progrès technologiques.

Il s'agissait souvent d'un véritable défi, car en la matière la plupart des décisions difficiles doivent être prises très en amont, sans attendre une visibilité complète, l'industrie des moteurs aéronautiques étant caractérisée par la grande complexité de ses programmes préparatoires au lancement du plein développement. Ceci a été rendu possible par une étroite collaboration entre les principaux acteurs : responsables industriels, service étatiques centraux, direction de l'établissement (voir Annexe 2), tous animés par une même confiance en l'avenir.

Au final, nul ne peut contester que cet établissement a satisfait à la mission qui lui avait été confiée, en 1946, de contribuer à la création en France d'une industrie forte des moteurs aéronautiques. Toujours pleinement en état aujourd'hui de contribuer aux progrès de cette industrie, tout porte à penser qu'il le demeurera longtemps encore.

ANNEXE 1 : LES ESSAIS EN VOL SIMULES

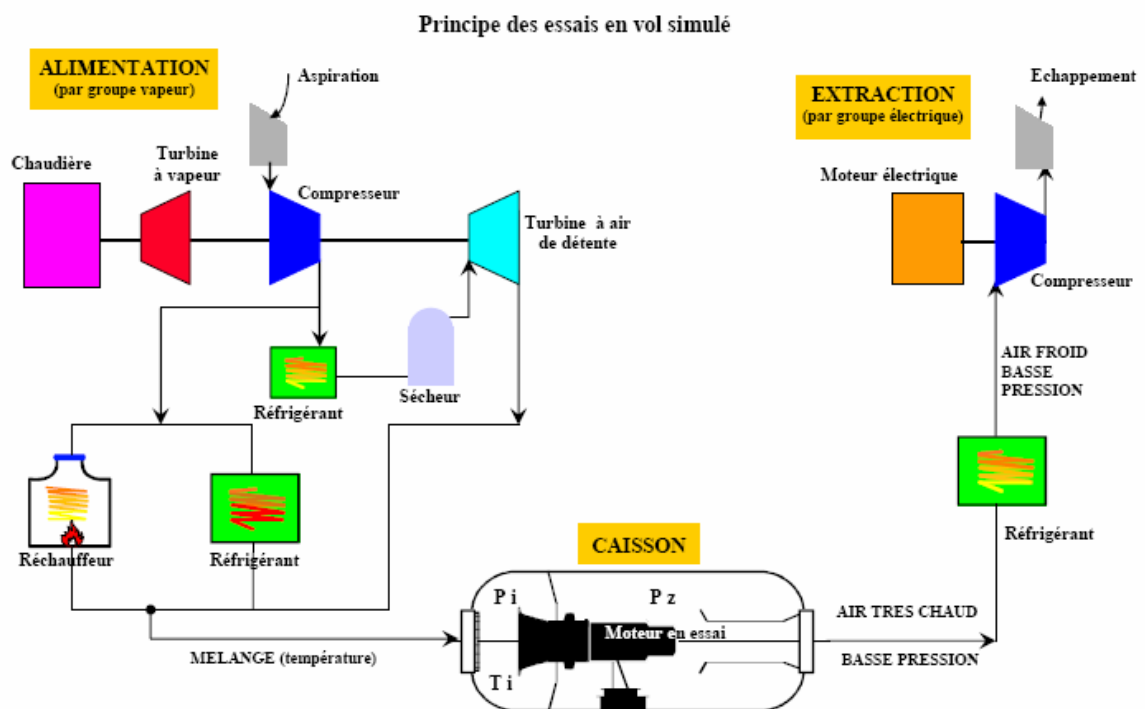
Le principe

Simuler, dans une installation au sol, le fonctionnement d'un réacteur en vol consiste :

- d'une part à alimenter le réacteur en air à la pression et à la température fixées par l'altitude et la vitesse de vol. Il faut en outre s'efforcer de restituer la distorsion du courant d'air qui pénètre dans le réacteur, sous l'effet des inévitables imperfections de la manche d'entrée d'air (par exemple, sous l'effet du vol à forte incidence). En effet, le fonctionnement du compresseur est fortement influencé par cette distorsion ;
- d'autre part, à maintenir autour de la tuyère d'éjection du réacteur la pression correspondant à l'altitude de vol. Le jet du réacteur doit donc s'échapper dans une enceinte maintenue à basse pression.

Par exemple, dans le cas d'un réacteur fonctionnant à Mach 2 à l'altitude de 11 km, il faudra alimenter le moteur avec de l'air à la température de 120°C et la pression de 1,26 bar. La pression à maintenir autour de la tuyère d'éjection sera de 225 hPa.

Le réacteur en essais est placé dans un grand caisson raccordé, à l'amont, aux installations d'alimentation en air et à l'aval à celles d'extraction.



Dans la figure ci-dessus, est représenté le cas le plus courant où le caisson d'essai est partagé entre une partie amont et une partie aval séparées par une cloison étanche. C'est la solution la plus économique car tout le débit d'air passe alors dans le propulseur en essai. Dans certains cas (essai avec entrée d'air avion,

essai de givrage, statoréacteur, etc.), on est amené à réaliser des essais dits « en veine libre ». Les débits d'air nécessaires sont alors très supérieurs.

Dans tous les cas, d'innombrables précautions sont nécessaires pour, d'une part, réaliser des mesures précises de performances du moteur et, d'autre part, assurer la sécurité du spécimen en essai et des installations elles-mêmes. Il faut en effet, bien évidemment, que la défaillance de l'un des composants (propulseur en essai ou installation d'atmosphérisation) - par exemple un arrêt brutal intempestif -, n'entraîne pas des conséquences catastrophiques sur l'ensemble de la chaîne.

En pratique

Les installations nécessaires sont extrêmement complexes. C'est ce qu'on appelle, au CEPr, l'ATMOS, gigantesque usine de conditionnement d'air. On y crée de l'air froid, chaud, déprimé, comprimé, sec ou humide selon les conditions d'essais à réaliser. Les débits habituellement rencontrés sont compris entre 100 et 200 kg/s¹².

L'ATMOS comporte un grand nombre de constituants connectés en réseaux :

- des compresseurs d'alimentation ;
- des compresseurs d'extraction ;
- des réfrigérants, des préchauffeurs, des sécheurs ;
- des canalisations d'air et des vannes pilotables ;
- des systèmes sophistiqués de contrôle-commande capables de piloter l'ensemble avec la précision nécessaire, y compris, aujourd'hui, en régime transitoire (pour simuler par exemple un profil de vol, ou des changements de régime du propulseur en essai) ;
- des dispositifs de sécurité capables de préserver, à la fois, les turboréacteurs en essais et les installations elles-mêmes (notamment, par exemple, en cas d'arrêt brutal du réacteur en essai).

Tous ces gros matériels, dont le nombre et le volume surprennent toujours le visiteur, sont reliés entre eux par des kilomètres de tuyauteries, souvent refroidies par circulation externe d'eau et dont certaines dépassent 2 mètres de diamètre ponctuées de quelques centaines de vannes de même diamètre.

Les puissances mises en jeu lors d'un essai, variables selon les points de vol à simuler et les performances du moteur en essai, sont souvent de plusieurs dizaines de MégaWatts.

Afin d'en minimiser les coûts, ces éléments sont aujourd'hui choisis, autant que possible, parmi des types courants dans l'industrie. Cette logique a cependant des limites, car les machines sont, au CEPr, appelées à fonctionner dans des conditions très spécifiques.

En particulier, on recherche une grande flexibilité d'emploi, pour s'adapter aux conditions d'essais éminemment variables, contrairement aux installations industrielles « normales » qui fonctionnent le plus souvent en régime stabilisé.

¹² 150 kg/s maximum, maintenant.

ANNEXE 2 : LES DIRECTEURS DU CEPR

Nom	Date d'arrivée	Date de départ
RICARD François	1946	1949
COMBES Raymond	1949	1950
POINCARE Léon	1950	1955
DECAIX Gérard	1955	1969
GAY Jean-Patrice	1969	1977
PACAUD Louis	1977	1978
De BATZ de TRENQUELLEON François	1978	1981
GRIFFOUL Philippe	1981	1985
<i>WENISCH Jacques (interim)</i>	<i>1981</i>	<i>1981</i>
GIVOIS Georges	1985	1991
LAURIAC Georges	1991	1995
DEBOUT Bruno	1995	1999
SAUVAGET Jacques	1999	2002
TARGA Francis	2002	2007
CARDAMONNE Jean-Christophe	2007	2009
CHENUIL Claude	2009	

BIBLIOGRAPHIE

Le cinquantenaire du CEPr, 1996.

Michel Lasserre (coordinateur), *Les moteurs*, document COMAERO, 2005.

L'industrie aéronautique et spatiale française 1907-1982, ouvrage collectif édité par le GIFAS. Tome 2, pages 258 à 269 et 320 à 326.

Claude Carlier, « Les débuts de la coopération aéronautique franco-allemande, le "Goupe O" », communication présentée au colloque "Les relations économiques franco-allemandes 1945-1960", Institut historique allemand de Paris, 1997 ; article publié par l'Institut de stratégie comparée (<http://www.institut-strategie.fr/>).

REMERCIEMENTS

Le présent document s'appuie, pour l'essentiel, sur un travail réalisé à l'occasion de la commémoration du cinquantenaire du CEPr, célébré en 1996. En tant que directeur du CEPr à cette époque, il m'avait semblé bon, en effet, de saisir cette occasion pour fixer sur le papier une image aussi fidèle que possible de cette riche histoire. Je tiens donc à remercier les membres du groupe de rédaction du petit livre, aujourd'hui épuisé, qui avait été édité à cette occasion, tous anciens responsables du CEPr : principalement MM. Jean Cassel, Jean-Patrice Gay, Guy Gérard et, tout particulièrement Pierre Lebel qui en a assuré l'animation.

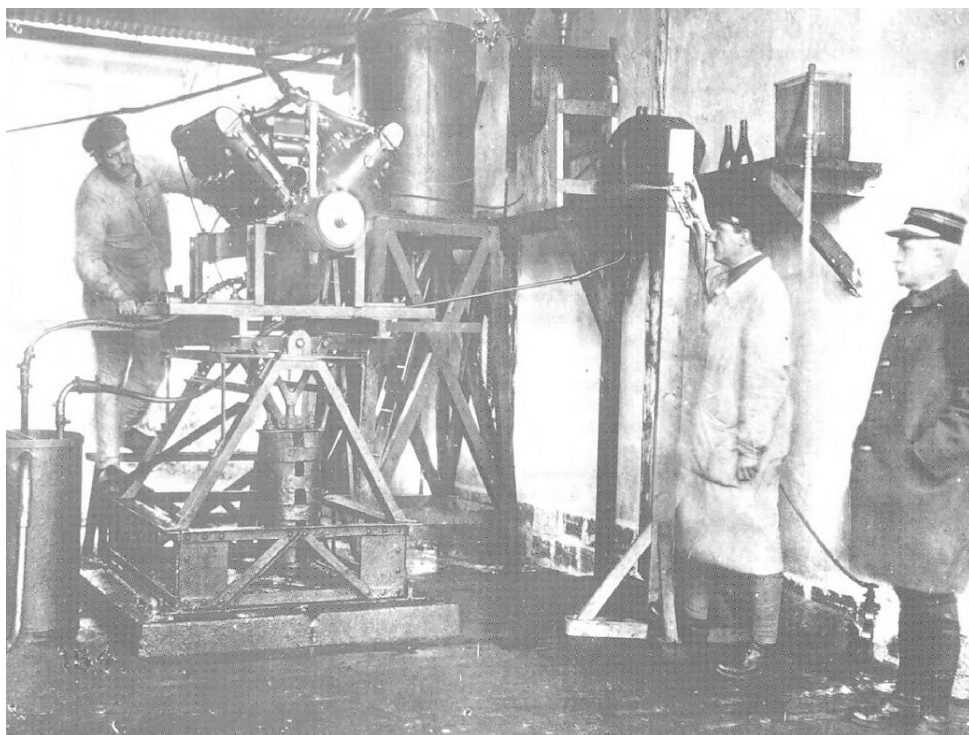


Fig. 1
Essai moteur, en 1916, à Chalais-Meudon



Fig. 2
Banc volant Bloch 161 Languedoc pour essais ATAR



Fig. 3

Site de Saclay, un site particulièrement bien adapté. Au fond, Paris...

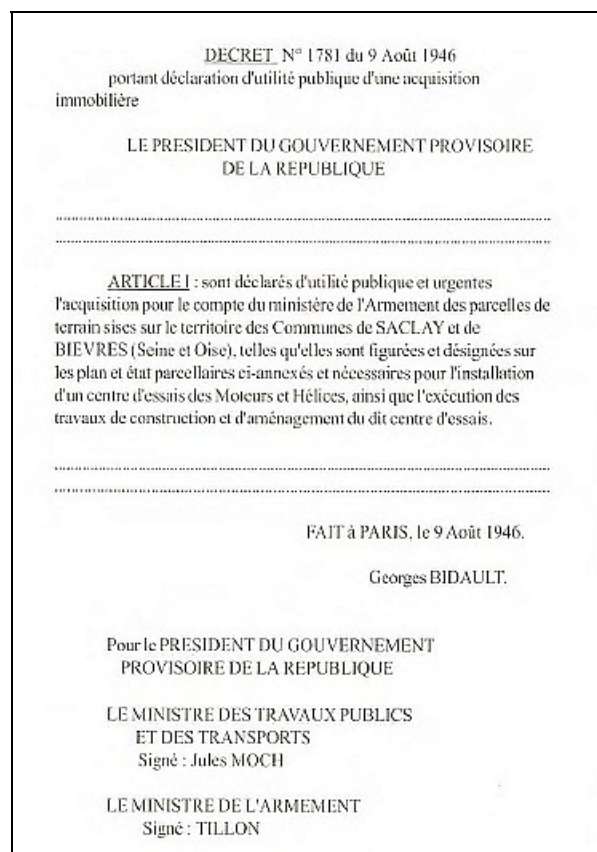


Fig. 4

Le décret n°1781 du 9 août 1946



Fig. 5

Création d'une veine d'essai, à l'intérieur du fort de Villeras

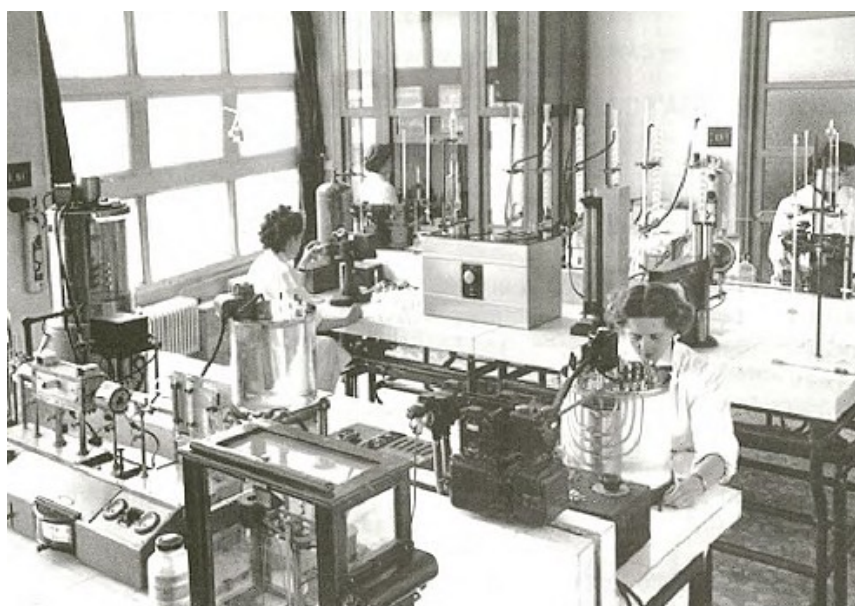


Fig. 6

Laboratoire de chimie, Saclay, en 1953



Fig. 7
La chaufferie 2 (chaudières du *Montcalm*)

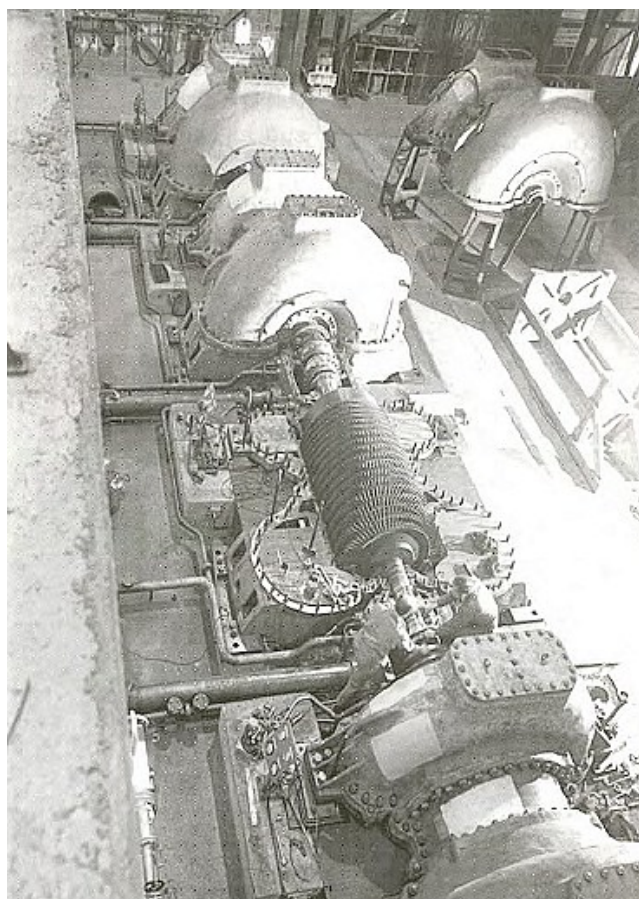


Fig. 8
Compresseur TB (Rateau) en cours de maintenance

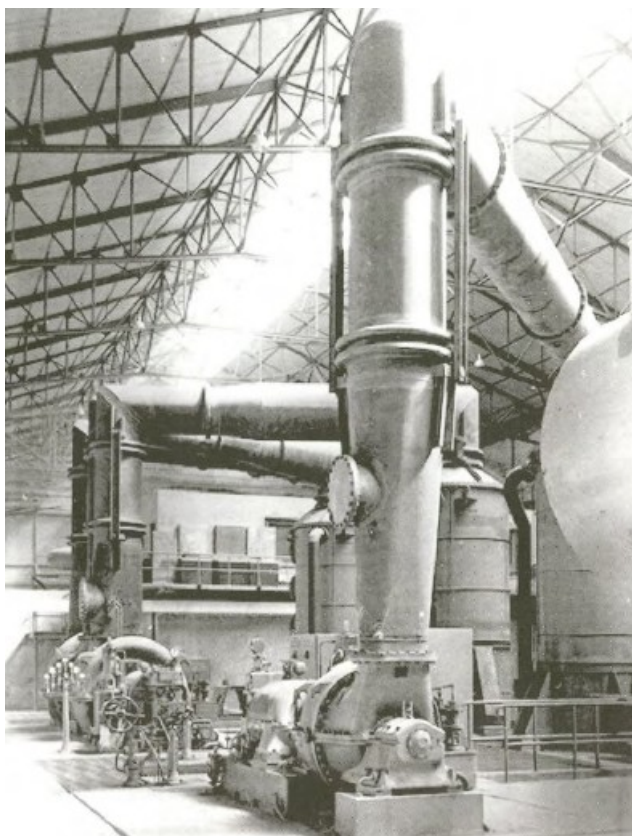


Fig. 9
Groupe d'extraction Rateau (3,5 MW)

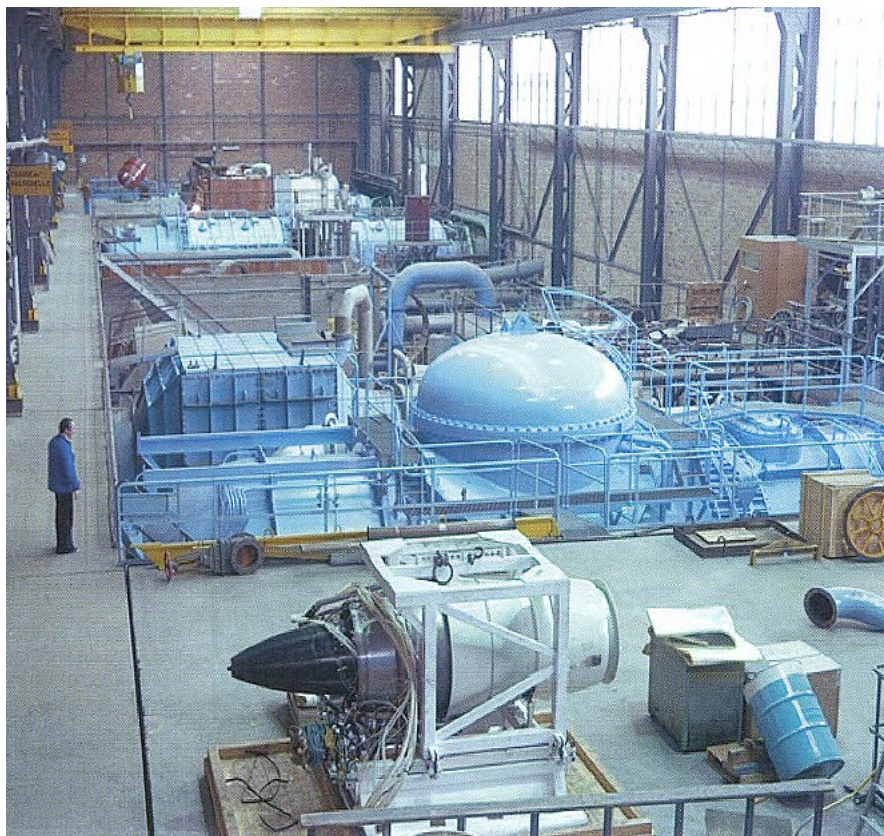


Fig. 10
Les caissons R3, R4, R5 et R6 au Hall nord du bâtiment B

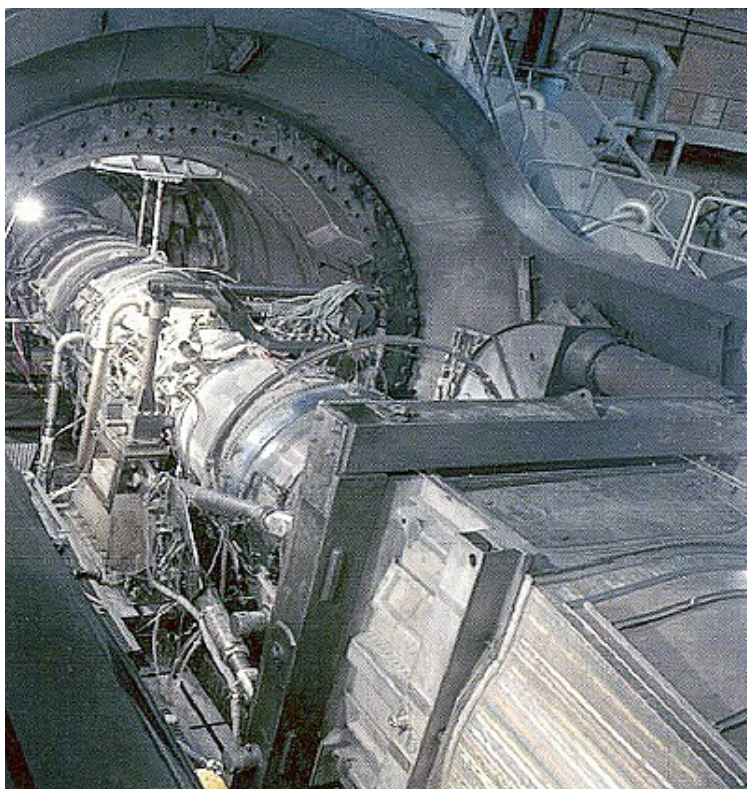


Fig. 11

Essai d'Olympus 593B avec post-combustion au caisson R5

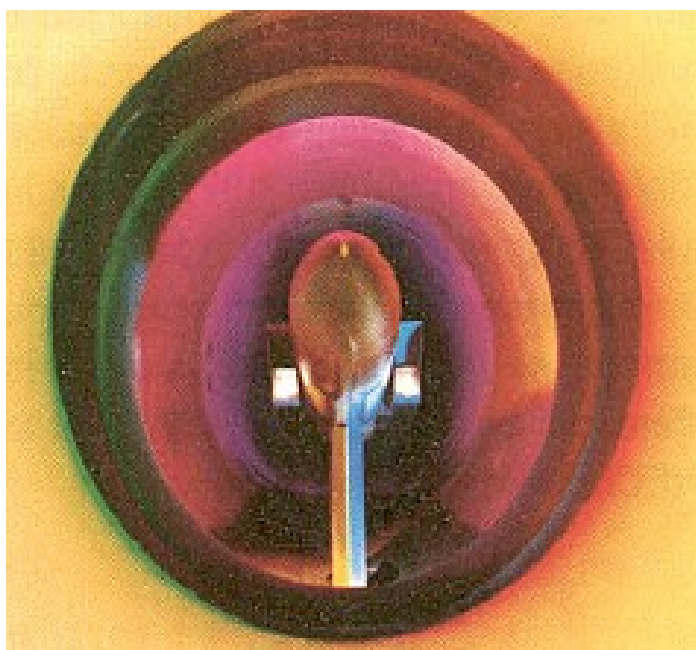


Fig. 12

ASMP prêt pour essai au caisson



Fig. 13
Le banc F1 au CEPr, réutilisé plus tard au CAEPE
sous l'appellation banc MESA



Fig. 14
Un essai au Silo SEREB



Fig. 15
Chambre de combustion en essais

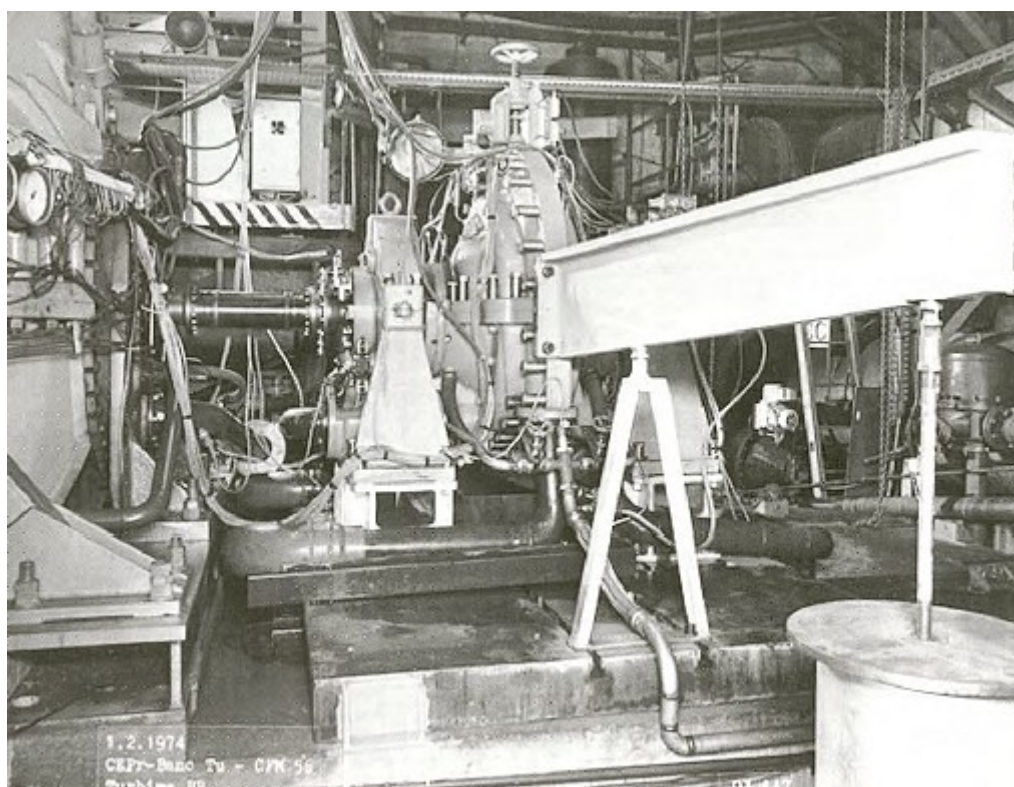


Fig. 16
Turbine en essai au banc TU

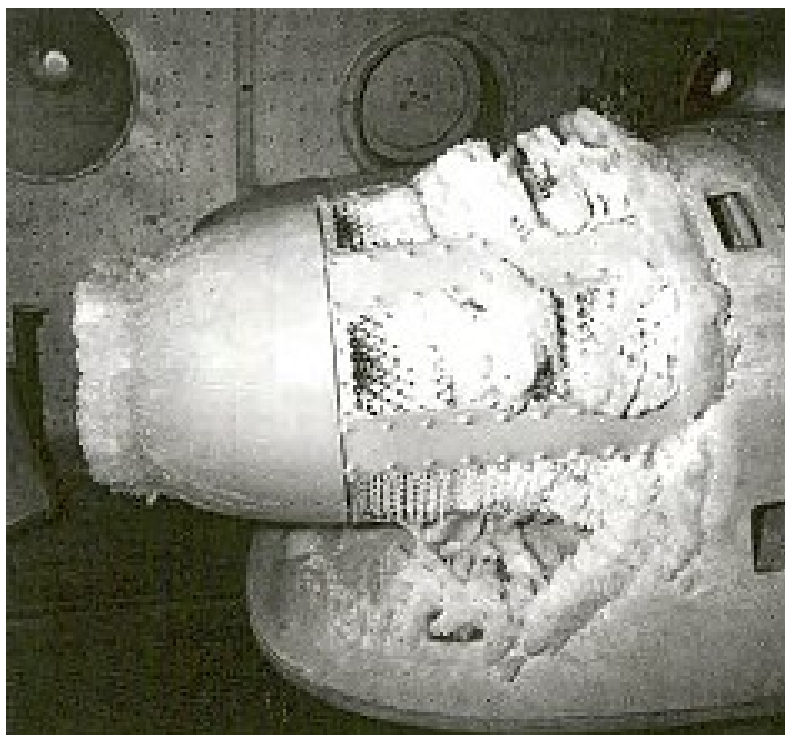


Fig. 17
Entrée d'air d'hélicoptère en essai de givrage

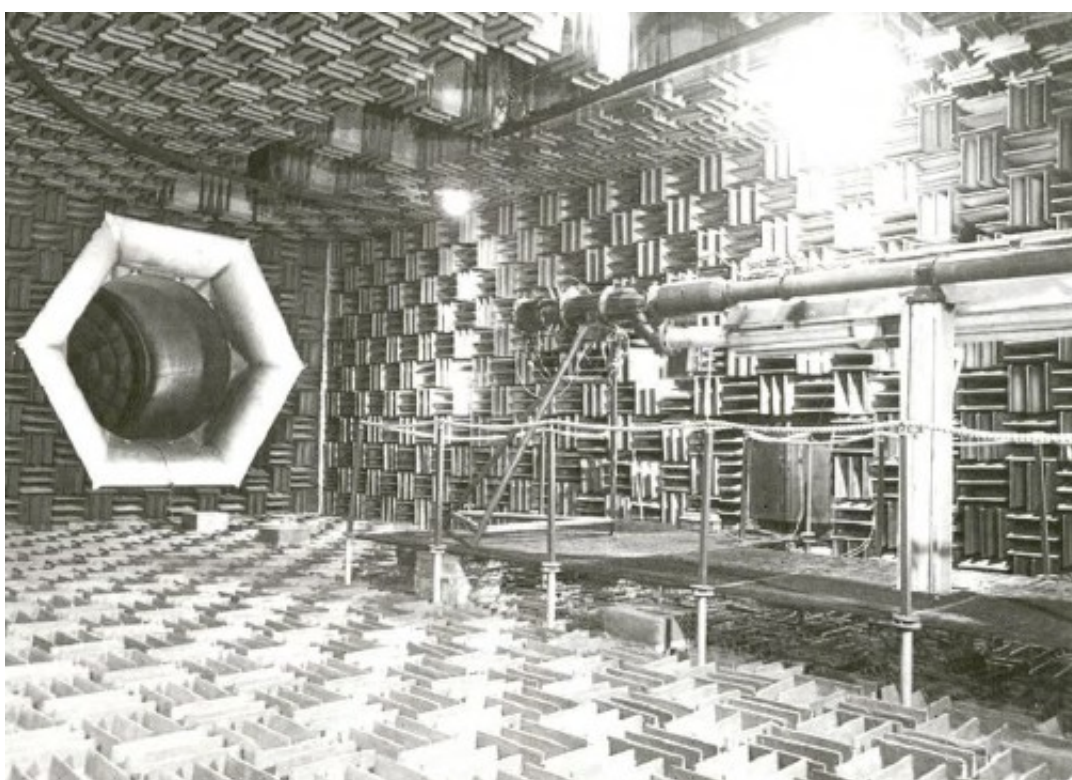


Fig. 18
La chambre anéchoïque A17



Fig. 19
Les bancs T0 et T1



Fig. 20
Deux Olympus 593B en essais simultanés au banc T1



Fig. 21

Cabine d'essai dans les années 50. Les mesures sont faites à l'aide de manomètres à liquides (eau et mercure)



Fig. 22

Cabine d'essai en 1970



Fig. 23
Central de mesures, dans les années 70



Fig. 24
Essai de givrage de système de ravitaillement en vol



Fig. 25

Laboratoire d'étalonnage des capteurs de mesures électriques

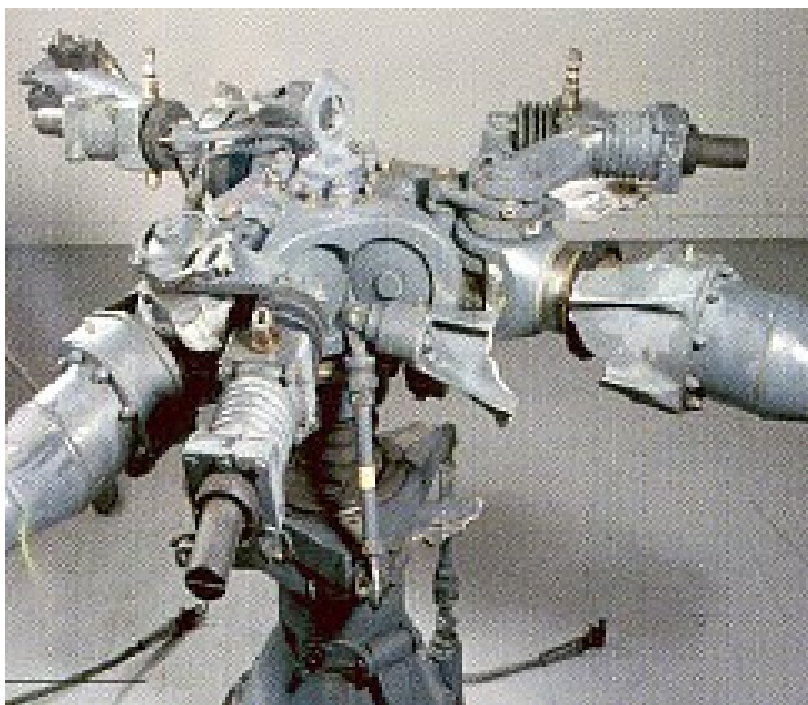


Fig. 26

Tête de rotor d'hélicoptère en expertise



(a) Le Bâtiment C, une imposante installation



(b) Les deux lignes de compresseurs CA et CB

Fig. 27
Le bâtiment C

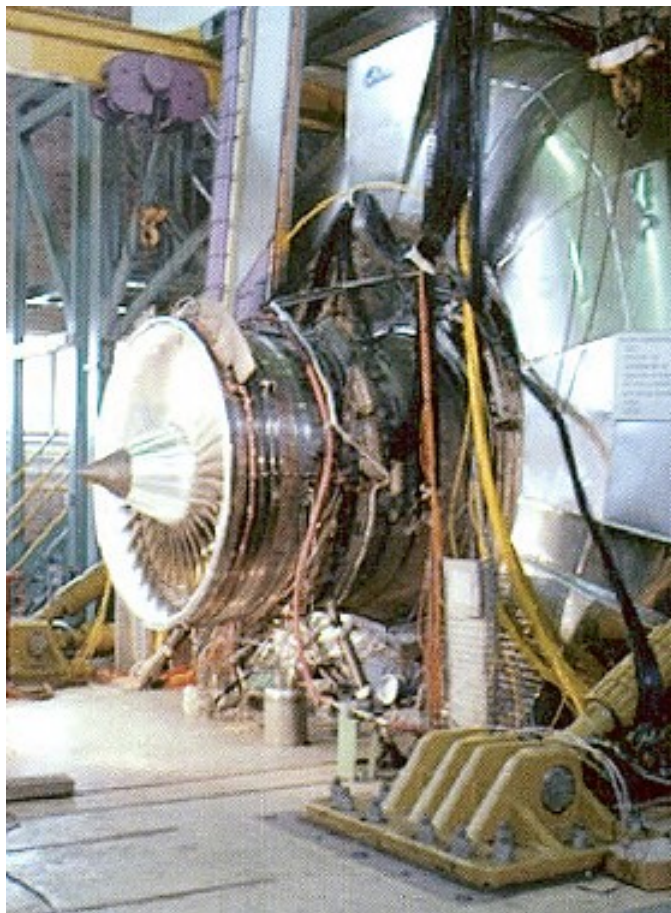


Fig. 28
Compresseur du CFM56 en cours de montage au banc C3



Fig. 29
CFM56 au banc TX face à un canon multitubes

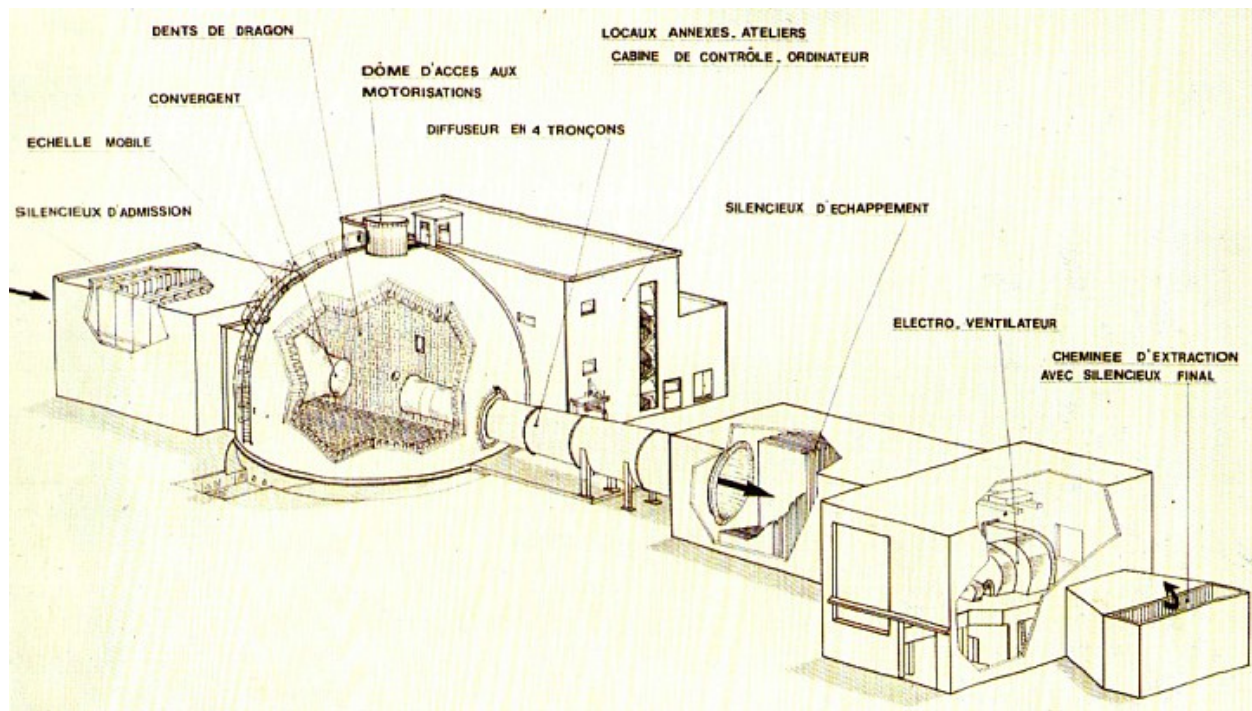


Fig. 30
Soufflerie CEPRA 19. Vue schématique d'ensemble



Fig. 31
Intérieur de la soufflerie CEPRA19

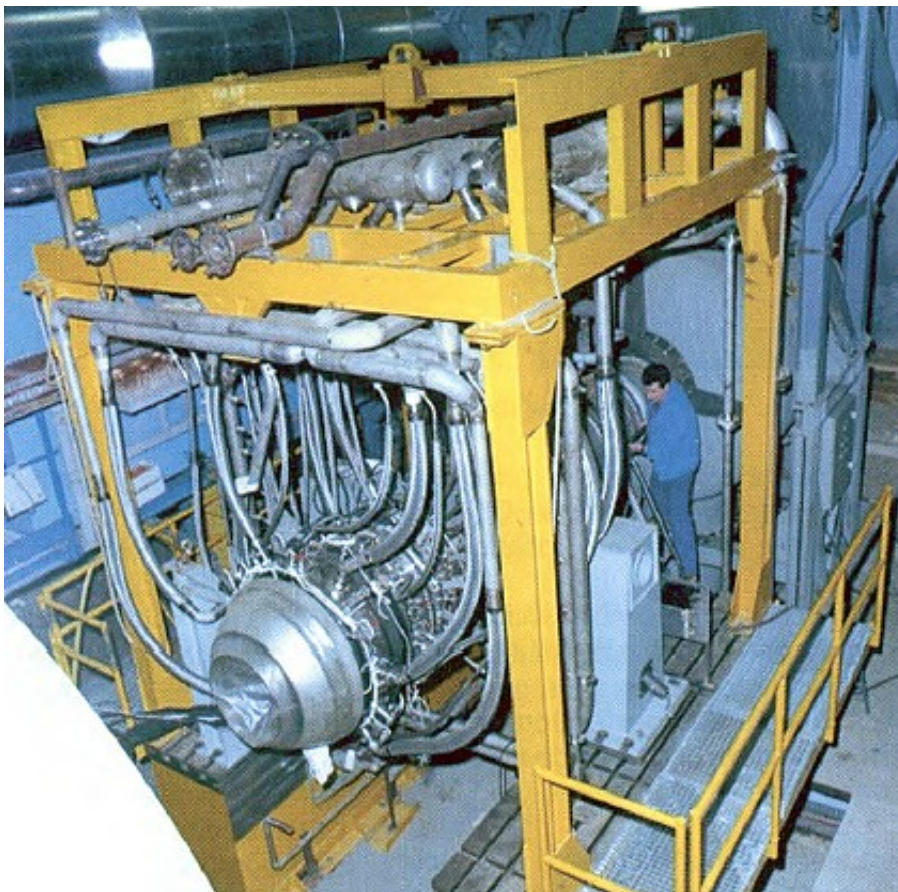


Fig. 32
Montage DEXTRE au banc L4

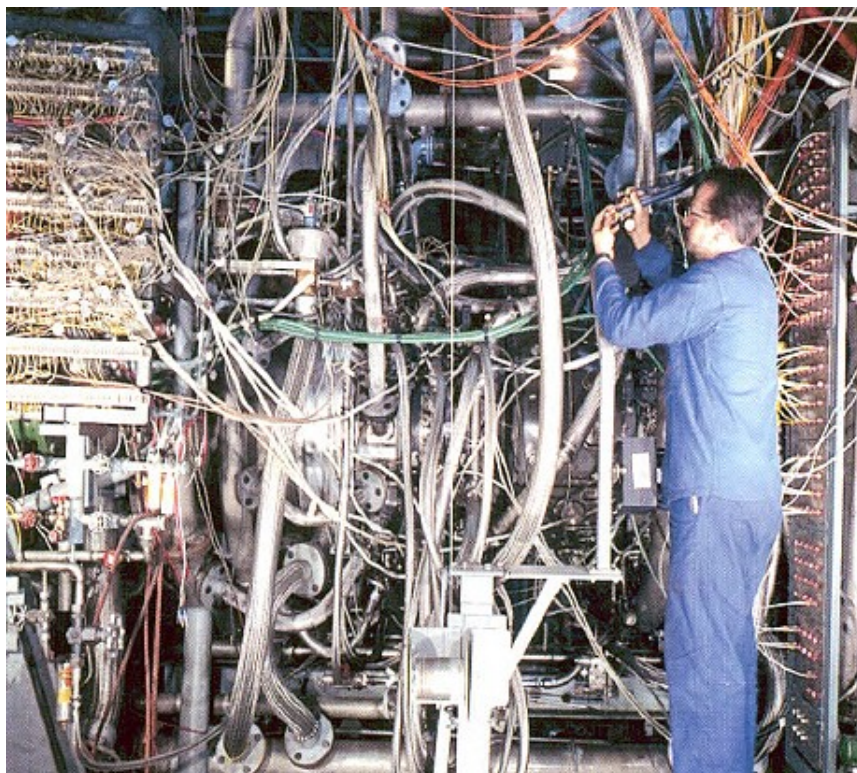


Fig. 33
Le montage MINOS et son extraordinaire complexité



Fig. 34
RENOVMOS, le module EX1

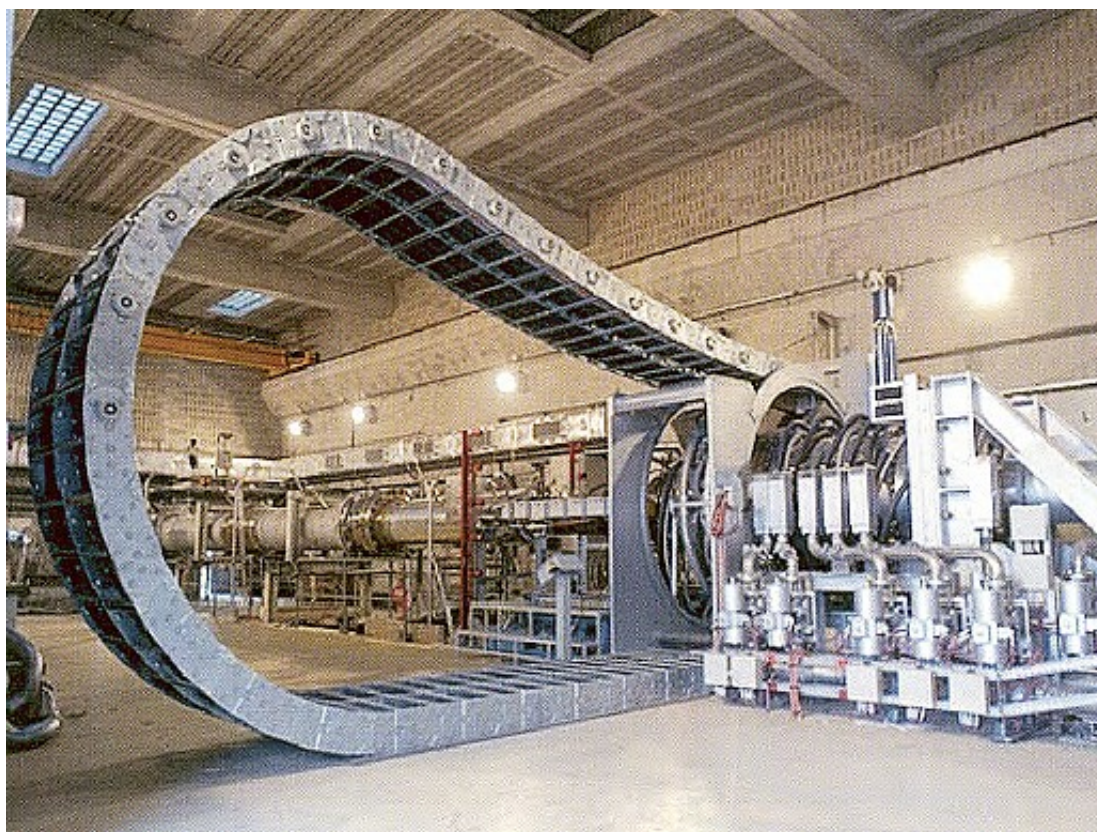


Fig. 35
RENOVMOS, le module HP1, la veine d'essai



Fig. 36

La cabine de conduite d'essais des caissons R3 et R4 après rénovation (objectif grand angle)

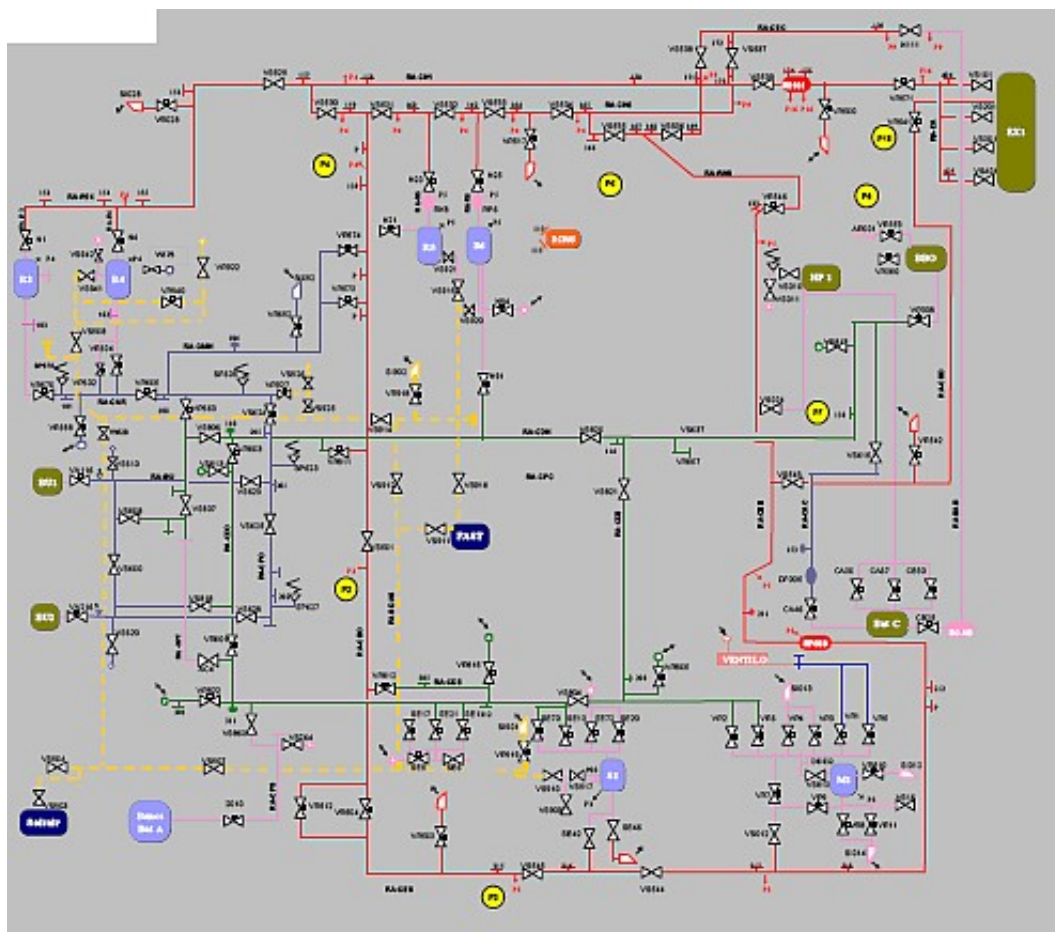


Fig. 37

Schéma synoptique des installations à la fin 2010 (simplifié)

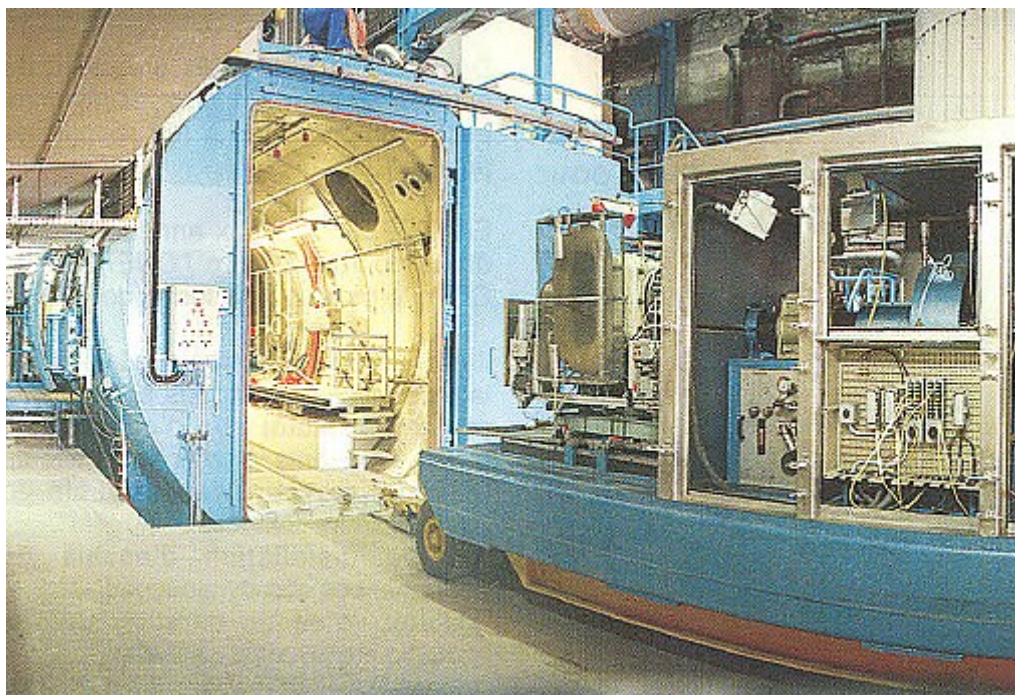


Fig. 38

Un exemple de « palettisation ». Un moteur MTR390 du Tigre va entrer au banc M1

CHAPITRE 4

Le CAP (Centre aéroporté de Toulouse)¹

1 - INTRODUCTION

A l'issue du deuxième conflit mondial, dès que les parachutistes furent rattachés à l'armée de Terre pour former les Troupes aéroportées, la Direction des études et fabrications d'armement (DEFA²) s'organise pour prendre en charge, au même titre que pour les autres secteurs conventionnels des armements terrestres, les missions de définition et de production des matériels pour l'équipement du combattant parachutiste, ainsi que pour son environnement.

Relativement modeste à l'origine, cette mission s'est rapidement développée, d'une part sous la pression des besoins d'équipement des unités en formation puis des nécessités opérationnelles d'Extrême-Orient et d'Afrique du Nord, mais aussi, d'autre part, en raison de l'évolution de la flotte des avions de transport de l'armée de l'Air, composante essentielle de l'emploi des Troupes aéroportées.

C'est ainsi que, pour dépasser la capacité de largage d'un groupe de combat, qui sautait de l'avion allemand Junker 52 avec des colis d'accompagnement de l'ordre de la centaine de kilos, les équipes techniques eurent à s'adapter et à se doter de moyens suffisants pour perfectionner l'équipement du combattant individuel, puis ouvrir le domaine du largage lourd à partir du Nord 2501 et contribuer au développement du concept de l'aéromobilité au profit de toutes armes au moyen du Transall C160 et des hélicoptères.

Progressivement, une organisation s'est donc mise en place, des équipes ont été constituées et formées, des investissements ont été réalisés pour former un établissement spécifique et homogène : le Centre aéroporté de Toulouse.

A la fois "Centre technique" et "Centre d'essais", cet établissement était doté désormais de moyens humains et matériels qui lui permettaient de traiter toutes les faces de sa mission, y compris certains aspects industriels pour lesquels il n'y avait pas de solution de sous-traitance.

2 - HISTORIQUE

A l'origine, dès 1948, les programmes de développement de matériels destinés aux "aéroportés" sont traités par un seul officier détaché auprès de l'Administration centrale de la DEFA. Sa mission s'inscrit dans le cadre des dispositions de la décision n° 3664/SEP du 19 juillet 1951 qui fixe les attributions respectives de la DEFA et celles de la DTIA pour les études et fabrications de parachutes.

¹ Par Joseph Goursolle[†], Franco-Renso Bonan et Michel de Launet.

² La DEFA deviendra la Direction technique des armements terrestres (DTAT) lors de la création de la Délégation ministérielle pour l'armement (DMA). La Direction technique et industrielle de l'aéronautique (DTI ou DTIA) deviendra la Direction technique des constructions aéronautiques (DTCA) dans le cadre de la DMA.

Une première équipe est assez vite constituée autour de cinq ou six officiers parachutistes, détachés des armes, avec deux ou trois ingénieurs civils et un secrétariat. Toujours implantée à l'Administration centrale, cette équipe fonctionne jusqu'aux premières années 60 en s'appuyant sur un petit noyau d'industriels et sur les moyens de l'Ecole des troupes aéroportées de Pau (ETAP) pour effectuer les essais de parachutage et de largage.

Dans le même temps, la Section technique de l'armée de Terre (STAT) crée un groupement "Aéroportés" et met en place deux détachements de liaison, l'un auprès du Centre d'essais en vol (CEV³) de Brétigny relevant de la DTIA, l'autre auprès de l'ETAP ; un peu plus tard, elle détache aussi une antenne à Saïgon pour les besoins opérationnels du corps expéditionnaire.

Pour ce qui concerne l'organisation des structures du Secteur des "aéroportés" des armements terrestres, la première normalisation procède de l'ordre n° 6 du 29 septembre 1954 qui distingue :

- un département "Aéro" à l'Administration centrale de la DEFA ;
- un service d'études rattaché à l'Atelier de construction de Puteaux (APX) ;
- un Centre d'expériences rattaché à l'Atelier de fabrication de Toulouse (ATE) qui est doté en propre d'une zone de largage de 130 ha à Fonsorbes, situé à 15 km à l'ouest de Toulouse.

Parallèlement, le détachement de Pau de la STAT est juxtaposé au Centre d'expériences de la DEFA à Toulouse. De ce rapprochement naît un esprit de complémentarité remarquable.

Tandis que la portion centrale, ainsi déchargée des tâches d'exécution, peut se consacrer à la programmation et au contrôle des activités, le Service des études et le Centre d'expériences, désormais soutenus par deux établissements traditionnels, reçoivent des moyens propres en personnels et en matériels, et deviennent plus performants.

En particulier, alors que le Service d'études crée les équipements de soute de l'avion Nord 2501 et met au point les premiers conditionnements de véhicules et engins en vue de leur largage, le Centre d'expériences, avec le concours du Centre d'expériences aériennes militaires (CEAM) de Mont-de-Marsan, entreprend les campagnes de largages qui se poursuivront chaque semaine, pour la mise au point des procédures et des matériels.

On s'aperçoit cependant assez vite que la séparation des fonctions "études" et "expériences" souhaitable au plan des principes, manque d'efficacité, spécialement en raison de l'éloignement ; les déplacements de personnels entre les sites entraînent des pertes de temps très importantes et l'information sur les faits techniques ne passe pas toujours très bien, aussi bien dans un sens que dans l'autre. D'où, finalement, une assez mauvaise efficacité de l'organisation.

Aussi, l'idée de regroupement de ces deux organismes apparaît-elle dès 1957 et deux projets de restructuration sont envisagés :

- le premier auprès du CEV de Brétigny ;
- le second sur le site de la zone de largage de Fonsorbes.

Tous les deux visaient la création d'installations nouvelles mieux adaptées aux besoins et ils avaient, l'un et l'autre, des avantages et des inconvénients ; en

³ Voir le chapitre 1 de ce document.

revanche, ils avaient surtout en commun d'être très onéreux. Aussi, une solution de compromis, conduite parallèlement à une modernisation des installations de la cartoucherie de l'ATE qui libérait des locaux, fut-elle donc retenue à Toulouse. Cette décision, intervenue en 1957, crée le Centre aéroporté de Toulouse (CAP) mais ne va pas sans soulever quelques difficultés : le Service d'études est à ce moment-là bien rodé en région parisienne et son réseau d'industriels est peu enclin à venir travailler en province ; par ailleurs, le concept de la décentralisation n'est pas entré dans tous les esprits et Toulouse n'est pas encore la capitale européenne de l'aéronautique...

Des dispositions de transition, qui s'avéreront très opportunes par la suite, sont donc prises ; elles maintiennent un organe de liquidation du Service des études auprès de l'APX pendant que de nouveaux moyens techniques s'organisent à Toulouse. Ce détachement de liquidation, qui rejoint à nouveau l'Administration centrale, se transforme en Service de développement ; il a la charge d'industrialiser les prototypes venant d'être mis au point et de lancer en production les premières séries des matériels dits de la génération Nord 2501. Il jouera ainsi un rôle capital qui contribuera à préparer le CAP au 3^e volet de sa mission, le pilotage technique des fabrications, qui lui sera transféré en 1964.

Dès lors, le CAP, qui a quadruplé ses effectifs entre 1957 et 1962 et augmenté ses moyens de façon notable, a sensiblement atteint sa majorité. En charge de la totalité des missions de définition, d'évaluation et de tutelle technique des matériels en service, il est alors en mesure d'entreprendre la conduite des programmes de matériels de la génération Transall C160.

Entre temps, l'aspect aéronautique des programmes ayant pris une autre dimension, le CEV reprend à son compte les essais en vol qui étaient assumés par le CEAM ; il s'ensuit une nouvelle orientation entraînant la mise en place, par le CAP, d'un détachement de liaison d'une quinzaine de personnes auprès du CEV pour effectuer certains essais "constructeur" en région parisienne. A vrai dire, pour la conduite de programmes se situant à la charnière des domaines terrestre et aéronautique, les attributions et responsabilités réciproques, qui restent essentiellement régies par la décision n° 3644 de 1951, n'apparaissent pas toujours clairement au niveau des hommes ; il s'ensuit parfois des duplications, voire quelques différends, qui seront toutefois rapidement réglés.

Cependant, il faudra attendre la stabilisation des mesures de réforme de l'Armement, une meilleure prise de conscience de la notion de maîtrise d'œuvre, ainsi qu'une valorisation du potentiel technique du CAP, notamment par l'affectation d'un ingénieur de l'armement de la branche Air en qualité de sous-directeur, pour que les choses rentrent tout à fait dans l'ordre au cours de la seconde moitié des années 70.

Au début des années 80, le CAP est définitivement intégré dans les structures de l'Armement et il dispose d'une pyramide plus jeune et mieux équilibrée en niveaux. Le principe de remise à hauteur de ses installations a été approuvé, ses compétences et ses responsabilités de maître d'œuvre des programmes "aéroportés" sont reconnues et la coopération avec les Services techniques aéronautiques s'exerce dans un esprit excellent de complémentarité.

Parallèlement, l'équipe en place au sein de l'Administration centrale s'est considérablement allégée. Ayant délégué complètement au CAP l'aspect technique

des programmes, elle reste l'interlocuteur privilégié du "client" (état-major de l'armée de Terre et tout autre organisme de l'administration du secteur privé) et traite notamment de la politique industrielle.

L'évolution des structures a été assortie d'une politique de normalisation des effectifs. D'origine entièrement militaire au départ, le personnel d'encadrement et d'exécution technique, provenant d'officiers, et de sous-officiers parachutistes (les premiers en situation de détachés des armes et les seconds embauchés à titre civil en qualité d'agents sur contrat ou ouvriers professionnels hautement qualifiés) a été progressivement remplacé par des personnels militaires et civils des corps traditionnels de l'Armement.

Par la suite, des ouvriers, puis des techniciens, sélectionnés au sein des établissements de rattachement de l'APX et de l'ATE, sont venus renforcer les équipes initiales et acquérir auprès d'elles les compétences spécifiques. Enfin, en 1961, dans le cadre d'une loi spéciale, la DEFA a intégré cinq officiers parachutistes dans les corps militaires d'ingénieurs, soit deux ingénieurs militaires des fabrications d'armement et trois ingénieurs des travaux d'armement, qui ont permis de réaliser une meilleure continuité de l'encadrement supérieur.

En 1987, les effectifs se trouvent pratiquement renouvelés et les nouveaux personnels, qui ont parfaitement intégré les compétences pratiques de leurs anciens, sont issus des voies de recrutement normal de l'Armement. Quelques postes d'emploi "aéroportés", ouverts à des officiers et sous-officiers détachés des armes, ont cependant été maintenus. En contribuant aux évaluations des matériels, ils apportent aux techniciens le concours précieux de la vision de l'utilisateur.

3 - IMPLANTATION - MOYENS D'ESSAIS

En matière d'investissements, la première priorité a été réservée aux moyens d'essais et à la réalisation d'une zone de largage, propre au Centre d'expériences, acquise en 1955 par voie d'expropriation ; il s'agit d'un terrain de 130 hectares, situé sur les communes de Fonsorbes et de Plaisance du Touch.

Pour le reste, c'est-à-dire les installations proprement dites, les investissements ont été limités à des travaux d'aménagement de locaux dégagés par l'APX ou l'ATE, puis exclusivement par l'ATE après le regroupement des services à Toulouse.

Pour le dépouillement des mesures, le CAP a pratiqué pendant longtemps une politique de sous-traitance, notamment auprès du Centre d'essais aéronautiques de Toulouse (CEAT⁴) relevant de la DTCA, ainsi que de l'Université de Toulouse, qui avaient des disponibilités de traitement sur ordinateurs. Par la suite le CAP s'équipera en propre d'un ordinateur.

Outre l'acquisition initiale de la zone de largage, les principaux investissements réalisés au CAP sont les suivants :

- un parc de véhicules et d'engins spécifiques qui sera constamment mis à hauteur pour le soutien des essais, notamment pour le rendre compatible avec la capacité du Transall C160 ;
- des moyens d'essais, ainsi que des laboratoires pour la préparation des appareils de mesure et le dépouillement des enregistrements qui, eux aussi, seront

⁴ Voir le chapitre 2 de ce document.

régulièrement actualisés selon des critères convenus avec le CEV de façon à ce que les mesures "avion" et "mobile aéroporté" restent compatibles et complémentaires ;

- l'équipement de la zone de largage avec une batterie de cinéthéodolites Askania en 1969, puis d'une batterie Contravès en 1975 ;
- la construction d'un bâtiment de direction en 1962 ;
- la construction d'une maquette grandeur de la soute du Transall C160 en 1964.

Outre l'intérêt de permettre nombre de simulations de chargement ou de largage, cette maquette aura l'avantage d'être disponible en permanence, de réduire sensiblement le nombre d'heures d'immobilisation avion et, par là même, d'abaisser les coûts de façon importante ;

- la construction d'une tour de séchage des parachutes en 1966 ;
- la modernisation des moyens de dépouillement et de traitement des mesures ; en permettant une approche plus scientifique de l'exploitation des résultats d'essais, elle contribuera aussi à réduire les délais et les coûts ;
- la construction, en 1982, d'un "tambour-culbuteur", moyen d'essais qui permettra au CAP d'exploiter ses compétences d'amortissement de l'énergie de choc et d'élargir son champ d'activités au domaine de l'essai des emballages.

Enfin, en 1982-83, deux autres programmes d'investissements ont été réalisés ; il s'agit :

- de l'extension de la zone de largage de Fonsorbes dont la superficie sera approximativement doublée. Cette opération avait un double objectif :
 - réaliser un périmètre de sécurité pour les largages et augmenter la capacité des parachutages de personnels en un seul passage d'aéronef ;
 - permettre le largage à très faible hauteur et éventuellement le poser d'assaut d'un avion de la classe Transall C160 ;
- de la restructuration du CAP autour de son bâtiment direction dans l'enceinte de l'ATE, avec la construction et l'aménagement d'installations neuves spécialement adaptées, dont la réalisation était restée différée depuis 1957.

Avec l'expérience, les méthodes développées par le CAP permettent d'aborder les problèmes de manière plus scientifique et d'abandonner les approches empiriques ou expérimentales qui ont longtemps prévalu. A partir des années 1970 cette évolution sera encore accentuée par le fait que le CAP devra rembourser les heures de vol au budget de l'armée de l'Air ; cet "ukase" incitera le CAP à modifier ses conditions de travail et à développer des méthodes de simulation.

4 - LES MISSIONS DU CAP

De leurs origines à ce jour, les services "aéroportés" des Armements terrestres ont été surtout préoccupés par la satisfaction des besoins des unités des Troupes aéroportées et par ceux de la livraison par air au profit de toutes armes.

Parmi les premiers besoins, l'équipement en vue du saut du combattant parachutiste est toujours resté d'actualité, aussi bien au niveau des parachutes qu'en ce qui concerne les équipements individuels ou collectifs d'accompagnement ou d'environnement. Outre le fait que les matériels sont de nature très évolutive pour obtenir les performances les plus avancées et que, par ailleurs, ils sont relativement dépendants des aéronefs à partir desquels ils sont utilisés, il s'ensuit que ces matériels et équipements requièrent, à tout le moins, une veille technologique

permanente et, en tout cas, des études très fréquentes de remise à hauteur ; d'où un régime soutenu d'activités d'études et d'essais, indépendamment des actions de tutelle technique des matériels en service à modifier.

Les autres besoins recouvrent un domaine beaucoup plus vaste et très diversifié puisque les besoins peuvent aussi bien concerner le ravitaillement en vivres et munitions d'un petit poste isolé que celui d'une grande unité en zone avancée, sans parler du cas classique de soutien d'une opération aéroportée.

Bien évidemment tributaire des aéronefs utilisés, le ravitaillement par air doit également tenir compte du contexte opérationnel au sol ; si bien que, pour les cas où l'aérotransport n'est pas possible, il a été nécessaire de mettre au point des méthodes de largage à différentes hauteurs :

- à moyenne hauteur dans les cas courants ;
- à très grande hauteur ou à très faible hauteur pour les cas difficiles.

Les méthodes de largage étant définies, il restait à concevoir les matériels et accessoires de conditionnement en vue du largage, ainsi que les conditionnements eux-mêmes qui doivent tenir compte des caractéristiques propres des matériels à larguer ; ainsi, le conditionnement de chaque type de véhicule devra faire l'objet d'une étude particulière et d'essais de vérification.

A partir des années 1970, une importante évolution s'est imposée au Centre : si son service d'essais a dû relever son niveau technique, avec l'arrivée des nouvelles technologies et d'un nouvel avion, le Transall C160, le Service des études chargé des développements a, quant à lui, changé de mission, passant du statut de maître d'œuvre au statut de maître d'ouvrage. En effet, jusqu'alors le développement des matériels se déroulait à l'image du fonctionnement de la plupart des Etablissements de fabrication de la DTAT. Mises à part les techniques spécifiques au parachute, le Service des études concevait lui-même, faisait réaliser un prototype, le mettait au point avec l'aide du Service des essais, puis enfin le présentait aux épreuves militaires.

L'Administration centrale a donc demandé que l'activité du CAP soit désormais orientée vers une mission purement étatique. Il s'agissait d'abord de mieux préparer les décisions par une étude paramétrique de l'aspect coût-efficacité du matériel, puis, naturellement, de disposer d'une plus grande diversité de solutions en faisant jouer la concurrence industrielle.

Dans cette optique, l'équipe de base du Service des études s'est transformée en Service technique. Un groupe d'une vingtaine de personnes, dont 4 ingénieurs, a été constitué en section incluant les spécialités pour traiter :

- du saut en parachute individuel ou en groupe ;
- des techniques de largage de matériels ;
- de l'aérotransport, y compris sur avion civil.

5 - NOUVEL AVION, NOUVELLE APPROCHE

La mise en service du nouvel avion de transport, le Transall C160, aux capacités opérationnelles nettement supérieures à celles du Nord Atlas 2501, a imposé une adaptation des équipements des TAP (Troupes aéroportées). Ce fut relativement rapide pour la transposition du parachutage des combattants, mais beaucoup plus délicat pour ce qui concernait la livraison par air de matériels lourds (largage sous

parachute et aérotransport). En effet, entre les deux générations d'avion, la différence de niveau technologique était telle que cela revenait à comparer le véhicule Renault Estafette au camion poids lourd moderne.

6 - EVOLUTION DU CENTRE D'ESSAIS

Le Centre d'essais, pour sa part, a vu également ses responsabilités évoluer. Auparavant, il avait vérifié en vraie grandeur, à la demande du Service des études, une succession de caractéristiques au cours des mises au point progressives des prototypes. Maintenant, il donnait un avis éclairé sur toutes les performances des matériels, leur compatibilité avec les équipements en service et surtout sur la facilité de mise en œuvre par du personnel peu spécialisé. Enfin il veillait au respect des règles de sécurité. Pour cela, ce service participait à l'élaboration du programme d'évaluation, ce qui lui permettait par ailleurs de mieux gérer ses moyens de mesure.

Pour augmenter son efficacité, il a porté une attention particulière sur la méthodologie : chaque essai complexe ou très coûteux était précédé d'une « analyse d'anomalies » apportant une aide précieuse à la décision en cas de perturbations ou de pannes durant l'essai.

Sur le plan des moyens, un effort financier important a été consenti pour accroître les capacités d'investigations (remplacement des cinéthéodolites, achat de caméras rapides, d'enregistreurs embarqués, etc.). Pour le contrôle de composants, le Centre d'essais a mis en place une coopération étroite avec le Centre d'essais aéronautique de Toulouse (CEAT), permettant d'utiliser, à la demande, les moyens importants de ce Centre.

Seuls les moyens d'essais spécifiques aux éléments en textile ont été acquis et exploités sur place. D'ailleurs, l'industrie textile a souvent utilisé ses compétences : le laboratoire spécialisé avait la qualification nécessaire pour certifier les cordes d'alpinistes, par exemple.

7 - NOUVEAU PARACHUTE D'ARME ET MOYENS D'INSTRUCTION ASSOCIES

Dès les premières années 1970, avec la mise en service du Transall C160, le besoin s'est fait ressentir de moderniser l'ensemble des équipements permettant le parachutage des combattants. Les études générales ayant permis de bien cerner les caractéristiques techniques alors possibles, l'EMAT a pu décider, en toute connaissance, du développement d'un nouvel Ensemble de parachutage individuel (EPI) et de ses moyens d'instruction associés.

En accord avec l'Administration centrale, soucieuse de la politique industrielle, un concours d'idées a été lancé par contrat d'étude de définition auprès de deux fabricants français de parachutes : société Etudes et fabrications aéronautiques et société Aérazor. Les essais en vol de mise au point de chaque constructeur, ainsi que les essais de validation des prototypes retenus, ont été assurés et vérifiés par le Centre d'essais en vol de Brétigny. A la suite d'insuffisances techniques constatées sur les deux modèles en concurrence, l'étude a été orientée vers la recherche des meilleurs composants de chaque modèle en vue d'obtenir une nouvelle définition intégrant ces meilleurs composants.

Cependant en 1979, un événement important est venu perturber le déroulement des travaux : les deux entreprises ci-dessus, à la suite de difficultés financières, sont successivement passées sous le contrôle de la société Zodiac. La plupart des contrats en cours ont dû être renégociés.

De surcroît, en 1980, toute l'industrie nationale du parachute a subi les conséquences de la grave crise qui a affecté l'industrie textile et a amené la société Rhône-Poulenc textile (RPT) à décider l'arrêt des fabrications de fils utilisés pour le tissage des tissus pour parachutes. Un report temporaire de cette décision a cependant été obtenu afin de trouver une solution de remplacement et vérifier sa validité. Ces difficultés ont donc retardé le programme de plusieurs mois et ce n'est qu'au cours de cette année 1980 que la société Zodiac a pu présenter à l'évaluation technique et militaire les dix premiers équipements complets.

Ce nouvel ensemble présentait des performances accrues par rapport à tous les équipements connus dans les différentes armées, surtout en matière de sûreté du saut. Les progrès les plus significatifs portaient sur :

- une diminution du nombre des incidents de saut par une amélioration de la séquence d'ouverture de la voilure principale, mais surtout par l'adoption d'une nouvelle procédure de secours, aisée et rapide, en cas d'incident. En fait, l'ouverture du parachute de secours ne nécessitait plus qu'une simple traction sur une poignée de commande provoquant l'éjection de la voilure sous l'action d'un mini-parachute expulsé mécaniquement, particularité appelée « dispositif d'aide au déploiement ». Ce dispositif rendait la séquence fiable et rapide (2 à 3 secondes). Jusqu'alors, avec l'ancienne génération, c'était le parachutiste qui projetait la voilure. L'opération de secours pouvait durer une dizaine de secondes ce qui augmentait le risque d'incident grave ;
- une diminution du nombre d'incidents à l'atterrissage par une possibilité de vitesse horizontale, à la demande, pour contrer l'effet du vent, de façon à rendre moins risquée l'arrivée au sol (le traînage au sol du combattant pouvant, quant à lui, être évité par la mise en œuvre des libérateurs de voilure).

L'ensemble fut adopté par l'EMAT en 1981 sous la désignation TAP696-26 (figure 1). L'objectif visé alors était de renouveler, en une dizaine d'années, le parc complet de parachutes à personnels pour saut de groupe.

8 - EQUIPEMENT POUR SAUTS A OUVERTURE COMMANDEE

L'avion Transall C160 permettant la dépressurisation et l'ouverture de la soute jusqu'à 8 000 m, il était normal d'exploiter ce domaine de vol par quelques sauts expérimentaux effectués en 1975.

L'EMAT (Etat-major de l'armée de Terre), intéressé, a souhaité alors que des études plus approfondies soient lancées dans le but d'aboutir à la mise à terre de petits groupes de spécialistes capables de rejoindre un lieu parfois éloigné de quelques kilomètres par rapport au point de largage. Ces caractéristiques ont conduit à définir un ensemble d'équipements pour sauts opérationnels à très grande hauteur (ESOTGH).

A terme, l'équipement individuel devait comprendre :

- un parachute à ouverture commandée manœuvrable, offrant une vitesse horizontale supérieure à 10 m/s ;
- un équipement d'oxygénation permettant une descente sous voile pour des sauts effectués à 8 000 m ;
- des appareils de contrôle et de guidage ;
- des vêtements protégeant le parachutiste des grands froids rencontrés en altitude.

En outre, le groupe devrait disposer dans l'avion d'une alimentation en oxygène autonome capable d'assurer ses besoins après dépressurisation jusqu'au moment du saut.

Cette étude, qui n'était pas prioritaire, a mis en évidence de nombreux problèmes techniques liés aux basses températures, comme le givrage de l'alimentation en oxygène et des lunettes de protection ainsi que la perte de dextérité du parachutiste encombré par les protections. Et ce n'est qu'au début des années 1980 que quelques expérimentations complètes ont permis de cerner clairement ces difficultés pour lesquelles on ne voyait pas encore de solutions satisfaisantes. En conséquence, il a été décidé de traiter séparément et graduellement l'étude des différents sous-ensembles et notamment celle du parachute.

On commençait alors à bien maîtriser la réalisation des parachutes-ailes, seuls capables de donner une vitesse horizontale importante. Quelques modèles existants pouvaient convenir aux besoins opérationnels. Après expérimentation, c'est le parachute-aile à 9 caissons produit par la société britannique GQ qui fut retenu par l'EMAT.

Cette décision de choix séparés a permis, par exemple, de former par anticipation quelques groupes de spécialistes, avec un équipement de base ne comportant pas l'alimentation en oxygène et les équipements "grand froid", ces dernières options pouvant se rajouter au fur et à mesure de leur mise au point.

Ainsi, s'est créé un nouveau mode d'intervention aéroporté, appelé « dérive sous voile » (DSV) (figure 2), consistant pour des parachutistes expérimentés largués à grande hauteur, à suivre une trajectoire prédéterminée pour atteindre leur objectif. En 1990, on pouvait espérer avec les capacités à planer des parachutes-ailes de l'époque, parcourir ainsi jusqu'à 50 km lors d'un déplacement rectiligne. L'avion de parachutage devenant de plus en plus vulnérable sur les théâtres d'opérations, il était intéressant de disposer de ce moyen de mise à terre complémentaire.

Les équipements de navigation nécessaires à ces nouvelles missions ont été graduellement spécifiés grâce à une bonne collaboration entre le CAP et la Cellule météorologique de l'armée de Terre. D'une part, des moyens simples de calcul ont été mis à la disposition du commandement des opérations pour l'aider à choisir la trajectoire aérienne la mieux adaptée aux circonstances locales (reliefs, météo, etc.). D'autre part, pour les parachutistes, ont été développés deux dispositifs amovibles distincts : l'un, simplifié et destiné aux équipiers, comporte un altimètre et un compas-boule ; l'autre, plus complet, est réservé au chef de groupe. Il comprend un récepteur GPS (*Global Positioning System*) et présente un écran de visualisation, déployable en vol, sur lequel sont portés les diverses informations comme les cap et

distance à l'objectif, force et direction des vents et la trajectoire aérienne à suivre. Ce dispositif amovible permet ensuite au groupe de poursuivre sa mission au sol.

Grâce à ces derniers moyens et aux perfectionnements apportés aux équipements modulaires cités plus haut, les TAP ont pu disposer dès 1995 d'équipements opérationnels, sans équivalent en Europe, pour le saut à ouverture commandée à toutes hauteurs.

9 - LE SYSTEME D'ARME LIE AU TRANSALL C160

Il s'agit de l'ensemble des équipements prévus pour effectuer la mise à terre des matériels équipant les TAP. Ces équipements regroupés en « lots de conditionnement » comprennent généralement une plate-forme de largage, des moyens d'arrimage de la charge à larguer et des outillages d'amortissement, sortes de supports adaptés permettant d'assurer l'appui de la charge sur un matériau amortisseur.

Des lots de conditionnement de base, non spécifiques à un matériel, permettent en outre de larguer du matériel en vrac. L'élément de base commun à tous ces lots est une plate-forme de largage constituée de plateaux à structure sandwich assemblés en 2, 3 ou 4 éléments par des longerons en alliage léger, crantés sur les flancs, pour être arrimés à l'équipement de soute de l'avion. C'est sur ces longerons latéraux que viennent se fixer des agrès d'arrimage de la charge et les élingues de suspension aux parachutes.

Les plates-formes de largage ont été développées par la société Soulé à Bagnères-de-Bigorre. Leur conception est intéressante pour la maintenance et l'approvisionnement, le Service du matériel pouvant facilement reconstituer des lots à partir des éléments interchangeables.

Pour effectuer le largage d'un matériel donné, il est nécessaire auparavant de tester un amortissement calculé pour absorber l'effet d'impact lors de l'arrivée au sol (qui se fait à une vitesse verticale moyenne de 6 m/s) (figures 3 et 4). La définition de l'amortissement ainsi que la préparation des matériels ont toujours été l'affaire de personnels expérimentés, ce qui explique qu'il n'a jamais été possible de sous-traiter ces opérations par manque d'intérêt industriel : c'est donc le Centre technique du CAP lui-même qui se chargeait de ces études demandées par l'EMAT au fur et à mesure des besoins.

Parmi les principaux matériels ainsi étudiés on peut citer : les véhicules légers armés ou non, la camionnette tactique, les matériels du Génie (compresseur, niveleuse, chargeur, etc.), les affûts 53-T1 et b53-T2, etc.

En dehors de ces activités de base, le CAP a organisé, à la demande de l'Administration centrale, une évaluation technique de plusieurs types de véhicules d'allègement pour TAP après une large prospection en France et à l'étranger. Le véhicule retenu par l'EMAT en 1977 est le véhicule français LOHR FL 500, baptisé « fardier léger ».

10 - L'AMELIORATION DES METHODES DE LARGAGE

Les premières livraisons par air effectuées avec Transall C160 se sont faites en transposant les méthodes de largage déjà utilisées avec la génération Nord-Atlas 2501. Pour des raisons opérationnelles, l'EMAT a demandé par la suite d'abaisser la hauteur de largage. Sur proposition de la DTAT des études générales ont été lancées dans deux directions :

- largage sous parachute à partir d'une hauteur inférieure à 300 m (désigné largage FH, Faible hauteur) ;
- largage sans parachute porteur à une hauteur maximale de 5 m (désigné largage TFH, Très faible hauteur).

Les premiers travaux menés ont conduit d'abord à des essais de faisabilité qui se rapportaient aussi bien au domaine de vol de l'avion qu'à la mise en œuvre des parachutes dans l'environnement très proche de l'avion. C'est donc avec le concours de la DTCA et sous l'égide du CEV que ces essais ont eu lieu.

Pour le largage FH (figures 5 et 6), un grand nombre de solutions ont été testées. Elles visaient d'abord à raccourcir le temps d'action des différents composants dans l'enchaînement cinématique de chaque procédé. Les résultats obtenus par ce moyen ont été insuffisants et il a fallu se résoudre à modifier la forme des parachutes principaux pour réduire de façon significative la hauteur nécessaire à leur déploiement. La solution retenue consistait à adjoindre des poches d'accélération d'ouverture sur le bord d'attaque des voilures. L'effet aérodynamique obtenu provoquait un déploiement nettement plus rapide de la voile. Le choc à l'ouverture devenait plus important mais restait dans des limites tolérables. Cette solution intéressante induisait une modification des parachutes en service, acceptable par l'EMAT du fait de son faible coût.

Pour ce qui est de la TFH (figure 7), la charge étant extraite de l'avion par parachute frein, la définition des paramètres de vol au moment du largage fut moins aisée à obtenir. Il a été nécessaire d'adjoindre aux instruments de bord un altimètre plus précis facilitant le maintien de l'avion à une hauteur constante. Ce procédé a nécessité un entraînement particulier des pilotes car l'aéronef, volant train d'atterrissage sorti à quelques mètres de hauteur, subissait les effets du choc à l'ouverture du parachute extracteur et du déplacement de la charge dans la soute.

Cette charge était conditionnée spécialement puisqu'elle subissait un véritable crash, la difficulté principale résidant dans la maîtrise de la position de la plate-forme au moment de l'impact au sol. Un contrôle aérodynamique de l'angle à cabrer de la plate-forme avait été d'abord envisagé puis abandonné car trop coûteux. Finalement, on a préféré adapter, au cas par cas, la position de l'attelage de parachute, un abaque précisant cette donnée en fonction du centrage de la charge sur sa plate-forme. Par ailleurs, ce type de largage étant plus délicat que les autres, il a été nécessaire de sécuriser fortement tous les composants utilisés ; en cas de réussite, on pouvait même envisager ainsi la mise à terre de combattants.

Les résultats favorables obtenus, tant pour la FH que pour la TFH, n'ont pas abouti tout de suite à un programme de développement de matériel. Il a été décidé cependant de poursuivre les essais en vue d'une maîtrise parfaite des procédés,

mais dès 1990 la nécessité de ces travaux s'est naturellement estompée avec le besoin opérationnel.

BIBLIOGRAPHIE

Joseph Goursolle, « Le Centre aéroporté de Toulouse, secteur aéromobilité » (1987), dans Documents ComHArT (Comité pour l'histoire de l'armement terrestre), Tome 4, *Centres d'essais et d'évaluation*, 1996, p. 91-103.

« Les services aéroportés de la Direction technique des armements terrestres », *L'Armement*, n° 48, décembre 1977, p. 134.



(a) Parachute d'arme TAP 696-26
avec gaine d'arme EL-22



(b) Exercice d'entraînement
avec parachute TAP 696-26
et gaine EL 22

Fig. 1
Parachutes d'arme



(a) Dérive sous voile
Parachutiste équipé

(b) Dérive sous voile
avec parachute G9



Fig. 2
Dérive sous voile



Fig. 3

Portique d'essais de chutes permettant de vérifier l'aptitude des matériels au largage



Fig. 4

Véhicule du Génie, prêt au largage



(a) Sortie d'une charge
constituée de deux véhicules
Lohr 500

(b) Phase
d'ouverture des parachutes
porteurs de charge



Fig. 5
Largage par éjection à moyenne hauteur



Fig. 6
Arrivée au sol d'un fardeau



(a) Largage à très faible hauteur



(b) Jeep Milan après un largage à très faible hauteur

Fig. 7
Largage à très faible hauteur

CHAPITRE 5

Le CIEES

(Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux)¹

1 - INTRODUCTION

Entre 1947 et 1967 la France a utilisé un champ de tir, près de Colomb-Béchar, dans le sud algérien pour les essais de missiles. Il était en effet apparu nécessaire de disposer d'installations en milieu désertique pour essayer ces engins dans des conditions acceptables de sécurité. On avait déjà fait des expériences sur des champs de tir sahariens ; c'est ainsi que la SEFT (Section d'études et de fabrication des télécommunications) avait mené sur le champ de tir de l'armée de Terre au Kreider des expérimentations de brouillage sur le guidage d'engins. Mais il ne s'agissait guère que d'opportunités sur des terrains dépourvus de toute infrastructure technique.

Aussi, quand les programmes d'engins spéciaux – comme on désignait alors ce qu'on appela plus tard des missiles – commencèrent à prendre de la consistance, on décida de créer un site apte à recevoir les essais requis pour les programmes des différentes armées. Le choix se porta sur Colomb-Béchar, situé à quelque 700 km au sud d'Oran. Il y avait là, en effet, une base aérienne de l'armée de l'Air, la BA 145, avec une piste d'atterrissage, et une base de l'armée de Terre. L'oasis était reliée à Oran par deux lignes de chemin de fer, dont l'une à voie normale. Mais les circonstances ultérieures ne permirent guère d'en tirer réellement profit.

C'est ainsi que par un arrêté interministériel du 24 avril 1947, il était créé un Centre d'essais d'engins spéciaux (CEES). Ce centre, initialement prévu pour les essais de la DEFA (Direction des études et fabrications d'armement), devait devenir « interarmées » en 1948 et prendre le nom de CIEES, Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux. Mais en fait, seuls Terre et Air furent parties prenantes. La Marine n'y fit au début qu'une apparition éphémère, car elle exploitait les possibilités qu'elle possédait en Méditerranée à l'île du Levant.

Le CIEES relevait alors directement du chef d'état-major des Armées, lequel était assisté d'un comité directeur, le Comité du Guir. Le nom provenait de celui de l'oued qui coulait au sud de Colomb-Béchar, au pied d'un plateau rocheux, la hamada du Guir, dont l'existence n'était évidemment pas étrangère au choix du site, car il offrait la possibilité d'utiliser bientôt, comme ce fut effectivement le cas, une vaste étendue désertique propice à des essais non dépourvus de risque pour l'environnement. Le Comité du Guir était une émanation du Comité d'action scientifique de la défense nationale (CASDN). Il était présidé par l'inspecteur scientifique des forces armées, et les organismes utilisateurs y étaient représentés : DEFA, DTIA (Direction technique et industrielle de l'aéronautique), EMAT (Etat-major de l'armée de Terre), EMAA (Etat-major de l'armée de l'Air), CNET (Centre national d'études des télécommunications), etc., sans d'ailleurs qu'il y ait de membre explicitement désigné par chacun de ces organismes. A la veille de sa disparition, dans les années 1959-1961, le Comité du Guir était présidé par le général de corps d'armée

¹ Par Michel de Launet.

Maurice Guérin. Il avait auprès de lui un sous-comité « Infrastructure–Equipements » que présidait l'ingénieur général Jean Tayeau, de la DEFA. Cette structure devait persister jusqu'en 1961. En avril de cette année, en effet, avait été créée la Délégation ministérielle pour l'armement (DMA), et le CIEES lui avait été rattaché.

La décision 759/DMA/ORG du 15 mai 1961 mettait fin à l'organisation précédente, supprimait le Comité du Guir, et créait l'organisation qui devait conduire à un champ de tir destiné au programme des engins balistiques de la force de frappe, mais tout en conservant les anciennes utilisations du Centre. Le CIEES était bientôt rattaché à la Direction des recherches et moyens d'essais (DRME) qui avait été créée en avril 1961. Au sein de celle-ci, une sous-direction « Moyens d'essais », la SDME, avait en charge les champs de tir, dont le CIEES, ainsi que le service chargé de leurs équipements techniques, le SECT², comme il sera expliqué plus loin.

La décision prise par le président de Gaulle en 1958 de doter la France d'un armement nucléaire et des moyens de le mettre en œuvre marquait une étape importante dans l'évolution du CIEES. Un programme de missiles balistiques à longue portée fut lancé et sa maîtrise d'œuvre fut confiée à une société constituée à cet effet, la SEREB (Société pour l'étude et la réalisation des engins balistiques)³.

Un champ de tir était nécessaire, pour que se déroulât ce programme. Il fut alors décidé que ce serait le CIEES, et l'on envisagea un champ de tir de 3 000 km, avec des stations d'observation et de mesure réparties tout au long de la trajectoire du missile, et des réceptacles correspondant aux différents besoins du programme. Des études furent entreprises dans ce sens dès 1958-59, d'abord pour un champ de tir sur 500 km jusque vers la région d'Adrar, puis sur 1 500 et 3 000 km, jusqu'aux abords du Tchad.

La fin de la guerre d'Algérie et les accords d'Evian en mars 1962 provoquèrent l'abandon de ce projet. Toutefois un compromis était intervenu pour que la France continue à utiliser ses sites d'expérience sahariens jusqu'en 1967, le temps nécessaire pour que soit reconstitué en métropole le centre d'essais que nécessitait la mise au point des missiles balistiques, le Centre d'essais des Landes (CEL)⁴. Mais désormais il n'était plus question de développer le champ de tir saharien de façon aussi ample. On dut adapter les essais à un polygone beaucoup plus réduit, ou, quand cela fut indispensable, déployer des moyens mobiles avec l'accord des autorités algériennes. Le programme d'engins balistiques put ainsi se poursuivre par la série connue sous le nom de « pierres précieuses », qui devait conduire à un engin dont fut dérivé, pour le Centre national d'études spatiales (CNES), le lanceur Diamant qui mit sur orbite les premiers satellites français.

Le CIEES put ainsi être utilisé jusqu'en 1967, puis les installations furent démontées, en partie rentrées en métropole, et le site fut remis aux autorités algériennes le 1^{er} juillet 1967.

2 - MISSIONS ET ORGANISATION DU CENTRE

Les missions du CIEES furent précisées dans l'instruction du 5 octobre 1949, qui en définissait aussi les principes d'organisation : « Le centre est chargé de l'exécution des essais techniques et des expériences tactiques relatives aux engins

² Voir le chapitre 6 de ce document.

³ Voir l'ouvrage du COMAERO sur les *Missiles balistiques* (2004).

⁴ Voir le chapitre 7 de ce document.

spéciaux qui lui sont ordonnés par les ministres ou secrétaires d'Etat sous couvert de l'inspecteur scientifique des forces armées assisté du comité directeur du centre ».

Dans cette instruction, il était prévu, à côté des éléments permanents du Centre, des sous-directions techniques et tactiques « nommées par les autorités extérieures, susceptibles de provoquer à la demande de celles-ci des campagnes d'essais, sur avis du Comité du Guir ». Ces sous-directions, du moins au début, ne constituaient pas des éléments permanents sur le site. Le sous-directeur technique Air était le chef de la section engins spéciaux du Centre d'essais en vol (CEV) de Brétigny, en la personne de Jean Delacroix. La DEFA confiait cette mission d'organisation des essais à l'Etablissement d'expériences techniques de Bourges (ETBs), et plus précisément à l'adjoint au directeur de cet établissement, l'ingénieur en chef Bernard Protte ; puis ce fut l'ingénieur en chef Jacques Marchal de l'Etablissement d'expériences techniques des engins autopropulsés-guidés (ETAG) de Versailles, qui devait assumer cette tâche. Du côté « tactique » la sous-direction tactique Air était confiée au Centre d'essais aéronautiques de Mont-de-Marsan (CEAM), et la sous-direction tactique Terre à la Section technique de l'armée de Terre (STAT).

Par la suite, alors que les essais devenaient plus fréquents et plus complexes, le Centre d'essais en vol décidait, en octobre 1957, d'établir à Colomb-Béchar un détachement permanent dont le commandement fut confié à l'ingénieur principal Michel Bignier. Et le 28 mai 1959 le Comité du Guir était informé par la DTIA que Michel Bignier était désigné comme sous-directeur technique Air, en remplacement de Jean Delacroix. Cette sous-direction technique devenait alors résidente à Colomb-Béchar. Elle y représenta sur place la DTIA, puis la DCAé (Direction des constructions aéronautiques), en tant que maître d'ouvrage des programmes confiés à l'industrie par cette direction. En particulier le sous-directeur technique Air eut à assurer cette tâche pour les essais des engins balistiques, en liaison avec le maître d'œuvre, la SEREB.

Une évolution similaire se produisait à la sous-direction technique Terre. L'ingénieur général Pierre Fayolle décrit en détail, dans le tome 4 (pages 105 à 109) des travaux du Comité pour l'histoire des armements terrestres (ComHArT), la création, à Colomb-Béchar en 1957, de cette SDTT (Sous-direction technique Terre de Colomb-Béchar), et son évolution administrative. Son chef, l'ingénieur principal Jean-Louis Rosoor devait être désigné comme sous-directeur technique Terre⁵ par note 16 692 T/DA/DEFA du 22 janvier 1959, en remplacement de l'ingénieur en chef Adrien Borredon. Lui succéda, en mars, 1961 l'ingénieur principal Jean-Claude Sompayrac qui resta en poste jusqu'à la liquidation de ce détachement, qui commença à partir de 1965, avant même la fin programmée du CIEES.

Mais indépendamment de ce détachement du CEV, la DTIA affecta en propre au CIEES des ingénieurs de l'air. Ils devaient constituer l'essentiel de l'encadrement du bureau d'études, contribuant ainsi au développement de celui-ci en moyens de mesure, en équipements d'exploitation des essais (développement des films photographiques, calcul des trajectoires à partir des films de cinéthéodolites, etc.). Leur mission au début était assez mal définie, au dire des intéressés eux-mêmes dans leurs témoignages, mais elle s'est précisée par la suite quand apparut le développement pour les missiles balistiques. C'est à base de ces ingénieurs de l'air

⁵ 145^e réunion du Comité du Guir, le 24 février 1959.

que se créa, au sein du Centre, la Direction des études et développements (DED), sous la responsabilité de l'ingénieur principal Gabriel Colin.

C'est cette DED qui établit les grandes lignes du champ de tir pour engins balistiques, avant que cette responsabilité soit transférée au Service des équipements de champs de tir. On doit d'ailleurs constater que la proximité entre le bureau des études du CIEES et la sous-direction technique Air était constante : des ingénieurs de l'air affectés à Béchar passant très vite, sur décision de la DTIA, d'une entité à l'autre, comme ce fut le cas de Pierre Chiquet.

Il appartenait donc aux directions techniques responsables des programmes de définir les essais auxquels étaient soumis les engins développés sous leur responsabilité. Ces essais faisaient à chaque fois l'objet d'un « ordre d'essais » rédigé en accord entre le CIEES, les équipes industrielles et le maître d'ouvrage, représenté en l'occurrence par la sous-direction technique ou tactique concernée. Le Centre avait pour mission de fournir les supports nécessaires : c'était un « prestataire de service ». Il lui appartenait de fournir le support logistique et les moyens techniques dont avaient besoin les expérimentateurs.

A cet effet, le Centre était organisé avec des moyens fournis par ses deux composantes, la base Air et la base Terre. Le directeur était un colonel ou un général de l'armée de l'Air, son adjoint étant un colonel de l'armée de Terre, chacun ayant plus particulièrement en charge les personnels correspondants, avec des missions qui leur étaient dévolues. A la base Air incombait l'aérodrome et la gestion du trafic aérien, le parc d'avions en dotation au centre (essentiellement, au début, des JU 52). La base Terre prenait en charge le parc automobile et les services de télécommunications. D'autres moyens généraux étaient assurés en commun, en particulier l'accueil et la subsistance des personnels en mission venus pour effectuer les essais.

Mais le service le plus important et qui correspondait à la mission technique fondamentale du Centre, était le service « Méthodes », qui mettait en œuvre les personnels et les équipements que le Centre avait à fournir aux expérimentateurs. Il en sera plus précisément question dans la suite de ce chapitre. Une particularité notable était que beaucoup des opérateurs étaient des militaires qui étaient formés sur place. Cela obligeait à une instruction permanente d'un effectif qui se renouvelait, mais autorisait à laisser sur des points techniques isolés des petits groupes d'opérateurs. Il en était ainsi en particulier sur les « points optiques » pour le service des cinéthéodolites.

L'effectif permanent du CIEES s'établit au cours de son existence entre 2 000 et 3 000 personnes, civils et militaires, réparties entre les deux sites du Centre, la base B1 à Colomb-Béchar, et la base B2 à Hammaguir, cette dernière étant forte d'environ 800 personnes. Mais, lors des essais, le nombre de personnes présentes sur ce site devenait beaucoup plus important, et il revenait au Centre d'assurer leur logement et leur subsistance.

Avant d'en venir à la description des implantations du Centre, il convient de signaler l'existence sur place du 701^e GAG (Groupement d'artillerie guidée). C'était une formation de l'armée de Terre (artillerie) constituée pour mener l'expérimentation tactique des engins SE 4200, dès que ceux-ci furent considérés comme techniquement au point. Son effectif était de quelque 400 hommes, dont 20 officiers. Fonctionnant comme une unité d'artillerie autonome, cet effectif n'est pas à considérer dans celui du CIEES.

Enfin, la sécurité du Centre était assurée par des troupes stationnées à proximité, en l'espèce des unités de la Légion étrangère.

3 - LES IMPLANTATIONS DU CIEES

Le Centre s'organisa autour de deux emprises principales, l'une, la base B1, située à proximité immédiate de Colomb-Béchar, l'autre, la base B2, à 120 km plus au sud, à Hammaguir (figure 1).

Les premiers essais, en 1949/1950, s'étaient déroulés à proximité même de Colomb-Béchar, au pied de l'escarpement, la « barga », qui limite le plateau pierreux, la « hamada », qui domine au nord l'oasis. Ce fut ce que l'on désigna plus tard comme la base B0. Mais il devint rapidement manifeste que l'on ne pouvait continuer à mener les expériences aussi près de l'agglomération, et il fut ainsi créé, sur le plateau même, les installations qui allaient constituer la base B1, ou encore « base Georges Leger » (figures 2-4), et devenir le lieu d'établissement de la direction, des services et ateliers du Centre. Le champ de tir B1 lui-même s'étendait au nord-ouest, sur la hamada presque plate, et sur laquelle se découpe le rocher de Bou Hamama (figure 5) dont le profil spectaculaire a fourni un motif pour l'écusson du CIEES. Il était limité au sud par les décrochements de la « barga », qui se prolongent d'est en ouest, de Béchar à Kenadza, au nord et à l'ouest par les derniers contreforts de l'Atlas saharien qui culminent à quelque 1 200 mètres au-dessus du plateau, et au-delà desquels se place la frontière avec le Maroc. A l'est, c'est la piste qui conduit vers le nord qui déterminait les confins d'un polygone, qui s'étendait ainsi sur environ 25 km vers le nord et 35 km vers l'ouest.

Ce champ de tir convint parfaitement pour les essais de missiles tirés d'avions, et il devait rester utilisé à cette fin tout au long de l'existence du CIEES. Il disposait d'une piste d'aviation de 3 000 mètres. Un poste central de conduite des essais, ITMAR, fut construit et équipé (figures 6, 7). De là étaient lancés les engins cibles. Il était relié aux différents points techniques par un réseau de câbles enterrés.

Mais il apparut que, en particulier pour des engins tirés du sol, le gabarit de sécurité était insuffisant et on rechercha d'autres sites mieux appropriés. La DEFA mena quelques essais à Menaouarar, petite oasis située à environ 40 km sur la piste qui mène à Taghit. C'est là que furent tirés pour la première fois au Sahara, en 1949, les engins PARCA (Projectile autopropulsé radioguidé contre avion). Cette campagne se déroula dans des conditions très précaires, seul l'abri de tir étant réalisé « en dur », le reste étant placé sous abris de chantier en tôle, et les quelques moyens de mesure étant amenés sur place le temps des essais⁶.

Finalement il fut décidé de créer une base éloignée de toute part des zones habitées. Le choix se porta sur un site situé en pleine zone désertique, sur la hamada du Guir à 40 km environ de la limite de celle-ci, et donc à 120 km au sud de Colomb-Béchar (figure 1). Cette base, baptisée B2, fut bientôt connue sous le nom de Hammaguir, et devait devenir célèbre puisque c'est de là que furent lancées les fusées « Diamant » qui mirent sur orbite les premiers satellites français. On y accédait par la piste (plus tard une route fut goudronnée) et on arrivait sur le plateau après avoir franchi, à Abadla, l'oued Guir, si du moins celui-ci le permettait, car il arrivait que ses caprices rendent le passage impossible. Situé à environ 700 mètres

⁶ Témoignage de Robert Leparmentier, qui participa à ces essais.

d'altitude, en zone totalement désertique, il bénéficiait d'un climat très sec, avec une transparence atmosphérique éminemment favorable aux observations optiques, encore que la réfraction et les turbulences au niveau d'un sol surchauffé fussent souvent gênantes. Les périodes d'indisponibilité pour cause météorologiques étaient rares, dues surtout aux vents de sable, qui interrompaient non seulement les activités techniques, mais aussi toute liaison avec l'extérieur, aérienne ou routière, et mettaient les nerfs des personnels à rude épreuve.

L'éloignement de la base principale située à Béchar imposa très vite la réalisation localement, à Hammaguir, d'une base vie (figure 8). Du personnel permanent y résidait, environ un tiers de l'effectif du Centre, mais aucune famille n'y fut jamais accueillie. Les personnels d'encadrement, officiers et ingénieurs affecté au Centre logeaient en effet avec leurs familles dans la ville même de Colomb-Béchar. Par contre une importante capacité d'hébergement était prévue pour les personnels de directions utilisatrices du Centre qui venaient effectuer à Hammaguir leurs lancements d'engins et conduire leurs expériences. Un mess-hôtel fut construit à cet effet (figure 9). Une piste d'aviation, longue de 3 000 mètres, trouva immédiatement sa place. Les liaisons avec Colomb-Béchar furent dès lors le plus souvent aériennes.

L'alimentation en eau devait poser problème. Lors de la création de la base vie, on dut amener l'eau depuis une source prise au bord de la hamada, grâce à une conduite qui fut réalisée par une compagnie disciplinaire de la Légion, dans des conditions abominables. Mais elle devint vite la cible des « fellagas ». On se résolut donc à chercher l'eau sur place par un forage profond de quelque 70 mètres, et ce fut un succès. Il circulait alors une boutade : « Vous savez, où que vous foriez dans le désert, vous finirez toujours par trouver de l'eau, sauf évidemment si vous avez la malchance de tomber sur du pétrole ».

Le champ de tir de B2 offrait des possibilités considérables. La hamada du Guir s'étend sur quelque 140 km vers le sud où elle bute sur un djebel ; elle est bordée à l'est par les dunes du Grand erg occidental. Vers l'ouest la frontière du Maroc, qui s'approche à certains endroits jusqu'à 20 km, constituait la principale contrainte, surtout pour des fusées-sondes dont les points de chute pouvaient être très dispersés.

Des sites de lancement furent construits, avec les « tables de tir » et toutes les installations nécessaires à la préparation des engins. Les bases Blandine (figure 10) et Bacchus (figure 13) étaient destinées au lancement des fusées-sondes à propergols liquides et solides respectivement. Béatrice (figure 15), réalisée sur les indications de la DTAT (Direction technique des armements terrestres), était dédiée aux essais de missiles à moyenne portée, les derniers PARCA (figure 16), mais aussi les premiers essais dans le cadre du projet ACCAM, qui devait être rapidement abandonné, et surtout les engins Hawk (figure 17). Elle fut utilisée aussi pour le lancement de fusées CORA.

Enfin, lors du lancement du programme balistique, il fut réalisé, sur des indications de la SEREB, la base Brigitte (figures 18 et 19)) d'où furent lancés tous les véhicules d'essais de ce programme, du VE10 au VE231, véhicules qui reçurent les noms qui les firent connaître comme la série des « Pierres précieuses » et qui devaient *in fine* donner lieu au lancement des premiers satellites français par la fusée Diamant.

Pour être complet, il convient de signaler aussi l'existence au CIEES, d'un rail d'essais dynamiques. Long de 330 mètres, ce rail Hotchkiss-Brandt, installé sur la base B1, dans un enclos, permettait d'essayer certaines fonctions de missiles dans

des conditions d'observation rapprochées. Il était entouré d'un PC de tir et d'un PC mesure, d'un hall de préparation et d'un bâtiment support.

Il faut aussi signaler l'usine d'oxygène liquide qui était nécessaire pour certains tirs spéciaux. Sa gestion matérielle était assurée par la sous-direction technique Terre qui ne put jamais convaincre le CIEES de la prendre en charge à son compte. Elle trouvait en effet son origine dans les besoins qu'avaient créés les études de propulsion à ergols liquides de la DEFA dans les premières années du CIEES, mais son utilité s'avérait de plus en plus rare. C'était une « prise de guerre » récupérée en Allemagne et installée à proximité de Colomb-Béchar.

4 - LES MOYENS TECHNIQUES DU CIEES JUSQU'AUX ANNEES 1959-60

Au début du Centre, les directions responsables effectuaient des campagnes de deux à quatre semaines, dans des conditions assez sommaires, amenant pour l'occasion tous les moyens nécessaires aux expérimentations, cinéthéodolites, radars, équipements optiques ou électroniques, etc.

Le CIEES, en effet, n'eut un budget en propre qu'à partir de 1950. Auparavant les investissements étaient financés par les directions utilisatrices. Le CASDN dans une note du 6 mai 1957, mentionnait : « Jusqu'au 1^{er} janvier 1950, le Centre fut entièrement financé sur les budgets des différents départements militaires, et reçut 225 millions, mais sans plan d'ensemble. Cette solution peu satisfaisante au point de vue volume budgétaire, risquait en outre d'écarteler le Centre entre les différents départements. Depuis 1950 le Centre dispose d'un budget inscrit à la section commune pour financer les installations d'intérêt commun et la construction de logements destinés aux cadres ; toutefois chaque département militaire conserve la charge de l'entretien du personnel et du matériel fourni par lui au Centre »⁷.

Mais à partir des années 1950, le champ de tir devait s'équiper progressivement, sous l'impulsion de ses directeurs successifs (la liste en est donnée en annexe), et à la fin des années 50, à la veille de l'extension que devait provoquer la réalisation du champ de tir pour engins balistiques, on peut faire le point des possibilités qu'offrait alors le Centre.

Il s'agissait d'abord des moyens de trajectographie. Pour obtenir une bonne précision, celle-ci était obtenue à partir de cinéthéodolites. Ce furent au début des matériels Askania, puis progressivement apparurent les cinéthéodolites Contravès, plus performants et surtout d'un maniement plus aisé. Les « Askania » ne furent pas pour autant éliminés et le CIEES les utilisait encore en 1967. Chacun des sites, B1 et B2, était équipé de quatre « points optiques » fixes, et disposait en complément d'un poste mobile. Bien évidemment ces appareils devaient être synchronisés entre eux pour que les visées sur un point soient faites exactement au même instant. Les techniciens de cette section eurent à résoudre le problème technique de la coexistence de deux types de cinéthéodolites Askania et Contravès, ce qu'ils réalisèrent à la satisfaction des utilisateurs. Ils réalisèrent aussi un système de synchronisation par radio pour l'ensemble mobile. Les postes fixes, eux, étaient reliés par câbles.

⁷ CAA (Centre d'archives de l'armement, à Châtelleraut), cote 763-A1-00029, *Organisation du centre d'essais de Colomb-Béchar* (dossier 154-0) ; 225 millions de francs 1950 équivalent approximativement à 6 millions d'euros 2010.

La section « radar » était équipée au début de matériel américain SCR 584. Cela faisait partie des radars de conduite de tir des canons antiaériens de 90 mm que les USA avaient cédés à la France à la libération. La DEFA/SEFT fit développer par Thomson une conduite de tir plus perfectionnée pour cette artillerie, et le radar COTAL en fut une pièce maîtresse (COTAL signifiait d'ailleurs Conduite de tir d'artillerie lourde). Ce développement fut une réussite, et les radars COTAL devaient trouver de nombreuses applications en dehors de leur destination première. Ils firent de plus l'objet de plusieurs améliorations dont certaines à l'intention des champs de tir : ainsi le Supercotal (ou Cotal LP), le THD 1230, etc., en vue d'accroître les portées ou de palier des inconvénients préjudiciables à la précision des mesures.

La portée de ces radars était de l'ordre de 50 km pour le COTAL, 250 km pour le LP ; elle atteignait 2 000 km pour le LP fonctionnant sur répondeur. Ils constituaient des équipements de base pour conduire les cibles aériennes, pour « désigner » les autres appareils de trajectographie ou de prise de vues, ou encore, lors de tirs air-air, pour conduire les interceptions dans les conditions voulues par les expérimentateurs. En 1954 le poste central ITMAR à B1 fut équipé, à cet effet, de tables traçantes. Par contre la précision angulaire, qui ne dépassait pas le milliradian en faisait des équipements inférieurs aux cinéthéodites pour une trajectographie précise.

Le CIEES disposait aussi d'une section photographie, mettant en œuvre des caméras de différents types dont des « Bourdereau » à 300 images par seconde, des caméras Fairchild pour les cadences très élevées, puis des caméras à longue focale, les TOSCA.

Une des charges les plus lourdes de cette section était le développement des films de cinéthéodolites. L'exploitation de ces films, une fois développés, était à la charge du bureau de calcul du CIEES. En fait, à la fin des années 50, celui-ci assurait la saisie des éléments de pointage de chacun des appareils et éditait pour chaque visée une carte perforée. Pour les essais de la DTIA, les données de ces cartes étaient transférées vers Brétigny par liaison radio, où se trouvait le calculateur capable d'effectuer les calculs nécessaires pour obtenir les trajectoires. Pour la DEFA, ces tâches étaient assurées par l'ETBs, à Bourges, qui disposait en 1958 d'une machine BULL « Gamma 60 ET ».

Une section topographie avait pour tâche de localiser avec précision les lieux d'implantation des senseurs de trajectographie, cinéthéodolites en particulier. Il lui incombait aussi de retrouver sur le terrain les missiles après le tir, pour récupérer les enregistreurs de bords qu'ils pouvaient contenir.

Pour les tirs contre aéronefs, le CIEES fournissait et mettait en œuvre les cibles nécessaires. Une importante section en avait la charge. Entre 1951 et 1955 on utilisa un planeur téléguidé, le SE1524 qui était largué d'avion Junker 88 ; puis il y eut les CT10 (figure 20), dérivés des engins allemand V1 à propulsion par pulsoréacteur. Le CEV mit en œuvre des avions Mistral télécommandés qui avaient été mis au point par sa section engins spéciaux à partir d'avions réformés. Il y eut ainsi trente avions sans pilote qui furent utilisés comme cibles. Enfin la société Nord-Aviation (qui devait se fondre dans EADS, *European Aeronautic Defence and Space Company*) mit au point les cibles CT20 (figure 21). Ce furent ces dernières que le CIEES utilisa désormais, pour les essais de missiles antiaériens qui lui étaient demandés.

Il convient de mentionner ici les essais au CIEES d'un engin cible supersonique : le CT41. Propulsé par statoréacteurs, il pouvait atteindre Mach 2,7. Il y en eut 26 tirés au Sahara, avec des fortunes diverses. Finalement le programme devait être abandonné, les performances d'une telle cible dépassant les capacités des chasseurs de l'époque.

Quant aux télémesures, on en était encore en 1959/60 au stade du défrichage et le CIEES ne disposait pas de moyens en propre. En fait certains programmes prévoyaient d'équiper leurs engins de la télémesure qui lui convenait, et la chaîne complète restait entre les mains de l'équipe industrielle. La DAT (Direction des armements terrestres) utilisait une télémesure APX (Atelier de Puteaux) dont la description par Jacques Bédoura est donnée dans le tome 4 du ComHArT, le CEV orientait les industriels vers la télémesure SAT/Turck, l'ONERA (Office national d'études et de recherches aérospatiales) avait la sienne en propre, etc. Jusqu'à la fin du CIEES, il y eut à tenir compte de cette extrême variété.

Il faut aussi tenir compte du fait que les technologies de l'époque (les transistors arrivaient à peine) ne permettaient pas d'embarquer à bord des engins essayés des équipements électroniques de mesure sophistiqués et fiables. On utilisait souvent pour cela des enregistreurs photographiques que l'on récupérait ensuite dans les débris du missile que l'on retrouvait au sol. Leur recherche sur la hamada incombait, comme il a déjà été écrit, au Service topographique du Centre.

Le CIEES avait la responsabilité de la bonne exécution de l'ordre d'essai. Il fournissait à cet effet, lors de chaque essai, «l'officier de tir». Celui-ci dirigeait la mise en œuvre de l'ensemble des moyens impliqués dans l'essai, sous le contrôle de l'équipe industrielle du maître d'œuvre responsable du programme concerné, et le plus souvent en présence du représentant du maître d'ouvrage. Il était le maître de la « chronologie », selon l'expression consacrée.

5 - LES ESSAIS DE LA DTIA

Au début du CIEES, la DTIA organisait des campagnes d'essais, de durées variables (15 jours à un mois). Partant de Brétigny, elles étaient entièrement organisées et à la charge du CEV et, plus précisément, de sa section Engins spéciaux, qui avait été créée en 1951 sous la responsabilité de l'ICA Paul Faisandier, auquel succéda dès 1953 l'ICA Jean Delacroix. Puis les choses se normalisèrent, comme on l'a exposé plus haut, quand la sous-direction technique Air fut présente en permanence pour présider à l'élaboration des ordres d'essais.

On va dans ce qui suit énumérer les essais que la DTIA, puis la DCAé, menèrent au CIEES, sans d'ailleurs prétendre à l'exhaustivité. Ces essais portèrent sur des engins air-air, air-sol, sol-sol et sol-air.

Le premier essai d'engin air-air qui eut lieu à Colomb-Béchar fut celui d'un engin Matra, le MO4, en décembre 1949. Il était à propergols liquides, et dès mai 1950 il fut essayé en vol, tiré depuis un avion Halifax. Abandonné en 1954, ce fut en réalité un banc d'essai pour les engins qui suivirent.

Les missiles antichars filoguidés de Nord-Aviation : SS10 puis SS11 et SS12 furent essayés à partir d'avions lents ou d'hélicoptères. Puis apparut le Nord 5103, engin téléguidé manuellement dont la mise au point en vol devait s'achever en 1959.

Il fut rapidement concurrencé par le Matra R510 à autodirecteur optique, puis par Matra R511 à autodirecteur électromagnétique (figure 23). Ces engins, bien que leurs développements eussent été menés à leur terme, eurent une existence éphémère, ayant été rapidement supplantés par les R530 (figure 24) fonctionnant en navigation proportionnelle. Les premiers essais de ces derniers eurent lieu au CIEES à partir de 1962, à la veille de la fin du champ de tir saharien, puis ils furent poursuivis en métropole. Ce programme fut au début mis en concurrence avec un autre missile air-air, le Nord 5104, successeur du 5103, dont des essais eurent aussi lieu au CIEES. Ce programme n'eut pas de suite, la préférence se portant donc, en 1959, sur le R530 de Matra.

200 engins sol-sol de types SE 4200 et 20 SE 4500 ont été tirés à Béchar. Ils étaient lancés au moyen d'un chariot à poudre et propulsés par statoréacteur subsonique. Le guidage était assuré par maintien dans un plan directeur vertical. Leurs portées étaient respectivement de 60 km et de 150 km. Lorsque le SE 4200 a été considéré comme à peu près au point il a été confié au 701^e GAG. Le troisième SE 4500 a été tiré à Hammaguir fin 1956 lors de la visite du général de Gaulle dans le Sahara. Les deux types d'engin ont été abandonnés au début des années 1960.

Plusieurs types d'engins sol-air développés par la DTIA furent essayés au CIEES :

- le SE 4100, copie française du V2 allemand a été tiré à un très petit nombre d'exemplaires, entre 1949 et 1957. Une version très améliorée, le SE 4810, a été tirée à une cadence de 6 à 8 par an de 1953 à 1959, puis a été abandonnée ;
- le SE 4400 (figure 22), un sol-air tiré verticalement, avec un deuxième étage à statoréacteur, fut testé au CIEES en 1953/54 ;
- le Matra 422, sol-air avec deux étages à poudre, fut testé à partir de fin 1954 d'abord sur des cibles portées par parachute, puis contre des Mistral télépilotés ;
- le Matra 431 était un sol-air avec 1^{er} étage à poudre et 2^e étage à statoréacteur. Il fit l'objet de tirs entre 1954 et 1958.

Parmi les engins air-sol essayés à Colomb-Béchar, il y eut l'AS20, un missile air-sol télépilote, qui succéda au 5103 et fut défini en 1958 pour une mise en service en 1960, et l'AS30 de Nord-Aviation dont le programme avait démarré en 1959 et qui fut mis en service en 1963.

Il y eut à Colomb-Béchar des campagnes de démonstration OTAN (Organisation du traité de l'Atlantique Nord) des missiles français, avec des incidents classiques : en 1961 pour l'AS30, avec 4 tirs réussis sur 6, et en 1962 pour le R530, avec 5 tirs réussis sur 7.

Le programme franco-britannique Martel de missile antiradar devait présenter une exigence particulière. En effet il apparut impératif de réaliser des tirs avec charge réelle sur des simulacres de radar placés dans le champ de tir : le choix de Cazaux aurait présenté des risques, aussi parvint-on à réaliser ces essais avant la fermeture du CIEES. Le MOU (*Memorandum of Understanding*) franco-britannique avait été signé le 1^{er} avril 1964. Le tir sur objectif au sol avec charge réelle dut par conséquent être réalisé très tôt dans le déroulement du programme, les mises au point finales s'effectuant à Cazaux par des vols portés sur avion.

Il convient aussi de signaler les essais de largage de « conteneurs » depuis avions Mirage IV qui eurent lieu en 1964/65. Il s'agissait bien de l'arme nucléaire, mais évidemment sans aucune matière fissile. Certains ont été faits à haute

altitude, d'autres suivant la procédure LADD (*Low Altitude Down Delivery*). Le CEA (Commissariat à l'énergie atomique) mettait alors en œuvre une télémesure spécifique, dite « télémesure rapide ». Des essais de largages ont été aussi exécutés à partir d'avions Vautour pour l'entraînement des équipages.

6 - LES ESSAIS DE LA DEFA

La DEFA utilisa le champ de tir du CIEES d'abord pour le développement des fusées « VERONIQUE » (figure 11).

La « VERONIQUE » était un engin développé par le LRBA. Fusée à propulsion par ergols liquides, elle fut étudiée et développée, dès la fin de la guerre, pour s'approprier les techniques qu'avaient utilisées les allemands avec le V2. L'engin tiré verticalement, était guidé sur une vingtaine de mètres par un système de câbles accrochés à un croisillon solidaire de la base du projectile, et qui était libéré à la fin de cette période de guidage. Ce système assez rudimentaire et le fait que la « VERONIQUE » n'avait pas de système de guidage entraînaient une grande dispersion des points de chute, et l'obligation de conduire les essais en zone désertique était très vite apparue.

Les premiers eurent lieu sur B1 en 1952, mais dès que la puissance des propulseurs s'accrut et que la hauteur de culmination devint importante, tous les lancements eurent lieu à Hammaguir. La fusée VERONIQUE fut surtout utilisée comme fusée-sonde, comme on le verra plus loin. La DEFA assura alors le soutien industriel pour tous ces lancements.

Le PARCA (Projectile autopropulsé radioguidé contre avion) fut d'abord lui aussi un engin à ergols liquides, mais le choix se porta rapidement sur la propulsion à poudre. Il était étudié et fabriqué par les services des établissements de la DEFA, LRBA (Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques)⁸ et APX.

Les premiers tirs effectués au CIEES eurent lieu en 1949 à Menaouarar, puis les tirs se succédèrent à Hammaguir (figure 16). En 1954, une trentaine de tirs furent effectués ; en 1955, 67 tirs eurent lieu au CIEES, et le même nombre en 1956. Le programme fut arrêté en 1958.

Les missiles sol-air Hawk furent tirés de la base Béatrice (figure 17). Il s'agissait d'un programme multinational dont la maîtrise d'œuvre était assurée par une société créée à cet effet, la SETEL (Société européenne de téléguidage), avec la participation des pays européens impliqués dans le programme.

La maîtrise d'ouvrage dépendait de « l'organisation Hawk » qui constituait une agence, organisme subsidiaire autonome de l'OTAN. En pratique, ce fut la sous-direction technique Terre qui fut l'interlocuteur du CIEES pour l'organisation et la conduite des essais.

Le programme Roland n'a fait au CIEES qu'une apparition fugitive : il y eut quelques tirs préliminaires au choix entre la solution française, sur la base du SABA (Sol-air basse altitude) et celle proposée par les allemands, dérivée du P250 de Bölkow, mais avec une instrumentation des plus réduite, et sans mise en œuvre de cibles.

⁸ Voir le chapitre 10 de ce document.

7 - LES FUSEES-SONDES

En dehors des essais relatifs aux programmes d'armement menés la DEFA et la DTIA, le CIEES a été le théâtre de lancements de fusées à des fins de recherche scientifique. Ces recherches, soutenues au début par le CASDN du général Maurice Guérin, portaient sur l'étude de la haute atmosphère. Elles ont concerné :

- le laboratoire de physique de l'atmosphère, du professeur Etienne Vassy ;
- le laboratoire de physique de l'Ecole normale supérieure, du professeur Jacques Blamont ;
- le service d'aéronomie du CNET ;
- le Centre d'étude et de recherche en médecine aéronautique (CERMA).

Au cours des campagnes organisées entre 1955 et 1961, ce sont les fusées VERONIQUE qui furent utilisées. En 1954, le programme de ces engins avait été arrêté. La version VERONIQUE NA permettait alors de porter une charge de 50 kg à une altitude de 135 km. A l'initiative du général Maurice Guérin, le programme fut relancé, en demandant au LRBA de réaliser une nouvelle version permettant de culminer à plus de 200 km d'altitude. Cela fut réalisé par la VERONIQUE AGI (AGI pour Année géophysique internationale), qui permettait de porter une charge de 60 kg à 210 km. Entre 1955 et 1961, cette fusée fut utilisée 15 fois, dont 10 fois avec succès.

Elle le fut d'abord pour effectuer des diffusions de nuages de sodium à haute altitude. L'expérience était réalisée au soleil couchant afin d'obtenir les effets lumineux souhaités. La première campagne eut lieu en mars 1959 avec une culmination à 127 km. D'autres expériences de ce type eurent lieu en 1960.

Une autre espèce d'expériences consista à faire exploser une charge de TNT à la culmination de la fusée. Cela posa problème, car, étant donnée la dispersion des points de chute possibles de la fusée, on hésita à lancer une telle charge. On dut équiper la fusée d'une télécommande de destruction, ce qui constituait pour l'époque une innovation, et finalement les expériences eurent lieu.

Le CERMA réalisa, toujours avec une VERONIQUE, une expérience en plaçant un rat dans la pointe de la fusée, laquelle était éjectée sous parachute à la culmination. L'animal (Hector) devait être récupéré dans un délai très bref (moins d'une heure), ce qui imposa au Centre de mettre en œuvre un hélicoptère de façon à rallier rapidement le point de chute.

En 1961, les Armées cessèrent de soutenir ces expériences, mais continuèrent à mettre les moyens du champ de tir à la disposition du Comité des recherches spatiales et du CNES. Celui-ci, créé en décembre 1961, ne tarda pas à organiser en son sein une division « fusées-sondes ». Les expériences furent alors reprises dans ce nouveau contexte.

La VERONIQUE fut à nouveau améliorée : la VERONIQUE 61 portait une charge de 60 kg à 300 km d'altitude. Mais une nouvelle gamme de fusées était apparue, fabriquée par Sud-Aviation : Bélier, Centaure, puis Dragon. C'étaient des fusées à poudre. Elles furent tirées de la base Bacchus alors que VERONIQUE, fusée à liquides, l'était depuis Blandine. Les fusées Bélier et Centaure eurent leurs tirs de qualification à Hammaguir en décembre 1961. Elles culminaient à 130 et 170 km

respectivement. La fusée Dragon, dont les premiers tirs eurent lieu en 1962/63, pouvait atteindre une altitude de 500 km.

Une soixantaine de fusées Bélier et surtout Centaure (figure 14) furent tirées au CIEES entre 1961 et 1966 pour diverses expériences scientifiques, dont beaucoup au bénéfice de l'aéronomie avec éjection d'alcalins (sodium surtout, mais aussi d'autres alcalins) et quelques expériences avec charges explosives de TNT. Certaines de ces expériences devaient être réalisées avec tirs simultanés depuis des sites éloignés comme Reggan ou l'île du Levant. La fusée Dragon fut utilisée une douzaine de fois.

Les VERONIQUE ne furent pas pour autant abandonnées. Cinq furent tirées en 1962, mais l'une d'elles dut être détruite en vol, car son système de guidage au départ avait été défaillant. Deux emportèrent des charges de TNT afin de les faire exploser à la culmination. Deux autres furent utilisées par le CERMA pour répéter l'expérience déjà faite en 1961 avec des rats. Des expériences du même type devaient suivre, d'abord par deux fois avec un chat, puis à deux reprises aussi avec une guenon. Cette dernière expérience fut réalisée en avril 1967, donc peu de temps avant la fermeture du Centre. La fusée utilisée était alors une Vesta (figure 12).

Le LRBA avait réalisé cette fusée Vesta, toujours à propergols liquides, nettement plus puissante. Les essais avaient commencé en 1964. Elle pouvait emporter une charge de 500 kg à 325 km d'altitude. Au total 74 fusées VERONIQUE de divers types furent lancées au CIEES, dont 49 après 1961.

8 - LA GESTATION DU CHAMP DE TIR POUR ENGIN BALISTIQUE

Lorsque la décision fut prise de créer à partir d'Hammaguir le champ de tir destiné aux expérimentations requises par le développement du programme des engins balistiques, les services du CIEES se mirent immédiatement en devoir d'établir le projet de champ de tir et de définir les équipements qui seraient nécessaires. Pour cela il fut créé une Direction des études et développements (DED) dont la responsabilité fut confiée à Gabriel Colin. Une mission aux Etats-Unis fut organisée pour visiter les grands champs de tir américains, et s'informer sur leur instrumentation. Il devait en résulter un projet, et les choix essentiels sur les équipements qu'il convenait d'acquérir ou de faire développer.

La petite équipe qui entourait Gabriel Colin et son adjoint, Pierre Chiquet, éprouva rapidement la nécessité de trouver une implantation en région parisienne, pour bénéficier de la proximité avec les industriels auxquels elle faisait appel. Elle s'installa alors au fort de Montrouge, dans l'emprise du Laboratoire central de l'armement (LCA), un établissement de la Direction des études et fabrications d'armement (DEFA).

La situation devait ensuite évoluer, avec la création par la décision 112 EMGA/BT du 2 janvier 1961, sous la signature du général Gaston Lavaud, chef d'état major général des Armées, du Service des équipements de champ de tir (SECT)⁹. Ce nouvel établissement, créé au sein de la DEFA, fut placé sous la direction de l'ingénieur général Pierre Fayolle, et s'installa lui aussi au fort de Montrouge, à proximité immédiate de la DED. Cet établissement fonctionna d'abord comme un bureau d'ingénieurs conseils au profit de la DED. Une nouvelle décision

⁹ Voir le chapitre 6 de ce document.

(n° 759/DMA/ORG) intervint le 15 mai 1961 sous la signature du même général Gaston Lavaud, devenu entre-temps Délégué ministériel pour l'armement (DMA). Elle établissait les responsabilités respectives, en stipulant : « (a) Le directeur du CIEES est chargé de l'organisation et du fonctionnement du Centre. (b) Le chef du SECT est responsable de l'ensemble des investissements nécessaires à l'équipement des terrains d'essais du Centre et plus particulièrement du champ de tir à longue distance ».

En conséquence le directeur du CIEES établissait et gérât le budget de fonctionnement (article 34-85 de la section commune) et le chef du SECT établissait et gérât le budget d'investissement du Centre (article 51-82 de la section commune). Et comme on l'a vu dans l'Introduction, les deux organismes étaient placés provisoirement sous l'autorité directe du Délégué ministériel pour l'armement. La Direction des études et développements du CIEES était alors supprimée, et son personnel était alors versé au Service des équipements de champ de tir. Cette situation fut mal vécue par l'équipe de Gabriel Colin, et progressivement ses anciens membres quittèrent le SECT, dont plusieurs pour rejoindre le Centre national d'études spatiales (CNES) nouvellement créé.

Cette organisation, qui peut paraître surprenante, fonctionna à la satisfaction de tous. La liaison entre le SECT et le Centre était assurée sur place, à Béchar, par une représentation du SECT, sous la responsabilité de Noël Playe, le « Bureau animation Béchar » (SECT/BAB) auquel revenait de superviser l'installation des nouveaux équipements et leur prise en charge par le personnel du Centre. On prit l'option, pour cela, de constituer, lors de la mise en service des équipements, des équipes mixtes sous l'égide du SECT/BAB, avec les techniciens des industriels et les agents du CIEES, jusqu'à ce que ces derniers aient acquis la pleine maîtrise des matériels concernés.

9 - DU PROJET INITIAL A LA REALISATION

Le démarrage effectif de l'étude du champ de tir grande portée date du début 1959. C'est à cette époque que le Groupe engins balistiques (GEB) de la DTIA a pu définir, en accord avec la SEREB, les caractéristiques prévisibles des engins dont l'expérimentation était envisagée dans le programme, ainsi que les mesures que le maître d'œuvre demanderait. La Direction études et développements du CIEES établissait alors un document qui définissait les grandes lignes du futur champ de tir de 3 000 km.

Il devait s'étendre depuis Hammaguir jusqu'à une région entre Fort-Lamy et Faya-Largeau au Tchad. Cela conduisait à une série de points techniques qui se groupaient de la façon suivante :

- un champ de tir 500 km, vers Adrar et In-Sala ;
- un champ de tir 1 200 km, jusqu'à Tamanrasset et Djanet ;
- un champ de tir 1 200 km ;
- un champ de tir 3 000 km, vers Faya-Largeau et Fort-Lamy.

Des cheminements géodésiques furent alors effectués, dès 1958, par l'Institut géographique national (IGN).

Le projet de budget pour 1961 concernait le développement du champ de tir 500 km. Celui de 1962 devait être consacré au champ de tir 1 500 km.

Comme il a été dit dans l'Introduction (§ 1), la situation résultant des accords d'Evian (en 1962) devait remettre en cause ce projet et conduisit à reconsidérer le déroulement du programme. Le polygone d'essais désormais se limitait à la base de départ d'Hammaguir, le champ de tir 3 000 km étant abandonné, mais aussi les champs de tir intermédiaires, à commencer par celui de 500 km vers Adrar. La plupart des tirs durent être fait à la quasi-verticale. Pour ceux qui exigeaient une longue portée, on conservait toutefois la possibilité de placer des moyens d'observation temporaires en dehors du polygone lui-même. De plus, l'existence désormais limitée dans le temps de ce champ de tir, la perspective de poursuivre le programme SSBS (Sol-sol balistique stratégique) au CEL (Centre d'essais des Landes) conduisait à un projet plus modeste que ce qui avait été envisagé initialement.

C'est donc dans ce contexte que le SECT entreprit de réaliser le champ de tir nécessité par le programme d'engins balistiques.

10 - LES EQUIPEMENTS DU CHAMP DE TIR POUR ENGIN BALISTIQUES

Les premiers équipements avaient été définis par le DED, certains marchés avaient déjà été notifiés, le SECT prenait donc la suite. Les choix définitivement arrêtés début 1960 portaient donc sur :

- les télescopes IGOR, à focale variable de 2,5 à 13 mètres, pour l'observation du comportement de l'engin ;
- un système d'interférométrie électromagnétique, le COTAR (Correlation Tracking and Ranging), de la société américaine Cubic Corporation de San Diego (Californie), qui devait être réalisé avec le concours d'un industriel français, en l'occurrence la Compagnie des compteurs ; il consistait en deux stations AME (*Angle Measurement Equipment*), chacune comportant un champ d'antennes de grande dimension (150 m). Finalement une base fut installée à Hammaguir, l'autre à Béchar. L'interférométrie était faite sur l'émission de télémessure de l'engin ;
- un autre système de la Compagnie Cubic, toujours avec la Compagnie des compteurs, le SECOR (*Sequential Collation Of Range*), fonctionnait par mesures électromagnétiques des distances entre l'engin en vol et trois points placés au sol ;
- le radar de haute précision Aquitaine (figure 25)¹⁰, dont le choix fut mis un temps en balance avec le radar américain AN/FPS/16 dont l'administration américaine acceptait finalement d'autoriser la vente à la France ; il se posait en effet des questions de délai, mais par ailleurs il était souhaitable de soutenir l'industrie française dans ce domaine de pointe ; le choix, porté au niveau du Comité du Guir, fut finalement renvoyé au niveau du ministre, lequel trancha en faveur du matériel français ;
- une antenne de réception des émissions de télémessure, dont la commande avait été passée à la division électronique de la SNECMA (Société nationale d'études et de constructions de moteurs d'aviation), division qui devint ensuite ELECMA. Cette antenne, Cyclope¹¹, avait une parabole de 18 mètres de diamètre qui lui conférait un gain de 28 décibels à 250 MHz, fréquence utilisée à l'époque.

¹⁰ Voir également, pour le radar, la figure 9 du chapitre 6 de ce document.

¹¹ Voir également la figure 1 du chapitre 6 de ce document.

Sur ces bases, les équipes du SECT établirent un projet de champ de tir 3 000 km qui utilisait les éléments qui viennent d'être cités, et auxquels s'ajoutèrent d'autres dispositifs pour constituer un ensemble complet d'instrumentation.

Au pied de l'antenne Cyclope, il fut construit une station de télémessure (figure 27) ; le programme d'engins balistiques utilisa les télémessures au standard IRIG, et l'équipement fut conçu pour privilégier ce standard ; cependant le standard SAT/Turck qui avait été jusqu'alors retenu par le CEV fut lui aussi pris en compte. D'autre part il faut noter que les enregistreurs photographiques gardaient leur place, la confiance dans les performances des enregistreurs magnétiques n'ayant pas encore été bien établie. L'équipement de B1 ne fut pas négligé, mais il ne fut considéré, pour le champ de tir balistique, que comme station de flanquement, constituant ainsi une « diversité d'espace » pour la réception des télémessures au début de la trajectoire.

Il était important aussi d'assurer la synchronisation de tous les appareils. Cela fut réalisé par la distribution de signaux codés à partir d'horloges centrales, une à Hammaguir, l'autre à B1, qui étaient mises en synchronisme. Le standard utilisé fut là encore le standard IRIG (*Interrange Instrumentation Group*). Ces signaux étaient distribués par un réseau de fils, et des tranchées furent ainsi creusées sur des kilomètres, dans lesquelles passèrent, outre les câbles de distribution des signaux, toutes les transmissions de données issues des modems associés aux divers appareils.

Au centre du dispositif, se trouvait le calculateur. Ce fut un calculateur IBM, du type de la série utilisée pour le système STRIDA. Il fut installé dans le bâtiment abritant le Poste de commandement du champ de tir (PCCT, figure 26). Avec un cycle de base de 8 microsecondes, ses deux mémoires à tores de 4 000 mots, il fait figure aujourd'hui de machine très modeste. Il permettait néanmoins d'assurer l'inter-désignation des divers appareils et il calculait les paramètres du vecteur vitesse, en effectuant un lissage polynômial sur 50 points. Il occupait une salle de 200 mètres carrés !

Un système de transmissions complétait le tout.

Il faut évoquer aussi la question de sécurité. A Hammaguir, le risque était faible qu'un engin défaillant atteigne une zone à densité de population notable ou un territoire étranger. La salle de sécurité d'Hammaguir était donc surtout expérimentale, avec plusieurs dispositifs de diagnostics à la disposition de l'officier de sécurité, pour lui permettre de provoquer à bon escient la neutralisation de l'engin. Cette éventualité ne se présenta jamais à Hammaguir, du moins pour le programme des engins balistiques.

11 - LE DEROULEMENT DES ESSAIS DU PROGRAMME D'ENGIN BALISTIQUE

Ces essais, qui eurent lieu à partir de 1961, sont cités et commentés dans l'ouvrage d'Emile Arnaud, *Les missiles balistiques*, dans la collection du COMAERO à laquelle appartient le présent ouvrage. Il ne paraît donc pas opportun de développer ici leur déroulement. On se permettra néanmoins de le résumer brièvement.

Ils se placèrent dans le cadre du programme des « études balistiques de base », destinées à acquérir les technologies dont la maîtrise était nécessaire au programme

lui-même des engins balistiques. Ils portèrent sur une série d'engins dont chacun reçut le nom d'une pierre précieuse.

Après le VE10 « Aigle », qui était destiné à mettre au point les procédures d'essais, le VE110 « Agate » fut tiré 12 fois, dont 10 fois avec succès ; il servit d'abord à la mise au point des têtes de mesure, puis à l'étude de la récupération du corps de rentrée. Le VE 111 « Topaze », tiré 14 fois dont 13 fois avec succès, avait pour but l'étude du pilotage. Le VE 121 « Emeraude » destiné à l'étude du pilotage d'un engin à liquide essuya d'abord deux échecs, pour finalement connaître par deux fois la réussite. Enfin le VE 231 « Saphir » (figure 28), premier biétage de la série, permit d'étudier le guidage et la rentrée dans l'atmosphère. Il fit l'objet de 15 lancements, dont 13 furent des succès. Il convient d'y ajouter les 10 tirs des VE 210 « Rubis ». Les six premiers, qui connurent deux échecs, sont à placer dans le cadre de la préparation du lanceur de satellite Diamant ; les quatre autres furent utilisés avec succès comme fusées-sondes au bénéfice du CNES.

Pour les essais du VE231R, destiné à étudier les conditions de rentrée de l'ogive dans l'atmosphère, le tir fut effectué à la quasi-verticale, le point de chute étant à 60 km sur la hamada du Guir. Ceci conduisit à déplacer le radar Aquitaine et à l'installer à B1. Pour les tirs d'essai du système de guidage, avec les VE231G, les tirs purent être effectués à grande portée. Des installations temporaires furent alors utilisées comme il était prévu lors des accords de 1962. Ainsi des télescopes IGOR, mis en place à Beni Abbés et à Tabelbala, permirent d'observer la séparation des étages. Des radars COTAL furent de la même façon utilisés pour observer la rentrée et pour localiser les points de chute à 1 500 km dans la région de Djanet puis à 2 100 km au Niger, entre Niamey et Agades.

Quatre essais purent aussi avoir lieu à Hammaguir, avant la fermeture du CIEES, dans le cadre du développement des engins balistiques eux-mêmes : deux tirs de S112 en 1965, et deux tirs de M112 en 1966. Ce furent quatre échecs.

Le premier responsable des essais pour la SEREB était le colonel Robert Michaud, qui avait été directeur du CIEES en 1947. Lui succéda Amédée Mollard. Pendant la période où la maîtrise d'ouvrage resta à la DTIA, les équipes d'essai de la SEREB travaillaient sous le contrôle de la section missiles du CEV, dirigée par Jean-Louis Rosoor, et ce fut le sous-directeur technique Air, Yves Sillard¹², qui continua à la représenter sur place, en particulier pour établir les ordres d'essais en coopération avec le CIEES et le colonel Robert Michaud représentant le maître d'œuvre industriel. Puis la section missile du CEV fut transférée en bloc à la DTEn (Direction technique des engins).

12 - LE CNES, DIAMANT ET LE PREMIER SATELLITE

Le Centre national d'études spatiales (CNES), qui avait été créé le 19 décembre 1961 par le général Aubinière, ancien directeur du CIEES, fut à ses débuts un partenaire du CIEES. On a déjà exposé son activité à Hammaguir avec les fusées-sondes. Mais c'est évidemment la réalisation du lanceur Diamant, et la mise

¹² Futur DGA.

sur orbite du premier satellite français, le 26 novembre 1965 depuis Hammaguir, qui retient l'attention.

La décision de construire le lanceur Diamant fut prise aux termes d'un protocole conclu entre la Délégation ministérielle pour l'armement (DMA) et le CNES le 9 mai 1962. La DMA s'engageait à développer la fusée lanceur et à effectuer quatre lancements pour mise sur orbite de quatre satellites. Dans la continuité du programme de missiles balistiques, la DMA désignait alors la SEREB comme maître d'œuvre industriel.

Le lanceur Diamant dérivait en effet directement d'une fusée de la série des « Pierres précieuses », le VE231 Saphir (figure 28). Dominique Chevalier décrit, dans l'ouvrage du COMAERO consacré aux *Missiles balistiques* (p. 196) le processus par lequel fut mis au point le lanceur Diamant :

« Le VE210 Rubis est alors conçu pour essayer en vol le troisième étage du lanceur, monté pour la circonstance sur un étage Agate. Huit tirs Rubis ont lieu de juin 1964 à juin 1965 : ils permettent d'expérimenter le largage de la coiffe, la séparation et la mise en rotation du 3^e étage. Sur ces huit essais, deux sont des échecs, l'un du fait d'une séparation défectueuse, l'autre parce que le deuxième étage ne s'allume pas [...] Le fonctionnement des trois étages propulsifs avait été essayé au cours des tirs de cinq VE121 Emeraude (1^{er} étage seul), de quatorze VE111 Topaze (2^e étage seul), de trois VE231 Saphir (ensemble des deux premiers étages) et de huit VE210 Rubis (3^e étage). Seul n'avait donc pas été testé en vol le dispositif de basculement de l'ensemble constitué du 2^e étage vide et du 3^e étage supportant la capsule. Le bon fonctionnement de ce dispositif était essentiel pour donner au 3^e étage au moment de son allumage une attitude de tangage aussi voisine que possible de l'horizontale locale, de façon à maximiser la composante tangentielle de la poussée ».

La préparation du lancement rencontra quelques aléas, mais finalement, le 26 novembre 1965 à 15 heures 47, la fusée Diamant prenait son envol depuis la base Brigitte. Le lancement fut nominal. Le Centre rencontra néanmoins une difficulté pour diagnostiquer la satellisation de la capsule Asterix de 29 kg ; l'émission de télémesure avait été en effet absente, l'antenne ayant été endommagée lors du largage de la coiffe. Seul le radar Aquitaine fut en mesure de diagnostiquer la satellisation et de fournir les éléments permettant de calculer les paramètres de l'orbite. Lorsque le satellite réapparut au-dessus de l'horizon après une révolution, la confirmation du succès était assurée.

Trois autres satellites furent mis sur orbite par des fusées Diamant, à partir d'Hammaguir : les satellites géodésiques Diapason et Diadème 1 et 2, pour le compte du CNES. Puis la DMA remit à celui-ci la maîtrise d'ouvrage des programmes de lanceurs. La poursuite de ces programmes eut lieu dès lors au centre spatial de Kourou, en Guyane.

Ce succès fut un des derniers actes exécutés sur le champ de tir de Colomb-Béchar-Hammaguir. La première phase du programme d'engins balistiques était terminée. Les directions avaient déjà mis fin, progressivement, à leurs activités au Sahara pour les rapatrier en métropole, et déjà le Centre d'essais des Landes (CEL) devenait opérationnel.

Faut-il dans ces conditions citer une des dernières séries d'essais ayant eu lieu à Hammaguir ? Ce furent les essais de la fusée expérimentale CORA, qui faisait partie

du projet Europa, première tentative de réaliser un lanceur européen. CORA fut tirée à deux reprises au CIEES depuis la base Béatrice. C'était une fusée à propulsion par ergols liquides destinée à des tests technologiques. Le premier essai, le 27 novembre 1966 fut un échec. Le deuxième lancement, le 18 décembre 1966 fut réussi. Mais, comme on le sait, le programme Europa fut abandonné au profit du programme Ariane dont on connaît la réussite.

L'existence du CIEES touchait à sa fin. Le SECT eut la tâche de démonter tout ce qui pouvait l'être des installations techniques pour les ramener en métropole. Et le 1^{er} juillet 1967 le site était remis aux autorités algériennes.

ANNEXE

DIRECTEURS DU CIEES

Colonel Robert Michaud, 1952-1957
Colonel Heriard-Dubreuil, 1957-1958
Colonel, puis général Robert Aubinière, 1958-1960
Colonel Chaboureau,
Général Yves Hautière,

SOUS-DIRECTEURS TECHNIQUES AIR

Jean Delacroix
Michel Bignier
Pierre Chiquet
Yves Sillard

SOUS-DIRECTEURS TECHNIQUES TERRE

Adrien Borrédon
Jean-Louis Rosoor
Jean-Claude Sompayrac

BIBLIOGRAPHIE

Pierre Fayolle, *Centres d'essais et d'évaluations*, ComHArT, tome 4, 1996. Les pages 105 à 109 sont consacrées à la SDTT, les pages 120 à 123 au SECT, les pages 69-70 traitent de l'activité de l'ETVS/ETAG, en rapport avec le CIEES.

Ouvrage collectif, *1944-1994, le Centre d'essais en vol a 50 ans*, coédition Association amicale des essais en vol, Centre d'essais en vol, Union de publicité et d'édition, dépôt légal 081, 3^e trimestre 1994.

David Redon, « Interview de Michel Bignier le 21 octobre 2003 », dans le cadre du programme *Oral History of Europe in Space*. Le texte complet en est accessible par Google. La partie concernant le CIEES a été reprise dans la revue de la 3AF (Association aéronautique et astronautique de France).

Emile Arnaud, *Les engins balistiques*, COMAERO, 2004, spécialement la troisième partie : « Champs de tir et essais en vol », par Dominique Chevallier.

René Carpentier, *Les missiles tactiques*, COMAERO, 2004. Le CIEES est brièvement évoqué page 28. Les différents programmes de missiles tactiques sont traités, mais sans jamais préciser où eurent lieu les essais.

Pierre Chiquet, *Cap sur les étoiles*, Jacques-Marie Laffont, éditeur, février 2005.

GIFAS, *L'Industrie aéronautique et spatiale française*, tome 2, pages 205 à 301, janvier 1985.

Ouvrage collectif, préface de Michel Bignier, *Les débuts de la recherche spatiale française : au temps des fusées-sondes*, Institut français d'histoire de l'Espace, Editions Edite, 2007.

Didier Bienvenu, *Systèmes de missiles sol-air*, ComHArT, tome 11, 2002.

Jacques Villain, *Histoire de la force de dissuasion – genèse et évolution*, Editions Larivière, collection DOCAVIA, 1987.

Laurent Giovachini, *L'armement français au XX^e siècle*, Les cahiers de l'armement, edts Ellipses, 2000.

Christian Vanpouille, *Le LRBA d'hier à aujourd'hui, ou 60 ans de modernité*, brochure réalisée en 2007. Voir page 19 et pp 42-46 : « Campagne à Hammaguir-Ambiance », par R. Guillat.

Julien Trebel, « Les activités scientifiques de l'armée française au Sahara, 1947-1967 », dans *Les cahiers de Montpellier*, 1999.

Maurice Vaïsse, *La 4^e République face aux problèmes d'armement*, actes du colloque organisé par le CEHD à Paris en 1998, ADDIM.

Ouvrage collectif, *Premier congrès des champs de tir (14-19 octobre 1963), actes techniques* (DRME/SDME).

Centre d'essais en vol / détachement de Colomb-Béchar/sous-direction technique Air : *Compte rendu d'activité pour l'année 1960*.

Centre des archives de l'Armement à Châtelleraut, *Comptes rendus 1959-1961 des réunions du comité du Guir et de sa sous-commission « infrastructure-équipements »*.

Centre d'archives de l'armement à Châtelleraut : Inventaire 5F1-927 – Carton 125 (*Les équipements de trajectographie optique du CIEES*) et carton 247 (*Dispositif de trajectographie radioélectrique pour le champ de tir balistique*).

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie chaleureusement Henri Cardot, Dominique Chevallier, Pierre Chiquet, Gabriel Colin, Jean Delacroix, Gilbert Doris, Michel Lecomte, Robert Leparmentier[†] et Yves Sillard, pour l'aide apportée pour la rédaction de ce chapitre.

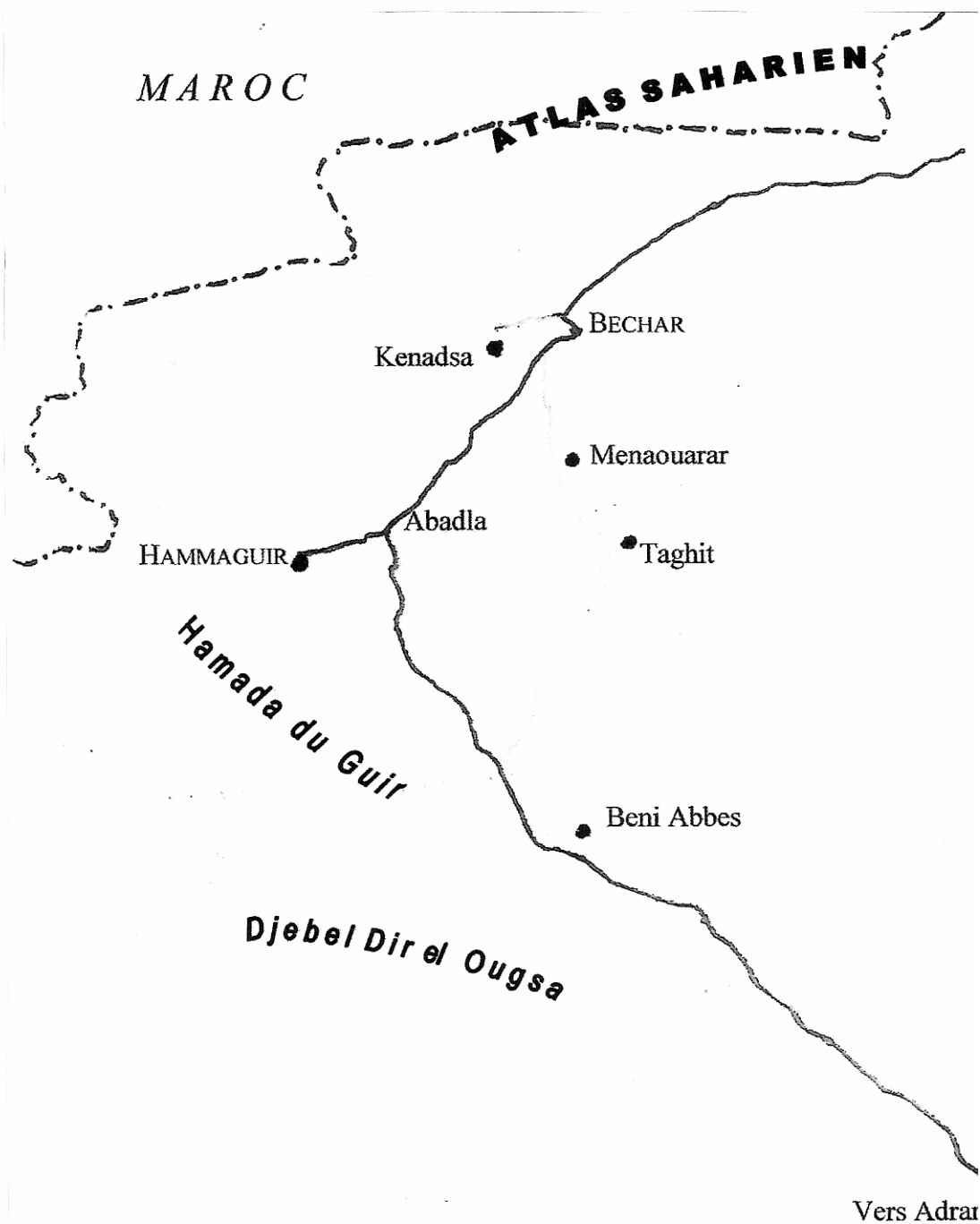


Fig. 1
Plan de situation
Echelle 1 / 2 000 000

Planche 1



Fig. 2
Le site de la base Georges Leger.
On distingue, les escarpements de la
« barga » qui limite le plateau rocheux et
constituent la limite sud du champ de tir B1

Fig. 3
La ville de Colomb-Béchar,
avec la « barga », au nord, qui barre l'horizon, et au-delà de
laquelle se trouve
la base Georges Leger



Fig. 4
La base Georges Leger en 1960

Planche 2

Fig. 5
Bou Hamama

A une quinzaine de kilomètres de la base Leger et de ITMAR, la silhouette de ce rocher se détache dans la platitude de la hamada.

Certains l'appelaient le « château de Bou Hamama » car il évoquait une ruine médiévale



Fig. 6
Le site ITMAR
(champ de tir B1)

Fig. 7
ITMAR
le PC du champ de tir B1



Planche 3



Fig. 8
Hammaguir, la base vie

Fig. 9
Hammaguir : le mess-hôtel
Les baraques disséminées sur
l'esplanade permettaient d'héberger
les missionnaires que la capacité de
l'hôtel ne permettait pas d'accueillir



Planche 4



Fig. 10
La base de lancement Blandine

Fig. 11
VERONIQUE sur le pas de tir
Blandine

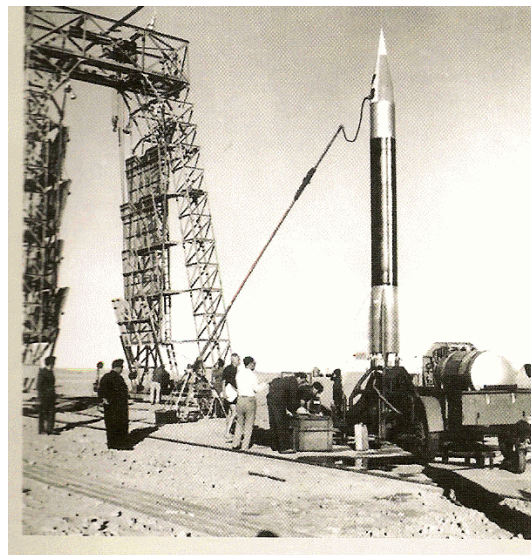


Fig. 12
Récupération après tir
d'une pointe de fusée Vesta
contenant la guenon Martine

Planche 5



Fig. 13
Base de lancement Bacchus

Fig. 14
Centaure, fusée-sonde à
poudre de Sud-Aviation
lancée depuis Bacchus



Planche 6



Fig. 15
Base de lancement Béatrice

Fig. 16
PARCA



Fig. 17
Hawk



Planche 7



Fig. 18
Base de lancement Brigitte

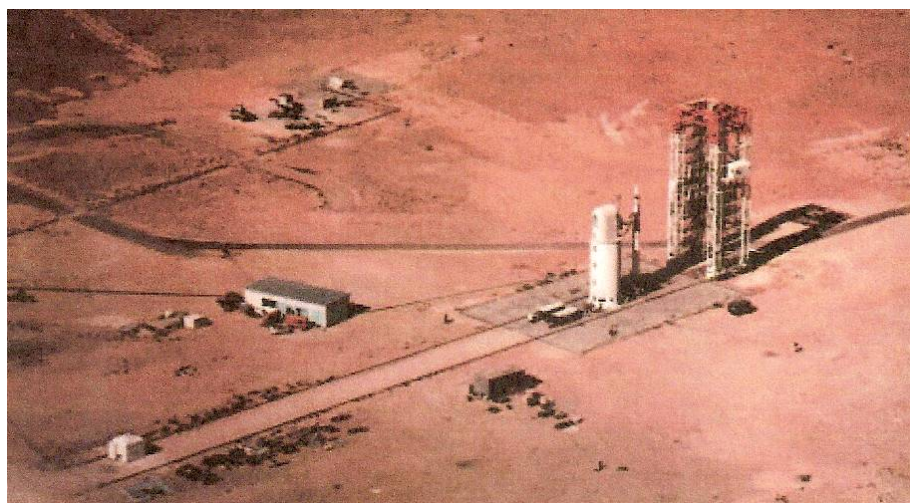


Fig. 19
Brigitte : le pas de tir destiné aux « Pierres précieuses »

Planche 8

COMAERO



Fig. 20
Engin cible CT10
à pulsoréacteur



Fig. 21
Lancement d'une cible CT 20

Planche 9

Fig. 22
Engin sol-air 4400



Fig. 23
Missiles air-air R511

Fig. 24
R530 prototype

Planche 10



Fig. 25
Site du radar Aquitaine



Fig. 26
Le PCCT (Poste de
commandement du champ de tir,
pour engins balistiques)



Fig. 27
Station de réception des
télémessures et antenne Cyclope



Planche 11



Fig. 28
Véhicule d'essai Saphir
à partir duquel devait être dérivé le lanceur de satellite Diamant

Planche 12

CHAPITRE 6

Le SECT (Service des équipements de champs de tir)¹

INTRODUCTION

Le SECT n'était pas un centre d'essais. Néanmoins, le développement de son sigle – Service des équipements de champs de tir - indique clairement que son histoire trouve sa place dans le présent ouvrage du COMAERO. Son origine se trouve en effet dans le but « de créer un organisme ayant une vue d'ensemble sur les moyens d'essais pour engins, capable de coordonner et de promouvoir dans ce domaine une politique générale d'équipement adaptée aux programmes et aux ressources de la France et de mieux orienter les travaux de l'industrie dans un domaine de haute technicité où l'Etat est le seul client ».

Ceci conduisit le SECT à développer un ensemble de compétences qui trouvèrent leurs applications sur les champs de tir de missiles d'abord, mais aussi pour d'autres applications. Son existence fut remise en cause en 1975, mais l'essentiel de son activité fut reprise au sein du CTME (Centre technique des moyens de mesure et d'essais), l'un des centres technique de l'ETCA (Etablissement technique central de l'armement) nouvellement créé. On ne se limitera donc pas au SECT lui-même, mais on prendra en considération ce CTME, en ce qu'il fut la continuation du SECT dans un autre cadre administratif.

Les actions menées par le SECT ont été multiples, couvrant un large spectre technique. Aussi, pour ne pas alourdir l'exposé, a-t-on choisi de présenter le SECT en deux parties. La première retrace l'histoire du service, mais sans s'appesantir sur le détail de son plan de charge. On renvoie, dans une deuxième partie, l'évocation plus détaillée de celui-ci, mais avec une classification par techniques, et sans prétendre à l'exhaustivité.

1 - PREMIERE PARTIE : HISTORIQUE DU SERVICE ET DE SA SUCCESSION

1.1 - Création du SECT (1961)

L'apparition de ce service est intimement liée à la décision de réaliser le champ de tir à longue portée que rendait indispensable le développement des missiles stratégiques de la force de frappe qui venait d'être décidée par le Président de Gaulle. Le choix s'était alors porté sur le champ de tir existant au Sahara et qui existait depuis 1947. Il servait pour essayer diverses armes tactiques de la DEFA (Direction des études et fabrications d'armement) ou de la DTIA (Direction technique

¹ Par Michel de Launet, avec des contributions de Patrick Anglade, Jean-Marie Blot, Max Lisbonis, Lyonel Gouédard, Claude Roux, Michel Moreau, Jean Rozmarin, Maurice Schwebel, Philippe Martelli.

et industrielle de l'aéronautique).

Pour l'étude du "Grand champ de tir", le CIEES² (Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux) avait créé en 1959 une Direction des études et développements (DED) mise en place au Fort de Montrouge à Arcueil de façon à bénéficier de la proximité des industriels destinés à intervenir.

Cependant, devant l'urgence des travaux à entreprendre, les mesures provisoires suivantes sont prises : par décision n° 112/EMGA/BT du 02/01/61, il est créé à la DEFA un Service des équipements de champs de tir (SECT) chargé essentiellement de la coordination des études et commandes des matériels destinés à équiper les champs de tir. Ce Service sera installé au Laboratoire central de l'armement (LCA) à Arcueil. L'EMGA (Etat-major général de armées) a estimé, en effet, que la DEFA était la mieux placée des directions techniques pour prendre cette responsabilité, tant par ses travaux antérieurs que par les disponibilités devant résulter de l'arrêt des études des engins sol-air.

Des dispositions particulières sont prises dans cette même décision :

- Le programme de développement reste confié à la DED du CIEES, qui bénéficiera du concours du SECT.
- Le programme sera établi en fonction des essais prévus par les Directions techniques (DT) et approuvés par celles-ci.
- Le programme sera soumis au Ministre, après examen par le Comité du Guir qui recueillera les avis des directions techniques et du SECT.
- La définition des équipements sera établie par le SECT avec le concours des directions techniques spécialisées : DEFA pour les radars, l'optique et la définition du temps ; DCCAN (Direction centrale des constructions et armes navales) pour la trajectographie interférométrique ; DTIA pour les télécommandes, les télémessures et le traitement des données ; CIEES pour les transmissions aux normes du CNET (Centre national d'études des télécommunications).
- La charge de la passation des marchés, la recette et la mise en place des équipements sera provisoirement répartie entre les directions techniques et le CIEES.
- L'établissement du budget reste de la responsabilité du directeur du CIEES, avec avis du Comité du Guir.

On remarquera que dans cette première phase de réorganisation, le SECT fonctionnait, en fait, comme un bureau d'ingénieurs conseils. Toutefois, il était prévisible qu'il devrait prendre ultérieurement l'entière responsabilité de l'équipement technique des centres d'essais sans être limité au champ de tir saharien. L'entrée en fonction du SECT devait intervenir fin mars 1961.

La lourdeur de l'organisation provisoire ainsi mise en place réduisait considérablement l'efficacité de l'action du Service face à l'importance et à l'urgence de la mission à accomplir, malgré les bonnes volontés rencontrées de toutes parts. Lors de plusieurs réunions devant le Délégué, l'ingénieur en chef Pierre Fayolle, soutenu par sa hiérarchie, l'IGA Maurice Carougeau, directeur de la DEFA et l'IGA Jean Sorlet, directeur du LCA, fit valoir les inconvénients de ces dispositions.

² Voir chapitre 5 de ce document.

Finalement, toute ambiguïté sera levée dans les responsabilités respectives du directeur du CIEES, du SECT et des autres coopérants, par la décision très concise de la DMA (Délégation ministérielle pour l'armement) (759/DMA/ORG du 15 mai 1961) qui stipulait que :

"- Le directeur du CIEES est chargé de l'organisation et du fonctionnement du Centre ;

- le chef du SECT est responsable de l'ensemble des investissements nécessaires ;

- le CIEES et le SECT sont placés sous l'autorité directe du délégué, en attendant d'être rattachés à la Direction des recherches et moyens d'essais (DRME) dès que celle-ci sera en état de fonctionner ;

- le directeur du CIEES établit et gère le budget de fonctionnement du Centre ;

- le directeur du SECT établit et gère le budget d'investissement du Centre."

Effectivement la Direction des recherches et moyens d'essais³ fut créée en avril 1961, et les deux établissements lui furent rattachés. La DRME s'organisa en créant une Sous-direction "moyens d'essais" (SDME), qui reçut en charge, en particulier, le suivi des établissements rattachés à la direction, en l'occurrence, au début, le CIEES et le SECT, plus tard, le CEL⁴ (Centre d'essais des Landes) et le CEM⁵ (Centre d'essais de Méditerranée). Le premier à occuper ce poste de sous-directeur fut l'ingénieur en chef Maurice Natta (ingénieur général en 1967).

En même temps, cette décision démantelait l'organisation précédente : le Comité du Guir, qui jusque-là avait supervisé les investissements et l'activité du centre d'essais, était supprimé, et la DED du CIEES était transférée au SECT. En fait les ingénieurs militaires qui avaient constitué la DED ne restèrent pas, pour la plupart, au SECT. Plusieurs d'entre eux devaient rejoindre le CNES (Centre national d'études spatiales).

Par contre, les postes d'officiers restèrent acquis pour le nouveau service qui put ainsi bénéficier tout au long de son existence d'officiers détachés des différentes armes : officiers mécaniciens de l'air en particulier, mais aussi officiers de différentes armes de l'armée de Terre. Au plus fort de son activité, le SECT comptait 10 officiers détachés sur un total de 27 cadres militaires ingénieurs et officiers. En particulier un officier du Génie fut affecté au SECT. Le responsable des services administratifs et généraux fut un officier des bases de l'air. L'effectif total du SECT ne dépassa jamais 130 personnes.

1.2 - L'équipement du CIEES

Dans ce nouveau cadre, le SECT entreprit l'équipement des champs de tir saharien dans la continuité de ce qu'avait commencé la DED. L'instrumentation nécessaire pour les essais de missiles tactiques était pour l'essentiel déjà en place : radar COTAL (Conduite de tir d'artillerie lourde) et un maillage de cinéthéodolites Askania et Contravès. Le SECT eut donc à s'occuper de l'extension nécessaire pour le programme d'engins balistiques. On reviendra dans la deuxième partie sur la nature des principales actions techniques menées par le service. Qu'il nous suffise ici de rappeler l'organisation du service et sa méthode de travail.

³ Voir l'annexe à la fin de ce chapitre.

⁴ Voir chapitre 7 de ce document.

⁵ Voir chapitre 8 de ce document.

Peu après la création du SECT, plus précisément le 26 mai 1961, l'ingénieur en chef Pierre Fayolle fut nommé directeur de ce service (il devait être nommé ingénieur général peu après, le 1^{er} janvier 1962) et la DEFA affectait immédiatement des ingénieurs des télécommunications d'armement et des ingénieurs de l'armement, qui renforcèrent les équipes existantes.

La méthode de travail était simple et elle devait rester celle du service durant toute son existence : des groupes techniques prenaient en charge chacun un secteur technique (trajectographie, optique, informatique, télémessure et télécommande, etc.) et faisaient appel à l'industrie pour réaliser les équipements. Les marchés étaient rédigés par les ingénieurs avec l'appui d'un service administratif, et les ingénieurs présentaient eux-mêmes les projets de contrats aux commissions spécialisées des marchés. Sur le plan financier, le SECT disposait du concours du LCA qui était l'ordinateur secondaire. Un groupe technique particulier, confié à un officier du Génie, était chargé, en accord avec chacun des groupes techniques, de définir les bâtiments qui devaient accueillir les installations de mesures et d'en rédiger le cahier des charges pour les services de réalisation des services locaux du Génie.

Pour assurer la liaison avec le CIEES, il fut créé un détachement du SECT à Colomb-Béchar, placé sous la responsabilité de Noël Playe et dénommé « Bureau animation Béchar » (SECT/BAB) ; il devait présider à l'installation des nouveaux équipements sur le champ de tir et assurer leur prise en charge par les équipes du centre dans les meilleures conditions et dans les délais les plus brefs. Pour cela on avait recours aux industriels qui avaient réalisé chacun des équipements et qui, dans chaque cas, assuraient l'assistance technique auprès du personnel concerné du CIEES, sous encadrement du SECT, en l'occurrence du SECT/BAB. Celui-ci devait d'ailleurs être rapidement étoffé par affectation d'ingénieurs militaires et d'ingénieurs civils.

Le projet initial, tel que l'avait imaginé la DED, concernait un champ de tir à longue portée (3 000 km) jusqu'à la région de Fort Lamy au Tchad, avec des portées intermédiaires à 500, 1 200 et 1 700 km. La signature des accords d'Evian, le 18 mars 1962, devait modifier les perspectives envisagées quelques années plus tôt : le CIEES devait en effet disparaître. Toutefois un accord avec l'Algérie rendait possible l'utilisation du champ de tir jusqu'en 1967 (figure 1). Pendant ce délai, il était prévu de développer un programme de fusées expérimentales, les "Pierres précieuses", destinées à préparer le programme de missiles stratégiques, et dont devait être dérivé le lanceur du premier satellite français. Mais le programme initial, qui prévoyait d'équiper un champ de tir de portée 3 000 kilomètres fut abandonné. Ces nouvelles conditions ne modifièrent pas sensiblement la nature de l'instrumentation de mesure. Elles agirent sur l'ampleur et le déploiement géographique des moyens, mais finalement assez peu sur leur nature technique. Ce fut au demeurant un banc d'essai précieux qui fut mis à profit, lors de la conception du Centre d'essais des Landes.

Ces installations eurent à jouer leur rôle lors du lancement du premier satellite français par la fusée Diamant. Ce fut au radar Aquitaine du CIEES qu'échut le soin de diagnostiquer la réussite de la mise en orbite de la capsule Astérix. Mais il nous faut aussi mentionner l'opération de circonstance menée par le SECT pour assurer, lors du lancement de ce premier satellite, une réception de télémessure depuis le golfe de Gabès grâce à un navire, le *Guepratte*, équipé pour la circonstance.

L'existence du CIEES prit fin le 1^{er} juillet 1967, après que les installations eurent été démontées. Il revint au SECT/BAB de superviser ces dernières opérations, en récupérant ce qui pouvait être réutilisé sur les champs de tir métropolitains, CEM ou CEL. Finalement le SECT/BAB fut dissous officiellement le 1^{er} avril 1967.

1.3 - La création du Centre d'essais des Landes (CEL)

Dès le début de 1961, l'avenir du champ de tir saharien devenait de plus en plus incertain du fait de l'évolution de la situation en Algérie, et il apparaissait nécessaire de rechercher une solution de repli qui permettrait à court terme de poursuivre les essais relatifs au programme de missiles balistiques. Ce fut une mission que reçut la DRME dès sa création en avril 1961. Deux solutions se présentaient :

- une implantation en Guyane française : la base de lancement, située près de l'équateur et autorisant un tir vers l'ouest, se présentait comme très avantageuse pour les lancements de satellites. Mais ce n'était pas la priorité des militaires ; de plus l'éloignement de la métropole constituait un handicap sérieux ;

- une implantation sur le littoral aquitain entre l'étang de Parentis et la côte, là où existait une grande forêt domaniale ; cette solution présentait de plus l'avantage d'être proche de la base aérienne de Cazaux où se trouvait une annexe du CEV⁶ (Centre d'essais en vol). Cette deuxième solution était immédiatement évaluée par la petite équipe entourant l'ingénieur en chef Pierre Fayolle, avec les ingénieurs principaux René Reymond et René Boudin qui établirent rapidement un plan directeur des installations techniques du futur établissement, en envisageant, d'ores et déjà, les moyens qui seraient nécessaires au réceptacle.

La DRME, qui avait confié la tâche à son sous-directeur moyens d'essais, Maurice Natta, proposa la solution métropolitaine dans les Landes. Cette proposition fut immédiatement retenue par le ministre, Pierre Messmer, qui décida la création du Centre d'essais des Landes (CEL), le 4 juillet 1962 (décision 11408/DMA/CAB), et chargea la DRME de sa réalisation. Celle-ci confia alors au SECT le soin de fonder et d'équiper le nouvel établissement. La direction du SECT établissait un avant-projet (document 126/SECT/D/CD), avec devis estimatif et échéancier, pour une entrée en service en juillet 1965 au profit du programme balistique. Cet avant-projet couvrait la totalité des investissements à réaliser, aussi bien les moyens techniques que les moyens supports. Il prenait aussi en compte les moyens nécessaires pour un réceptacle océanique.

En même temps que le SECT recevait mission de créer le futur Centre, le directeur de celui-ci était désigné : ce fut l'ingénieur en chef Jean Soissons. Celui-ci organisa une base provisoire en utilisant les installations laissées vacantes par les hydravions Latécoère, et en les complétant par des baraques préfabriquées (baragues Fillod), ce qui permit d'accueillir les bureaux et les premiers personnels des divers participants, fixes ou de passage pour de courts séjours. C'est ainsi que put s'installer sur place le Bureau animation Landes, du SECT (SECT/BAL).

En effet, la direction du SECT avait créé, le 24 juin 1963, une antenne locale, à l'instar de ce qui existait au CIEES. avec une mission identique à celle qui avait été celle du SECT/BAB : présider à l'installation sur place des équipements techniques qui allaient constituer les systèmes de mesure du futur Centre. La responsabilité du SECT/BAL, initialement confiée à Noël Playe, devait échoir à Gilbert Doris, à

⁶ Voir chapitre 1 de ce document.

compter d'octobre 1964. Le SECT/BAL devait exister tant que l'activité du SECT s'exerça au profit du CEL. Il devait disparaître en 1971.

De la même façon que le SECT/BAB avait reçu l'appoint d'agents du CIEES, comme il a été mentionné plus haut, la méthode fut reconduite dans les Landes grâce un accord entre Pierre Fayolle et le chef désigné du futur centre afin que soient recrutés sur des postes d'effectifs du CEL des personnels qui, sous la conduite du SECT/BAL et avec la participation des industriels, apportèrent leur concours. L'objectif, là encore, était de faire en sorte que le transfert du SECT au CEL put s'effectuer dans les meilleures conditions techniques et avec les délais minimaux selon le vœu du ministre.

1.4 - L'édification du Centre d'essais des Landes (1961-1967)

Lorsque le SECT entreprit la construction du CEL, il était encore en charge de la réalisation à Hammaguir de l'instrumentation nécessaire pour les tirs des véhicules d'essais (VE "Pierres précieuses"). Il était donc hors de question d'utiliser dans un premier temps des équipements récupérés du champ de tir saharien, puisque l'objectif était une première utilisation pour le programme balistique en 1965. L'équipement du CEL fut donc réalisé avec des matériels nouveaux, mais qui évidemment mettaient à profit les études réalisées pour le CIEES ainsi que l'expérience acquise à l'occasion de l'équipement de ce Centre, et aussi en mettant à profit les avancées techniques intervenues entre-temps.

L'emprise retenue pour édifier la base principale du CEL se situe entre l'océan et le lac de Biscarosse, sur une étendue nord-sud de 25 kilomètres et une profondeur de quelque 6 kilomètres. Cette emprise n'offrait pas un cadre très favorable, avec une succession de dunes de direction nord-sud, recouvertes de pins maritimes et séparées par des creux dont la largeur ne dépassait souvent pas 500 mètres. Leur altitude moyenne était de 40 mètres avec des points culminants à 80 mètres. Il s'agissait de sable, sur une épaisseur pouvant atteindre 130 mètres et humide dès 3 mètres de profondeur. Cela était incompatible avec l'édification de supports d'instrumentation requérant une très grande stabilité. Pour stabiliser le sol sur les sites choisis pour les recevoir, on eut recours à la technique de vibroflottation : une grosse "aiguille vibrante" était enfoncée dans le sol en même temps qu'on injectait de l'eau. Le niveau du sol s'abaissait alors de plusieurs mètres et pouvait recevoir le revêtement de surface.

Une première tâche fut d'établir une cartographie précise. Les cartes dont on disposait étaient très anciennes pour cette bande littorale, couverte de dunes qui s'étendaient entre l'océan et le lac de Biscarosse-Parentis (on a prétendu qu'elles avaient été établies sous le 2^e Empire par des officiers du Génie). Plantées de pins maritimes, ces dunes étaient considérées comme stabilisées. Le SECT demanda donc à l'IGN (Institut géographique national) de se charger en priorité de la couverture de cette zone, ce qui fut fait malgré de réelles difficultés dues au revêtement forestier.

La construction d'un réseau routier fut réalisé sous la conduite du groupe technique « Génie » (capitaine Edouard Verstraete) du SECT.

Le nouvel établissement devait prendre le relais du champ de tir saharien dans toutes ses activités. Si la motivation première de sa création était le champ de tir

pour engins balistiques, il devait aussi prendre en compte les essais de missiles tactiques air-air en liaison avec le CEV/Cazaux, les essais de missiles sol-air et même des essais de missiles air-sol (antiradars).

Des lancements de fusées-sondes étaient aussi prévus, en attendant que le CNES puisse utiliser le champ de tir guyanais ; à cet effet, une zone de lancement fut prévue au sud de l'emprise. Il y fut tiré des fusées-sondes à poudre (aucune à liquide) au début du CEL : elles posaient des problèmes de sauvegarde et on les vit partir avec soulagement.

La construction des sites techniques put alors être entreprise. Ils devaient se répartir du nord au sud tout au long de l'emprise, tournés vers l'océan ; les bases de lancement de missiles stratégiques furent établies, sous la responsabilité de la SEREB (Société d'études et de réalisation d'engins balistiques), à mi-hauteur de la longueur du site. La base vie et le Poste central du champ de tir (PCCT) trouvèrent leur place tout au nord de l'emprise principale.

Mais il apparut vite que des équipements de mesure devaient être placés en dehors de l'emprise, soit pour des raisons de géométrie du dispositif (cas des AME, *Angle Measurement Equipments*, figure 13 ; du système COTAR, *Correlation Tracking And Ranging*), soit pour des raisons de couverture des zones d'essais (comme ce fut le cas pour les points optiques). On devait alors les trouver au sud du village de Mimizan d'une part, et au nord jusqu'au droit du village de Cazaux. La figure 2 indique le déploiement de ces moyens tels qu'ils devaient se présenter en 1975. On trouvera en deuxième partie des précisions sur les différents équipements mentionnés sur ce schéma.

De plus il était indispensable de disposer d'une station de flanquement à une centaine de kilomètres des bases de lancement. Elle fut implantée à Hourtin, à quelque 100 km de Biscarosse, toujours à proximité du littoral. Ce fut d'abord une station de réception des télémessures dont l'antenne Télémaque fut installée au sommet de la tour désaffectée d'un phare. Puis d'autres installations arrivèrent et il se créa une véritable annexe du CEL. Bien plus tard enfin, en 1980, une « station de grand flanquement » fut construite près de Quimper par le CEL.

1.5 - Le réceptacle – Florès, les AMOR, les moyens navals (1962-1968)

Le point de chute des missiles stratégiques se situait à quelque 3 000 kilomètres du point de lancement et se trouvait ainsi en plein océan Atlantique, dans la zone de l'archipel portugais des Açores. Le SECT eut donc à concevoir et à réaliser les moyens de mesures et d'observation nécessaires. Ils furent constitués par trois composantes : une station fixe sur l'île de Florès, dans l'archipel portugais des Açores ; des moyens aériens : les avions AMOR ; des moyens navals.

L'île de Florès, la plus occidentale de l'archipel des Açores, se situe à environ 2 400 kilomètres du site des Landes. Le SECT y construisit une annexe du CEL, avec ses moyens de mesure (radar, réception des télémessures), qui étaient les mêmes que ceux équipant la métropole. La difficulté vint de l'absence de tout équipement d'infrastructure sur l'île : il fallut créer les routes, la fourniture en électricité, un aérodrome, prévoir le logement du personnel et des familles. En l'absence de port, l'acheminement des matériels prit la tournure d'une opération. Elle

fut menée de main de maître par René Reymond. Ce fut l'opération « Hortensia » (figures 3 et 4). L'annexe de Florès devait rester en service jusqu'en 1993.

En 1962/1963, le SECT entreprit la réalisation des moyens aériens. Pour cela, l'ingénieur général Pierre Fayolle s'entoura d'une petite équipe en faisant appel, entre autres, à des experts du CEV (Jean Renaudie). Le choix se porta sur des avions DC7, avions à hélices qui, avec l'apparition des avions à réaction, se trouvaient disponibles sur le marché de l'occasion. Mais, pour remplir les missions attendues d'eux au réceptacle, ils devaient subir des aménagements importants. On en donnera les détails en deuxième partie. La mise en œuvre des AMOR (figures 5 et 6) fut déléguée au CEV, qui créa alors une section spécifique.

Le CEM eut occasionnellement à se servir des AMOR. Mais, avant l'arrivée de ceux-ci, il utilisa un « Petit AMOR » dont on dira un mot en deuxième partie.

Les moyens navals réalisés par le SECT ont concerné plusieurs navires. Mais surtout évidemment le Bâtiment d'essais et de mesures (BEM), le *Henri Poincaré* (figures 7 et 8). Ces moyens navals étaient destinés à être affectés à la Marine nationale. Celle-ci créa à cet effet une force navale indépendante, le Groupe naval d'essais et de mesures (GNEM ou Groupe M), avec à sa tête un amiral (ALGROUPEM). Ce fut l'occasion pour le SECT de travailler directement en liaison avec la Marine. A cet effet il fut créé une antenne à Brest, le Bureau animation mer (SECT/BAM), dont fut chargé Henri Receveur. A la partie centrale du SECT, l'ingénieur général Pierre Fayolle confiait ces affaires à un bureau d'étude générale dont fut chargé l'ingénieur-en-chef René Besseau. Donnons quelques détails sur les étapes.

Tout avait commencé avec le *Guepratte*, dont il a déjà été question pour sa participation au lancement depuis le CIEES du satellite « Astérix » par Diamant. Ce bâtiment, un escorteur d'escadre T47, était disponible en attente d'une refonte. L'aménagement à son bord d'une station de réception de télémesure fut rapidement réalisé, et le navire, positionné à chaque fois dans le golfe de Gabès, participa aux lancements de satellites, d'abord, comme il a été dit, la capsule expérimentale « Astérix » en novembre 1965, puis le satellite « Diapason » du CNES en 1966.

Tout de suite après, le *Guépratte* prêta son concours au Centre d'essais des Landes et, le 23 janvier 1967, il effectuait sa première campagne au profit de ce Centre, puis participait à un nouvel essai en décembre 1967, puis en janvier 1968. Il était alors en compagnie du *Henri Poincaré* nouvellement réalisé. Le *Guépratte* faisait partie du Groupe M qui avait été créé le 14 décembre 1966. Il devait quitter ce groupe M, tout de suite après la campagne de janvier 1968.

Entre temps, il avait été en effet décidé de réaliser le Bâtiment d'essais et de mesures *Henri Poincaré*, et la Marine nationale avait créé le GNEM (Groupe M) (arrêté du 7 septembre 1966) :

« Le GNEM (Groupe « M ») a pour mission d'apporter à la Direction technique des engins (DTEn) le soutien général et permanent en moyens navals et aéronavals nécessaires aux activités scientifiques, techniques et militaires du ressort de cette direction, principalement celles confiées au Centre d'essais des Landes (CEL).

Le Groupe M remplit les tâches propres à ce domaine maritime, c'est-à-dire :

- surveillance et sécurité des zones réceptacles ;
- mesures à effectuer dans les zones hors de portée des moyens du CEL et qui

correspondent à la dernière partie de la trajectoire des engins balistiques (M4, M20, S3) lancés du CEL ou des sous-marins. »

Ont alors été affectés au Groupe M, outre le BEM *Henri Poincaré* encore en devenir et le *Guépratte* déjà en service, deux escorteurs rapides *Le Savoyard* et *Le Basque* (celui-ci remplacé plus tard par *Le Breton*). Il revenait donc au SECT de rendre ces bâtiments aptes à remplir leurs missions de mesure.

Le *Poincaré* fut admis au service actif au GNEM le 1^{er} mars 1968. A cette date les escorteurs étaient prêts pour le seconder. Le BEMHP resta en service jusqu'en 1993. Il fut remplacé par le *Monge*. Le SECT (ou plutôt le CTME qui prit sa suite) eut à prendre en charge le sous-programme relatif à la réalisation de son instrumentation de mesure.

Le Groupe M devait exister jusqu'en 2000 (arrêté du 10 janvier 2000 portant abrogation de celui du 7 septembre 1966).

1.6 - Le rattachement du CEM à la DRME (1961-1968)

Alors que se créait le CIEES, la Marine, pour laquelle le champ de tir saharien était inadapté, installait un champ de tir en Méditerranée avec comme base l'île du Levant. Ce fut d'abord l'état-major de la Marine qui créa, en 1952, le Centre d'essais et de recherches pour engins spéciaux (CERES), puis la DTCN (Direction technique des constructions navales) qui installa, rattaché à son établissement de Toulon, un Groupe technique d'étude des engins spéciaux (GTES), qui fut par la suite rattaché directement à son administration centrale.

Le GTES se chargeait d'installer les moyens de mesure nécessaires pour les essais techniques. Sa vocation était à l'évidence d'être rattaché à la DRME/SDME, ce qui fut fait en 1961, l'établissement de Toulon continuant à assurer le support. Son rapprochement avec le SECT s'établit alors tout naturellement. Ce champ de tir fonctionnait alors en liaison avec deux organismes : le CERES, rattaché à l'état-major de la Marine et le GTES qui dépendait de la DGA, désormais par le truchement de la DRME - en pratique de sa sous-direction Moyens d'essais.

Cette organisation peu orthodoxe, mais qui néanmoins fonctionna harmonieusement, prit fin quand le ministre décida, le 13 juillet 1968, la fusion du GTES et du CERES, pour créer le Centre d'essais de la Méditerranée (CEM), lequel fut placé sous l'autorité de la DRME. Le directeur du Centre fut un officier de marine, avec, pour adjoint, un ingénieur de l'armement aux prérogatives étendues. Le SECT eut alors à prendre en compte l'équipement de ce nouvel établissement et fonctionna alors, en quelque sorte, comme il l'avait fait avec le CIEES. Seule différence importante, il n'y eut pas de « bureau animation », ce qui était issu du GTES au sein du CEM assumant naturellement cette fonction.

1.7 - L'activité du SECT de 1967 à sa dissolution en 1975

En 1968, l'équipement technique du CEL, tel qu'il avait été prévu dans le projet initial, était pratiquement réalisé. La tâche du SECT n'en était pas terminée pour autant. Il lui fallut faire évoluer les moyens pour satisfaire les exigences qui apparaissaient avec le développement du programme d'engins balistiques. Par

ailleurs, de leur côté, les essais d'engins tactiques prenaient de l'extension. Enfin la prise en considération de l'équipement du CEM occasionnait une charge complémentaire. Tout cela en tenant compte des progrès et changements techniques qui conduisaient à faire évoluer les équipements.

Et il convient d'y ajouter la création du complexe « rail d'essais dynamique » qui prenait la suite, en 1967, de ce qui avait existé au CIEES et connaissait un important développement dans l'emprise du CEL.

Une contrainte apparut très vite quand, pour les émissions de télémesure, on dut abandonner la bande P (autour de 250 MHz) et reporter l'instrumentation en bande S autour de 2 300 MHz. De plus, toujours concernant les télémesures, l'évolution inexorable vers les systèmes numériques la PCM (*Pulse Code Modulation*) commençait à s'imposer.

Du côté des radars, le SECT fut amené à faire développer des matériels prenant en compte l'évolution technique, tout en restant fidèle au choix fait avec les tourelles « Béarn » (figure 10). Mais c'est l'observation et les mesures que demandait la réalisation des aides à la pénétration qui conduisirent à des études et des réalisations nouvelles, en particulier le radar « Savoie » (figure 12) et les systèmes permettant d'étudier le phénomène de rentrée dans l'atmosphère : « Nimbus » et ses successeurs.

Une charge importante fut provoquée par l'implication du SECT dans le projet de déplacement du Bassin d'essais des carènes à Nantes. Cette affaire sort évidemment du cadre défini pour le COMAERO. Toutefois, dès l'origine, il se posa la question de l'utilisation du bassin de l'Hers, au CEAT⁷ (Centre d'essais aéronautique de Toulouse). Ne pouvait-on pas tirer profit de cette installation, importante, pour effectuer des essais qui auraient demandé la réalisation à Nantes de moyens spécifiques. Les avis étaient partagés, tant différent l'hydrodynamique et l'aérodynamique, mais les hydrodynamiciens patentés (Serge Bindel, Max Aucher, la société SOGREAH, Société grenobloise d'études et d'applications hydrauliques) estimaient que ce bassin, long de 1 200 mètres, convenait pour des essais d'« hydrodynamique rapide ». Il fut alors décidé, en 1972, d'améliorer en conséquence cet investissement, et le SECT en fut chargé, en liaison avec le CEAT et le Bassin des carènes.

Au cours de cette période, il devait s'établir une relation de confiance avec le CEV et son service méthode. Le SECT réalisa pour ce Centre l'équipement STRADA (Système de trajectographie d'approche). Cette collaboration devait se poursuivre et s'amplifier avec le CTME.

A partir du début des années soixante-dix, il fut fait appel au SECT pour des affaires très diverses, surtout à l'initiative de la SDME dans son rôle de coordination des moyens d'essais de la DGA. C'est ainsi que le SECT eut à réaliser un répertoire des moyens d'essais d'environnement, ce qui le conduisit à s'adresser à l'ASTE (Association pour les sciences et techniques de l'environnement). Mais il eut aussi à faire d'autres approches pour des moyens que la SDME envisageait de financer, au

⁷ Voir chapitre 2 de ce document.

moins partiellement. Citons l'« Archimodule » des caissons 400 et 100 bar et un caisson anéchoïde. En fait, le SECT devenait de plus en plus le service technique sur lequel s'appuyait sa direction pour sa mission « moyens d'essais ». Et cela devait produire une charge qui put être estimée à 30% de son potentiel.

Pour en terminer avec les activités tout à fait étrangères au domaine de l'aéronautique et même des moyens d'essais, il convient de signaler le support fourni par le SECT au directeur de programme chargé de réaliser la nouvelle Ecole polytechnique à Palaiseau, l'ingénieur général Antonin Collet-Billon. Celui-ci, alors directeur du LCA (Laboratoire central de l'armement), eut en effet recours à des ingénieurs du SECT (Michel Moreau, Yves Stierlé, etc.) et à leurs équipes pour instruire les dossiers relatifs à cette affaire d'envergure. Il en résulta là encore une charge non négligeable, même si elle ne se traduit pas en termes d'opérations financières extérieures.

1.8 - Du SECT au CTME

L'organisation décrite ci-dessus persista tant que l'équipement en moyens de mesures eut à évoluer pour prendre en compte les exigences qu'impliquait le déroulement des programmes de missiles, etc. Mais cette situation créait des tensions, lorsque les centres acquièrent une certaine maturité et il se posait la question de la pérennité d'un service qui avait été créé pour réaliser le CIEES, puis le CEL et le CEM. Fallait-il le maintenir, maintenant que ces derniers centres existaient, fonctionnaient et pouvaient se gérer techniquement ? Il apparaissait d'ailleurs que la quasi-totalité de leur plan de charge relevait de la Direction des engins (DEN), que ce soit au titre des missiles stratégiques ou au titre des missiles tactiques.

En 1974/75, l'existence du SECT était donc remise en cause. C'est alors qu'apparut le fait que le service avait pris en charge des activités dont il vient d'être question, et qui sortaient du domaine concernant les champs de tir, tout en restant dans des secteurs où la compétence acquise trouvait à s'exercer. Ces activités se plaçaient, au demeurant, dans l'esprit de ce qu'avait reçu la DRME, au titre de sa mission « Moyens d'essais » telle qu'elle fut confirmée en 1970.

Deux textes méritent ici d'être cités :

Le premier est extrait d'une fiche n°541 DRME/ME1DR du 16 mai 1969 :

« Dans le cadre de sa "mission de coordination de développement des moyens d'essais d'intérêt général, la DRME/SDME intervient en matière d'investissement de deux manières différentes :

- Elle prend à son compte des opérations complètes, soit à la demande de la DPAI [Direction des programmes et des affaires industrielles] (transfert du bassin des carènes), soit à la demande des directions techniques intéressées : DTCN [Direction technique des constructions navales] (moyens d'essais pour sous-marins grande profondeur).

- Elle agit pour le compte d'une direction technique, sur demande de celle-ci, mais celle-ci assure le financement et garde la maîtrise d'ouvrage. »

Dans ce contexte, il ressortait que le SECT était devenu, de fait, le service

technique de la SDME. Cela pouvait représenter environ un quart de son activité, soit sous forme de conduite effective de programme soit, de façon moins concrète, sous forme d'analyse et d'évaluation de questions soulevées par l'organisme central.

La deuxième citation annoncée précédemment est contenue dans une lettre du délégué ministériel pour l'armement, Jean Blancard, au ministre, le 27 février 1973 :

« L'activité au profit du CEL et du CEM – renouvellement des équipements qui restent nécessaires et adaptation aux programmes nouveaux - doit subsister et rester confiée à l'équipe existante qui a prouvé sa compétence et son efficacité.

Le SECT s'est par ailleurs orienté vers des travaux au profit de moyens d'essais relevant d'autres directions que la DRME, et des travaux divers d'architecture industrielle ; là encore il a réussi, souvent certainement mieux que n'auraient pu le faire des organismes extérieurs aux Armées dont le concours aurait pu être recherché, ne serait-ce que par son appartenance à la DMA qui lui facilite l'accès à l'information, la compréhension du problème posé, l'adhésion à la défense de l'intérêt du "client". Toutefois en période de réduction d'effectifs et alors que des problèmes de personnel se posent dans des secteurs prioritaires, il me faut faire des choix. Je demande donc à la DRME de ne pas entreprendre systématiquement d'activité nouvelle dans ce domaine. Les effectifs du SECT doivent être fixés en fonction de sa seule mission de soutien du CEL et du CEM, et ce service ne doit prendre en charge d'autres missions occasionnelles que s'il n'en résulte aucun besoin supplémentaire en personnels. »

Mais cette même lettre du délégué au ministre remettait explicitement en cause la mission « Moyens d'essais » de la DRME, et par conséquent l'existence même de la SDME :

« Comme je vous l'ai déjà indiqué, j'estime qu'il serait peu réaliste de vouloir confier à une cellule spécialisée la coordination de la politique des investissements en moyens d'essais ; la lourdeur qui en résulterait serait sans commune mesure avec le bénéfice escompté. Cette position est, dans une certaine mesure, j'en suis conscient, en opposition avec les termes du décret de 1970 relatif à la DRME.

Les problèmes qui se posent en la matière sont des problèmes ponctuels. Alerté soit par la DPAI, responsable de la coordination générale en matière d'investissements pour l'ensemble de la DMA, soit par une autre autorité, il m'appartient, au coup par coup, de confier une enquête précise à l'Inspection de l'armement qui s'entoure d'une équipe de techniciens compétents, à la DPAI, ou à une autre direction qui peut être la DRME.»

Les réflexions s'organisèrent alors, avec comme idée directrice de fusionner le SECT avec le département électronique du LCA que dirigeait Paul Devaux et dont l'activité s'était développée par la fourniture d'équipements au centre d'essais nucléaires. Il était question de créer un centre des techniques générales de l'armement au sein duquel les deux entités considérées, dont certains considéraient qu'elles étaient complémentaires, trouveraient leur place après leur fusion. Il devait en résulter la création de l'ETCA.

1.9 - Création du CTME au sein de l'ETCA

Par décision n°11320 DMA/D du 24 juillet 1975, le délégué ministériel pour l'armement décidait qu'à compter du 1^{er} septembre 1975, les moyens du Laboratoire

central de l'armement, du Service d'équipement des champs de tir et du Bureau des méthodes et technologies modernes seraient regroupés au sein d'un centre de techniques générales de l'armement à vocation interdirections.

Ce centre devait prendre le nom d'ETCA (Etablissement technique central de l'armement). En réalité, à sa création, l'ETCA avait pris le nom d'ECA (Etablissement central de l'armement), et c'est suite à un recours (amical) de la société ECA Automation, qu'il a pris le nom d'ETCA⁸.

Dans un premier temps, le SECT et le département électronique du LCA furent intégrés dans un Service technique des moyens d'essais (STME), dont la responsabilité fut confiée à l'ingénieur en chef Henri Verney, avec comme adjoint Paul Devaux. Mais bientôt l'ETCA s'organisait en cinq centres techniques, jouissant chacun d'une grande autonomie. L'un d'eux fut le Centre des techniques et moyens de mesures et d'essais (CTME) dont le chef fut Paul Devaux avec comme adjoint Lyonel Gouédard. En résulta-t-il une complémentarité ou une synergie entre les deux composantes ainsi accolées ? La suite devait montrer que le CTME reprit dans la continuité les activités du SECT, avec le changement qui est mentionné ci-après dans ses rapports avec les centres d'essais et sous la conduite plus particulière de Lyonel Gouédard. Celui-ci devait prendre la tête du service peu après, au départ de Paul Devaux.

De plus, lors de la création de l'ETCA, le CTME se vit conforté pour continuer les actions qu'avait entreprises le SECT en dehors du domaine des champs de tir. En effet, dans le secteur concernant le CTME, l'ETCA s'était vu attribuer deux types d'actions :

- apporter un soutien technique aux services de la DRET (Direction des recherches, études et techniques) dans leurs actions d'intérêt général et notamment celles de coordination (ce qui correspondait, grosso modo, à la partie ex-LCA) ;
- réaliser des travaux techniques faisant appel à de multiples compétences (ingénierie), à la demande de toutes les directions techniques de la DGA et, plus généralement, du ministère de la défense ou d'organismes extérieurs. Ceci correspondait à la partie SECT, avec une extension de ses missions à l'ensemble du ministère, mais par contre en perdant la part décisionnelle qu'avait le SECT sur les choix d'investissements des centres d'essais.

L'ETCA à sa création relevait de la Direction technique des armements terrestres (DTAT), mais très vite il devait être rattaché à la DRET, lors d'une réorganisation de la DMA intervenue mi-1977. La DRET fut créée par les décrets 77-511 et 77-512 du 17 mai 1977. A cette même époque (décret N° 77 512 du 17/5/1977), les deux champs de tir CEL et CEM étaient rattachés à la Direction technique des engins (DTEn).

Il y eut donc, entre 1975 et 1977, une période assez confuse pendant laquelle subsista, au sein de la DRME, une SDME qui coiffait les deux centres d'essais, mais sans disposer organiquement du soutien que lui apportait auparavant le SECT. De toute façon, il en résultait un changement important : chaque centre d'essai devenait gestionnaire direct de ses crédits d'investissements et, s'il continuait à s'adresser au CTME pour les choix et les réalisations de ces investissements, dans la continuité de

⁸ On trouve donc dans les textes officiels, suivant leur date, les deux désignations.

ce qui avait été fait avec le SECT, c'était désormais en décideur et en disposant de crédits que lui avait octroyés son administration centrale de rattachement, en l'occurrence la DTEn à partir de 1977.

1.10 - L'activité du CTME (1975-1997)

Le CTME, désormais service d'ingénierie, considérait les champs de tir comme des « clients ». Mais l'activité à leur profit ne subit pas de modification importante : il continua à assurer l'évolution des équipements comme le passage des télémesures dans la bande S, la réalisation de radars, etc. Le SECT eut aussi à fournir l'équipement de l'annexe de Quimper du CEL, ce Centre ayant décidé d'assurer lui-même la maîtrise d'ouvrage de cette nouvelle station de flanquement.

En ce qui concerne les cibles, le CTME concrétisa un investissement envisagé à la fin du SECT en approvisionnant une cible supersonique baptisée « Vanneau » réalisée à partir d'une cible d'origine américaine AQM63 et adaptée aux champs de tir français par la société Matra. Les cibles classiques, elles, furent réalisées par la DTEn, mais il revint au SECT de prévoir pour ces engins les équipements embarqués relatifs aux fonctions propres aux champs de tir (répondeurs, télécommande, etc.), et pour la cible marine, il y eut à remplacer la vedette tractrice : la *Semeuse* laissa la place à une vedette neuve ; le directeur du CEL insista pour l'appeler *Alienor*. Mais surtout, en ce qui concerne les cibles, le CTME eut à trouver des solutions pour mesurer la distance et la façon dont un missile attaquait sa cible en phase finale : le problème de la proximétrie.

Au bénéfice du CEM, outre l'activité courante de soutien, le SECT équipa une nouvelle installation au Mont Coudon, permettant ainsi d'accroître très sensiblement la surface couverte par l'instrumentation de mesure.

Un nouveau type d'installations fut pris en charge en Méditerranée : la trajectographie sous-marine. Le projet, muri depuis longtemps, concernait un polygone sous-marin qui devait se raccorder sans solution de continuité au champ de tir aérien. Mais lorsque le projet fut présenté, l'état-major de la Marine fit valoir une priorité : le contrôle opérationnel des senseurs de la Marine. C'est ainsi que fut d'abord réalisé le « COSMAR » (Contrôle opérationnel des senseurs de la marine), installation où pouvaient se présenter les navires en service pour vérifier que leurs divers appareils, radars et sonars, fonctionnaient effectivement de façon cohérente.

La réalisation du polygone sous-marin, baptisé TREMAIL (Trajectographe pour engins marins à l'île du Levant) (figure 23), fut alors entreprise. Il en sera question en deuxième partie.

Enfin il convient de signaler la réalisation et l'installation au CEL d'un grand simulateur d'impulsion électromagnétique. On sait que, en cas d'explosion nucléaire exoatmosphérique, il se produirait au sol sur une vaste zone (plusieurs centaines de kilomètres de rayon) une forte impulsion électromagnétique susceptible de perturber gravement, d'endommager, voire de détruire des installations et équipements électriques qui lui seraient exposés. Il fallait donc pouvoir tester les matériels sensibles contre cette agression. Le simulateur nécessaire à cet effet devait être situé dans un endroit où les perturbations qu'il pouvait créer pour son environnement ne seraient pas insupportables. Le CEL fut donc choisi, et ce moyen spectaculaire fut

érigé derrière une dune et face à l'océan.

Deux affaires majeures devaient mobiliser durablement des parties importantes du CTME : ce furent, d'une part le sous-programme d'équipement en instrumentation de mesure du BEM *Monge*, d'autre part le bassin des carènes. La seconde sort par trop du cadre du COMAERO, et on ne s'attardera pas sur elle, sauf les répercussions sur le CEAT et son « bassin de l'Hers » évoquées précédemment. L'activité déployée pour l'instrumentation du BEM *Monge* est traitée dans la deuxième partie.

Mais en dehors des champs de tir, le CTME, conformément à l'ouverture que permettait la nouvelle formulation de ses missions, fut amené à collaborer avec le CEV, dans des conditions très similaires à ce qui se pratiquait dès lors avec le CEL ou le CEM, notamment sur les systèmes de télémesure et de trajectographie, mais aussi pour les systèmes de conduite des essais, en particulier en participant activement à la refonte du CEV/Istres.

Mais une affaire est à retenir particulièrement, bien qu'elle se situe en dehors des préoccupations naturelles du COMAERO (encore que cette question ait eu des répercussions pour le CEAT et son bassin de l'Hers), c'est le déplacement du Bassin d'essais des carènes et la création du Centre de recherches et d'études en hydrodynamique navale (CREHN). En effet, le délégué chargea explicitement le CTME de sa maîtrise d'œuvre, le Bassin des carènes ayant en charge la maîtrise d'ouvrage, et c'est pour cela précisément que Jacques Chéret fut affecté au CTME.

Enfin, il est intéressant de signaler, bien que cela ne fût pas une source d'activité importante, une collaboration avec les services des Phares et balises. Cela révélait l'ouverture de ce CTME, même au-delà des limites strictes du ministère de la défense, pour des actions d'ingénierie relevant de sa compétence technique.

1.11 - La fin du CTME

Mais en fait, les champs de tir, déjà bien équipés pour faire face aux différents programmes qui devaient faire appel à leurs moyens, et par ailleurs prenant de plus en plus à leur compte l'entretien et l'évolution de leur équipement, avaient de moins en moins recours au CTME, et ce n'était pas les quelques interventions ponctuelles, quelque importantes qu'elles fussent (le *Monge*, le CREHN, Cigale, etc.) qui pouvaient assurer un plan de charge soutenu. Et, en ne remplaçant pas les personnes partant en retraite, l'activité issue du SECT devait complètement s'arrêter à Arcueil dans les premières années 2000.

Les réorganisations successives de la DGA contribuèrent à faire disparaître cette entité. En 1997, le CTME disparaissait en tant que tel lors de la création du centre technique d'Arcueil au sein de la nouvelle Direction des centres d'expertise et d'essais (DCE). Une nouvelle réorganisation de la DGA en 2005 conduisait au Centre d'expertise parisien (CEP) qui regroupait plusieurs services dont, entre autres, ce qui restait de l'activité ingénierie qui continua un temps sous la responsabilité de Patrick Anglade.

En même temps devait intervenir le regroupement des deux champs de tir et du *Monge* dans l'Établissement « DGA/Essais de missiles » et toute l'activité d'équipement des champs de tir fut alors conduite à Biscarosse.

Dès 2005, l'activité issue du SECT avait complètement disparu à Arcueil.

2 - DEUXIEME PARTIE : LES DOMAINES TECHNIQUES OU LE SECT, PUIS LE CTME SONT INTERVENUS

On se propose dans cette deuxième partie d'exposer quelques-uns des travaux techniques que le SECT, puis le CTME, ont eu à traiter. La liste n'en est pas exhaustive, soit que certains domaines aient paru présenter un intérêt mineur, soit que les témoignages que l'on a pu rassembler se soient révélés par trop lacunaires.

On regrette d'avoir dû laisser de côté des questions aussi importantes que, par exemple :

- la distribution du temps et la synchronisation sur les champs de tir ;
- l'évolution des équipements informatiques ;
- la régie ;
- l'aérologie.

Et, en général, le lecteur voudra bien excuser l'hétérogénéité de la façon dont sont exposés les divers sujets. Enfin précisons que l'on ne s'est pas contraint par la chronologie des activités.

2.1 - Réalisation de l'antenne de Florès

Située à quelque 2 400 km de la côte landaises, l'île portugaise de Florès⁹ avait été envisagée pour y installer une annexe du Centre d'essais des Landes. Les approches diplomatiques ayant montré que les Portugais accepteraient la demande de la France, un accord fut conclu le 7 avril 1964. Il portait non seulement sur cette implantation à Florès, mais aussi sur l'utilisation de l'aérodrome situé sur l'île de Santa Maria pour une utilisation par les avions AMOR comme escale technique. Les portugais désignèrent comme interlocuteur des Français le capitaine de frégate Souto Cruz, qui plus tard devait devenir ministre et qui fut un correspondant toujours affable et efficace. Du côté français, l'interlocuteur officiel était Maurice Natta, mais en pratique ce fut René Reymond que le directeur du SECT avait chargé de l'opération sous tous ses aspects.

Cette annexe de Florès comporta des équipements classiques, identiques à ceux utilisés près des bases de lancement : réception de télémessure avec une antenne Télémaque (figure 15), radar Aquitaine (figure 9) qui sera vite remplacé par un Béarn (figure 10), système de datation de façon à assurer la synchronisation avec le CEL, etc. et, bien sûr, une puissante station de télécommunications. Le site choisi se trouvait au nord de l'île, sur un promontoire de 600 mètres qui dominait la petite bourgade littorale de Punta Delgada, face à la minuscule île de Corvo.

L'île de Florès, d'une superficie de 143 km², avec 6 000 habitants, était tout à fait dépourvue d'infrastructure civile : aucune route, pas d'électricité, etc. Il fallait tout créer ! Les Portugais construisirent, au prix de difficultés inouïes, une route de 13 kilomètres à voie étroite, une centrale hydroélectrique, un réseau de distribution électrique, ainsi que des logements en bordure du village de Santa Cruz, chef lieu de l'île, pour héberger le personnel français.

⁹ Voir chapitre 7 (CEL), figure 3.

Le seul accès était le petit port de Santa Cruz, le mieux – mais cependant très mal - abrité des vents et des caprices de l'océan, et de toute façon inaccessible pour un bateau tant soit peu important. La mise à terre des équipements et leur acheminement sur le site prit alors la forme d'une véritable opération de débarquement. Elle fut menée par René Reymond avec une précision et une efficacité exemplaires.

Tout avait été préparé avec méticulosité. La future station avait été au préalable montée « à blanc » au CEL, où elle avait fonctionné avec le personnel qui devait la servir, et s'était ainsi rodée. Puis elle fut démontée, mise en caisse et embarquée au port de Bordeaux-Bassens et sur un bateau de la Compagnie des bateaux à vapeur du Nord (CBVN), le *Jacques Bingen*, qui avait été retenu au titre d'un marché passé par le SECT. Toutes ces opérations furent conduites suivant une organisation et une planification rigoureuses, supervisées par Michel Moreau, qui poursuivra sa mission jusqu'au débarquement. Le *Jacques Bingen* quittait le port le 27 mai 1966. Le 2 juin, il se trouvait à Florès et mouillait en « rade foraine » devant Santa Cruz.

Pour le transport de la cargaison à terre, René Reymond avait imaginé des chalands de débarquement (figure 3) à quatre colonnes autoélevatrices et qui pouvaient se hisser sur leurs colonnes une fois au port en eaux peu profondes, rendant ainsi le transfert des colis aisé du chaland sur le quai. Deux chalands de ce type furent réalisés sur contrat SECT par Dubigeon Normandie et Jouet. Ils firent d'incessantes navettes entre le *Jacques Bingen* et le port. La réussite de l'opération doit beaucoup à l'utilisation de ces chalands. A terre, ensuite, les transports étaient assurés par quelques véhicules venant de Biscarosse, mais surtout par un renfort du service du Génie qui dépêcha un détachement de 49 personnes et prêta grues, camions porte-chars et autre véhicules adaptés (figure 4).

L'équipe qui participa à cette opération, l'opération Hortensia, ainsi nommée en raison de l'importance de ces végétaux sur l'île, était constituée de 110 personnes, sous le commandement de René Reymond, flanqué du commandant Louis Rocca pour les transmissions, de Dornon pour la mise en place du radar, et du géographe Pierre Landry.

Durant l'été 1965, ce dernier mena une vaste opération de rattachement géodésique. Jusqu'alors la précision de localisation de l'île ne dépassait pas 400 mètre. Pierre Landry, avec une importante équipe de l'IGN, effectua un rattachement ramenant l'imprécision de localisation à une dizaine de mètres.

L'annexe de Florès fonctionna jusqu'en 1993. Elle avait été pourvue très vite d'un aérodrome, qui posa quelques problèmes aux aviateurs, en raison de la configuration de l'île et des mouvements atmosphériques qui en résultaient. Deux avions Transall, les premiers qui se présentèrent, furent ainsi accidentés lors de l'atterrissage, heureusement sans perte humaine.

2.2 – Réalisation des avions AMOR

En 1963, le SECT fit l'acquisition de trois avions DC7-C. Deux furent achetés à la compagnie TAI (Transports aériens intercontinentaux) et le troisième à la SAS (*Scandinavian Airline System*). Ils étaient destinés à être transformés en apportant des modifications importantes. Aussi, avant même l'acquisition, on eut recours au

constructeur, Douglas, pour s'assurer que les modifications projetées ne compromettraient pas les qualités de l'avion, tant sur le plan de l'aérodynamique que de la solidité des structures.

Peu après ces acquisitions, le SECT confiait à UTA Industries, filiale de l'Union des transports aériens, située au Bourget, le soin d'équiper les appareils pour les rendre aptes à accomplir leur mission. Il s'agissait d'assurer la réception des télémesures émises par le missile balistique pendant la fin de sa trajectoire, et suivant le cas, de localiser l'impact à la surface de l'océan ou le point d'explosion en altitude de sa charge pyrotechnique. Ils devaient aussi apporter leur concours pour la surveillance de la zone réceptacle du point de vue radioélectrique et absence de navires qui ne respecteraient pas les NOTAMS (*Notices to Airmen*, avis aux navigateurs aériens) et assurer certaines servitudes, telles que le recalage précis des horloges des moyens éloignés ou mobiles (île de Florès, moyens navals), déterminer les vents en altitude, les caractéristiques de l'atmosphère (densité, température avant et après le tir) et, tout de suite après l'exécution d'un tir, recueillir les enregistrements de télémesure effectués par ces moyens, pour les ramener dans les meilleurs délais en métropole, au champ de tir et au constructeur.

Les travaux étaient effectués par UTA, sous maîtrise d'ouvrage du SECT, plus précisément le bureau d'études générales (SECT/BEG) commandé par René Boudin, puis Max Lisbonis, l'ingénieur chargé étant Jean-Marie Blot. Il s'agissait d'installer un radôme sur le dos du fuselage pour abriter l'antenne de réception de télémesure de gain 10 dB, deux « Yagi » orientables en site dont le pointage était commandé en vitesse depuis la cellule. Sous le ventre du fuselage, on installa un important radôme sous lequel se trouvait l'antenne du radar panoramique DRA2B, inspiré par ceux des avions de patrouille maritime Atlantic¹⁰ de l'OTAN, mais allégé de ses parties classifiées (figure 5).

	DC-7C passagers	DC-7C A.M.O.R.
Poids maxi au décollage	64 800 Kg 143 000 livres	65 700 kg 144 750 livres
Longueur de piste nécessaire	2 200 m	2 200 m
Vitesse en croisière normale	460 à 520 km.h 250 à 280 Kts	440 à 500 km.h 240 à 270 kts (perte d'environ 6% due aux radômes, coupoles et antennes)
Essence embarquée :	28 000 litres	31 500 litres
Autonomie	21 heures (croisière économique)	25 heures
Rayon d'action maximal	6 900 km 3 750 NM	8 400 km 4 500 NM
Altitude de croisière maximale	7 600 m 25 000 ft Avion pressurisé	6 100 m 20 000 ft Diminution du taux de pressurisation

L'intérieur de la cabine était profondément remanié. Sur l'avant, une série de baies électroniques étaient aménagées : réception et enregistrement des signaux de

¹⁰ L'Atlantique (ou AL2) a un radar DRAA-10B « Iguane » plus moderne.

télémesure (figure 6), horloges de synchronisation, pupitre du radar panoramique. A l'arrière, sièges et aménagements de l'avion de ligne étaient conservés pour permettre à l'équipage et aux opérateurs (une douzaine de personnes en tout) de trouver une zone de repos pendant les transits et surtout pendant les périodes d'attente. Entre ces deux zones, au droit des ailes, on installa quatre réservoirs supplémentaires, raccordés au réservoir d'origine de l'avion de ligne, cela pour porter l'autonomie de 21 heures à 25 heures. Ces modifications aux performances de l'avion de ligne sont rappelées dans l'encadré joint.

L'avion devait être en effet capable de rester sur zone même en cas de reports du lancement. C'est ce qui justifia cet accroissement de l'autonomie. Et cependant on n'était pas assuré de garder l'appareil en position si des reports de chronologie s'accumulaient. Aussi, pour chaque tir, un deuxième avion était mis en place sur l'île de Santa Maria, prêt à prendre le relais, en décollant avec un décalage qui assurait la continuité et un meilleur positionnement des impacts au réceptacle. La France pouvait en effet utiliser l'important aéroport de cette île, aux termes de l'accord avec le Portugal déjà cité. On y fit pour cela les aménagements nécessaires.

2.3 - Le Petit AMOR¹¹

Les avions DC7 AMOR ne constituaient pas la première utilisation d'aéronef pour recueillir des mesures lors de tirs de missiles. En 1964, on venait de terminer la transformation pour cet usage d'un Nord 2500. C'est UTA Industrie qui avait réalisé les travaux. Cet avion allait être utilisé pour des essais de missiles à Hammaguir et au CERES, en particulier lors des tirs d'engins expérimentaux VE231 « Saphir » au Sahara, et en Méditerranée lors de tirs d'engins « Bidasse » du programme de missiles MD620 « Jericho », missile en cours de développement chez Dassault et destiné à l'Etat d'Israël.

Pour la réception de la télémesure émise par l'engin, contrairement à ses grands frères, les DC7 AMOR, qui se plaçaient en faisant face au missile venant du CEL, le Petit AMOR opérait en tournant le dos à la trajectoire du missile. Cela lui était imposé par la réception de la télémesure qui s'effectuait à travers la porte de soute arrière qui devait rester ouverte.

Le petit AMOR était équipé d'un moteur de Peugeot 404 pour fournir l'énergie « 50 Hz ». Cette fréquence, nécessaire aux équipements de télémesure, n'était pas disponible sur le Nord 2500 de base. Ceci avait permis d'homologuer ce moteur de la 404 à une altitude jamais atteinte, les vols s'effectuant sans pressurisation.

2.4 - Les moyens navals

On a évoqué dans la première partie le rôle joué par l'escorteur *Guépratte* et la création du Groupe naval d'essais de missiles. Le SECT avait eu en effet à équiper ce navire, dans les plus brefs délais, pour apporter son concours au lancement du premier satellite français. C'était un bâtiment relativement important : escorteur d'escadre de la classe T47, jaugeant 3 900 tonneaux pour une longueur de 132,5 mètres, il possédait une artillerie de 100 mm, avec un télépointeur monté sur une plate-forme stabilisée. Il était alors en attente de refonte et momentanément disponible.

¹¹ Texte reproduit tel quel de la brochure de Max Lisbonis citée en bibliographie.

Pour réaliser son équipement en réception des télémesures, on eut recours à une méthode expéditive : on possédait alors d'une antenne « terrestre », la Télémaque, capable de la poursuite automatique d'une émission de télémesure. On prit donc le parti de l'installer sur la plate-forme stabilisée et d'installer sur le pont du navire un cadre technique contenant l'électronique associée et les récepteurs. On se ramenait ainsi au mode de fonctionnement d'une station « terrestre ». C'est cet équipage qui partit pour le golfe de Gabès, mais comme on le sait, le satellite resta muet.

Le *Guépratte* fut le premier navire du Groupe M, et il fut aussi le premier navire à assurer une mission au réceptacle lors des premiers lancements à longue portée depuis le CEL, en attendant l'arrivée du *Henri Poincaré*, et pour quelques missions en doublure avec celui-ci. Il fut remis à la disposition de la Marine en 1968.

Pour le remplacer, la Marine nationale offrit des navires moins importants, mais qui, arrivés en bout de potentiel, pouvaient trouver là leur dernière utilité. Ils pouvaient ainsi recevoir des transformations plus élaborées que ce qui avait été fait de façon expéditive sur le *Guépratte*. Ces nouveaux navires étaient des « escorteurs rapides » datant de 1955, de la classe E52. Le premier à rejoindre le Groupe M, en 1968, fut *Le Savoyard* et il devait être suivi par *Le Breton* et *Le Basque*. Ils devaient rester au service du Groupe M respectivement jusqu'en 1980, 1975 et 1977, avant d'être rendus à la Marine pour destruction. Ces navires avaient un déplacement de 3 900 tonnes pour une longueur de 99,8 mètres et étaient pourvus de quatre tourelles d'artillerie de 57 mm. C'est précisément une de ces tourelles qui fut débarquée pour laisser la place à une antenne Télémaque. Les asservissements de poursuite de cette antenne furent modifiés en conséquence, en utilisant d'ailleurs en partie des éléments du pointage de l'artillerie d'origine. Quant aux équipements électroniques (réception et enregistrement des télémesures, horloge et génération des signaux de datation), ils trouvèrent leur place dans le flanc du navire. Ainsi équipés, ces « escorteurs rapides » accompagnèrent le *Poincaré* en tant que station de flanquement, et occasionnellement (mais rarement) ils assurèrent seuls la mission au réceptacle.

Mais l'élément majeur du Groupe M fut évidemment le navire *Henri Poincaré* (figure 8), qui devait recevoir la désignation de « Bâtiment d'essais et de mesures » (BEMHP). C'est au milieu de l'année 1964 que fut prise la décision de réaliser un navire capable de supporter l'ensemble des moyens nécessaire au réceptacle pour les tirs de missiles balistiques. A cet effet, le SECT fit l'acquisition en septembre 1964 d'un pétrolier italien, le *Maina Morasso*, pour la somme de six millions de Francs. Ce navire avait été mis en service en 1960 et avait 180 mètres de longueur pour un déplacement de 22 000 tonnes. Cela permettait d'assurer la stabilité nécessaire et la place était largement suffisante pour accueillir les différents équipements, radars, réception des télémesures, etc. et même les extensions qui devaient se révéler ultérieurement inévitables. Son appareil propulseur, à vapeur, développait 10 000 CV.

La transformation de ce pétrolier fut pilotée par un des Bureau d'études générales du SECT, à Paris, en la personne de l'ingénieur-en-chef René Bessau. Mais il fallait aussi une présence sur place à Brest où était aménagé le navire, et le directeur du SECT créa à cet effet un nouveau « bureau animation », le Bureau animation mer (BAM), qu'il confia à Henri Receveur.

Le premier travail fut d'implanter à bord un caisson rigide, qui permettrait de s'affranchir des déformations de coque, diminuerait les vibrations et sur lequel viendraient s'implanter les moyens dont la précision de visée angulaire dépendait de façon vitale. Cette tâche fut réalisée par la DCAN Brest qui arasa la partie supérieure du navire pour y installer ce caisson (figure 7).

Les équipements de mesure purent alors être mis en place. Le Bureau d'études générales du SECT confia cette tâche à la Compagnie des signaux et entreprise électrique (CSEE) qui assura ensuite une aide à la mise en exploitation, sous la houlette du BAM, suivant les usages éprouvés du Service. Le BEMHP fut admis au service actif le 1^{er} mars 1968 (figure 8).

A l'origine le BEMHP portait un seul radar, un Béarn. Lors de la phase de rentrée dans l'atmosphère, les phénomènes d'ionisation aveuglaient le répondeur radar et pouvaient provoquer la perte de la poursuite. On avait prévu, pour pallier cette difficulté, une poursuite infrarouge, mais celle-ci donna des résultats médiocres. On trouva (Henri Cardot) une autre solution : on installa, en 1973, un deuxième radar Béarn qui travaillait en « écho de peau » sur le plasma de rentrée. Ces radars étant capables de fonctionner « en chaîne », ils purent ainsi, à eux deux, assurer la continuité de la poursuite.

Sur la fin de vie active du BEMHP, les Béarn furent remplacés par des radars Gascogne et, à partir du milieu des années soixante-dix, vinrent s'installer sur le *Henri Poincaré* des équipements permettant d'observer les éléments du « cortège balistique » et de faire des mesures des phénomènes de rentrée. Il en sera question plus loin.

En même temps l'antenne Télémaque (figure 15) de télémessure en bande P était débarquée et la capacité de réception des télémessures était transposée en bande S et était étendue à trois mobiles différents par trois antennes Antares (figure 14). Il existait aussi une fonction de réémission des enregistrements de télémessure après le tir vers les AMOR, pour accélérer le rapatriement des données vers le CEL. Enfin, le *Poincaré* pouvait faire des mesures aérologiques grâce à des fusées Arcas.

Si la précision angulaire était obtenue par le biais de ce caisson rigide, il fallait aussi obtenir une localisation précise en temps réel du navire. La méthode employée consistait à utiliser des balises larguées au fond de l'océan et qu'il fallait alors situer elles-mêmes avec précision. Pour cela le navire évoluait avant tir sur la zone concernée en se localisant, d'une part, par rapport à ces balises, d'autre part, par des moyens classiques tels que visées astrales ou autres moyens habituels. La comparaison de ces relevés permettait, après un nombre suffisant de passes, de déterminer la position des balises.

Le BEM *Henri Poincaré* resta en service jusqu'en 1992 et son remplacement fut assuré par le *Monge*. La réalisation de ce nouveau navire fut décidée en juillet 1987 par le Délégué général pour l'armement. La direction de programme fut assurée par la DEn (Direction des engins), qui la confia à Dominique Chevallier. Contrairement à son prédécesseur, le *Monge* fut un bâtiment neuf, construit par les Chantiers de l'Atlantique à Nantes. Ce fut un navire de 225 mètres de long. Il fut conçu suivant les normes d'un navire civil. Toutefois les supports des radars étaient renforcés par des fûts cylindriques encastrés dans les trois ponts supérieurs, et un dispositif de limitation du roulis fut installé.

La partie concernant les missions liées au champ de tir, le dispositif mesure, fit l'objet d'un sous-programme qui échut au CTME, lequel en chargea Michel Joubert. Cela représentait une part importante du programme général et mobilisa près d'un quart des effectifs du service pendant cinq ans. En accord avec la direction de programme, l'intégration du dispositif de mesure fut confiée à la DCN (Direction des constructions navales) à Brest, et fut supervisée par le SECT/BAM.

Pour les télémessures, l'équipement du *Monge* ne différait guère de celui du *Poincaré* avec ses antennes Antarès en bande S, sauf que la capacité de réception de mobiles différents était portée à six au lieu de trois. Quant aux radars, il y eut les deux Gascogne récupérés du *Poincaré* et deux nouveaux radars, les ARMOR, qui constituaient le *nec plus ultra* de la technologie en la matière (voir § 2.6). Le Savoie et le Stratus, qui avaient commencé à servir sur le *Poincaré* pour l'observation de la rentrée dans l'atmosphère, furent implantés sur le *Monge*.

La présence de trois radars très puissants fonctionnant en bande C à bord du *Monge* a engendré des problèmes de compatibilité. Il y eut d'abord les problèmes habituels de cohabitation avec l'environnement, tels que :

- la sécurité des personnels ;
- la « compatibilité électromagnétique » avec les autres équipements du navire.

Ces problèmes ont été résolus par l'utilisation de filtres et de blindage (vitres blindées pour protéger les personnels à la passerelle, blindage de câbles d'interconnexion externes, liaisons numériques entre les équipements, etc.)

Il y a eu ensuite des problèmes de brouillage mutuel entre ces radars. Les techniques de filtrage fréquentiel ne pouvant donner une solution réaliste, on se tourna vers une technique dite de « compatibilité temporelle ». Elle consiste à synchroniser les émissions des formes d'ondes de ces radars de façon à ce que les impulsions émises s'entrelacent avec les impulsions reçues et n'entrent pas en collision. Cette tâche est plus ardue qu'il n'y paraît au premier abord, car les formes d'ondes émises simultanément peuvent être très différentes les unes des autres sur le plan temporel. Elles peuvent avoir des périodes de récurrence différentes, des largeurs et des nombres d'impulsions différents. Il faut ajouter à cela que les cibles visées sont situées à des distances variables dans le temps, ce qui influe sur la position des impulsions reçues. Il a donc été étudié un algorithme qui détermine automatiquement les décalages temporels à imposer aux formes d'ondes.

Le *Monge* fut mis en service le 4 novembre 1992. Par la suite il devait subir des modifications dans son équipement de mesure, en particulier pour ses radars.

Les escorteurs, le *Poincaré* et le *Monge*, ne furent pas les seuls navires attachés au Groupe M. Il y eut aussi des dragueurs, et une gabarre, la *Luciole*, équipée pour l'intervention sous-marine. Mais le SECT n'eut pas à s'occuper de ces bâtiments.

2.5 - Les télémessures

En 1961, à la création du SECT, les techniques de télémessure étaient à la veille de mutations profondes qui allaient se poursuivre dans les décennies suivantes. Jusqu'alors, on avait été très limité par les possibilités de l'électronique embarquable sur les fusées ou missiles en essais : problèmes de poids et d'encombrement d'équipements utilisant les tubes électroniques. L'utilisation de ces derniers, en

outre, posait des problèmes quand le véhicule en essai atteignait les couches supérieures de l'atmosphère où risquaient de se produire des flashes dans les circuits soumis à plusieurs centaines de volts¹².

On ne verra ces problèmes résolus qu'avec l'apparition des transistors, et encore lorsque ceux-ci autorisèrent des puissances suffisantes pour faire fonctionner un émetteur utilisable. Longtemps aussi, et quand la taille du véhicule en essai le permettait, on utilisa des enregistreurs photographiques que l'on allait récupérer ensuite sur la hamada.

Néanmoins, pour les essais d'engins spéciaux, comme on appelait alors les missiles, il existait des télémesures utilisées par les différents expérimentateurs. Un de ces systèmes de télémesure tendait à se généraliser, pour les engins de la DTCA (Direction technique des constructions aéronautiques) en particulier, le système SAT/TURK, que produisait la Société anonyme des télécommunication (SAT) sous le contrôle du CEV.

Il consistait en un multiplex de sous-porteuses, chacune modulée par un des paramètres à mesurer, ce multiplex modulant à son tour la porteuse (modulation AM/FM). Cette télémesure était utilisée par les programmes d'engins spéciaux en cours de développement et, lorsque le SECT eut à équiper la station de télémesure du CIEES, il dut prendre en compte ce besoin. A cette époque pourtant la décision était prise de s'orienter vers le standard IRIG (*Inter-Range Instrumentation Group*). Le programme balistique et, dès le début, les véhicules d'essais qui devaient être tirés à Hammaguir pour préparer ce programme, ont adopté ce standard. La station de réception d'Hammaguir le prit évidemment prioritairement en considération.

Ces deux télémesures, SAT/TURK et IRIG, fonctionnaient en bande P, autour de 250 MHz, mais la DTCA utilisait aussi un système, le fizeaugraphe, qui avait l'intérêt de fournir une fonction proximétrie (mesure de la distance de passage du missile par rapport à la cible) et ce fizeaugraphe, qui fonctionnait à 75 et 150 MHz, pouvait porter une télémesure SAT/TURK. Il était donc nécessaire de prendre en plus cette fréquence en considération.

Ajoutons à cela la nécessité d'enregistrer les mesures pour en faire une exploitation après tir. Or à cette époque, on n'avait pas confiance dans l'enregistrement magnétique, celui-ci d'ailleurs n'offrant que des possibilités très limitées par rapport à ce que nous connaissons aujourd'hui : sur le ruban de 1 pouce portant 14 pistes, on affectait à chaque piste un paramètre mesuré. Et comme on doutait de la fiabilité de tels enregistrements, les mesures étaient orientées aussi vers des enregistreurs photographiques. Certains mêmes, relativement lents, sortaient sur des enregistreurs graphiques à plume.

Ces enregistreurs à plume ne devaient jamais complètement disparaître. Ils ont été, et sont certainement encore, très utilisés dans les équipements de réception de télémesure. Ils sont indispensables pour la préparation des essais ou pour des dépouillements en temps réel de paramètres essentiels. L'équipement des centres d'essais fut même à l'origine du développement important de la société Allco, rachetée ultérieurement par la société américaine Gould. La mise au point de ces

¹² Le problème ne se posait pas de façon cruciale pour les engins tactiques, utilisés à des altitudes modestes. Les premiers à y être confrontés furent les scientifiques qui envoyaient des fusées-sondes pour l'étude de la haute atmosphère.

enregistreurs a été un peu laborieuse, et les personnels qui s'occupaient de ces matériels étaient facilement reconnaissables par leurs blouses et leurs mains couvertes de taches d'encre bleue presque indélébiles.

Dans ces conditions, la station de réception des télémesures à Hammaguir telle que la réalisa le SECT se présentait comme un assemblage hétéroclite de matériels. Cela ne devait pas être reconduit au CEL, le standard IRIG ayant été entre temps universellement adopté.

Lorsque le SECT entreprit de moderniser le champ de tir saharien, l'équipement en télémesure avait été déjà largement esquissé par le département du CIEES qui avait précédé le SECT. En particulier la commande de la grande antenne de réception, Cyclope (figure 1), avait été lancée, chez la société SNECMA (Société nationale d'études et de constructions de moteurs d'aviation), dans sa division qui devait devenir Elecma. Cette antenne devait avoir un gain de 28 décibels, ce qui conduisait à une parabole de 18 mètres de diamètre, ou plutôt 60 pieds, puisque le constructeur français choisit pour cela un sous-traitant américain, la société Kennedy.

La poursuite de l'engin était assurée par un scanning classique, la source primaire tournante étant constituée de quatre dipôles disposés en carré, et reliés entre eux de telle sorte qu'on disposait à la sortie des deux polarisations circulaires droite et gauche. La surface au vent, les efforts résultant des accélérations angulaires obtenus lors de la poursuite pour une telle masse, ont conduit le SECT à déléguer au constructeur jusqu'au socle de béton supportant l'antenne : sa tenue pouvait en effet intervenir dans le comportement du servomécanisme de pointage, qui avait été sous-traité à la CSEE. Le problème était d'ailleurs grandement facilité par le fait que l'ensemble trouvait à sa base un sol rocheux, parfaitement solide. La tour supportant l'aérien put donc être relativement fine, donnant à l'ensemble une certaine élégance. Ces circonstances ne furent évidemment pas celles rencontrées plus tard au Centre d'essais des Landes, ce qui conduisit à un ensemble d'aspect beaucoup plus lourd.

On a signalé que Cyclope délivrait le signal reçu sur les deux polarisations. Ceci était nécessaire en raison des caractéristiques de l'antenne d'émission sur l'engin, nécessairement simples, et qui avec les évolutions de son porteur pouvait conduire à des extinctions sur l'une ou l'autre des polarisations. Aussi à la réception pratiquait-on systématiquement la « diversité ». En aval, une batterie de discriminateurs permettait d'obtenir le signal de chacune des voies, signaux qui étaient enregistrés sur enregistreurs magnétiques. Cyclope n'était pas la seule antenne utilisée. Au CIEES, pour la plupart des essais, des « antennes hélices » étaient suffisantes, avec un gain de 12 décibels. C'est ce qui se trouvait à Béchar pour les essais qui pouvaient encore avoir lieu à B0 ou B1, et pour le rôle de station de flanquement.

Une antenne de même type fut construite dans les Landes : Cyclope 2, toujours par la société Elecma, mais contrairement à sa grande sœur, elle fut prévue d'emblée comme pouvant fonctionner à des fréquences plus élevées, en bande S, donc avec un treillage beaucoup plus serré. On en voit une image sur une des figures données au chapitre consacré au CEL.

L'antenne Télémaque (figure 15) fut utilisée sur de multiples points. Constituée d'un réseau de dipôles, elle avait un gain de 18 dB et possédait une poursuite

automatique en « monopulse ». On la trouvera sur le phare d'Hourtin (figure 16), sur les escorteurs *Guépratte* et *Savoyard*, sur le *Henri Poincaré*, au CEM, etc.

L'équipement de réception de télémesure du CEL fut donc conçu conforme au standard américain IRIG. En France, ce fut le système baptisé Ajax. C'était encore un multiplex de sous-porteuses modulées en fréquence choisies dans un tableau, et qui modulait en fréquence la porteuse dans la bande P autour de 250 MHz (modulation FM/FM) en respectant certaines précautions.

Le standard comportait 21 voies numérotées en chiffres, dont l'excursion est proportionnelle à la porteuse (7,5%) et des voies « alphabétiques » dont l'excursion est de 15%.

Une légère exception fut introduite dans Ajax par rapport à l'IRIG, en adjoignant une voie alphabétique d'excursion 10% à la demande de la SEREB. Et très vite, les utilisateurs français estimèrent que ce choix d'une excursion proportionnelle manquait de souplesse, et on créa alors un nouveau standard spécifique à la France, semblable à l'IRIG, mais avec une excursion constante. On lui donna pour nom Teucer¹³.

Les matériels conformes au standard Ajax étaient, en 1961, développés sous l'égide du CEV et son service Méthodes, par la SAT, et il s'établit alors une collaboration étroite entre ce service Méthodes et le groupe technique chargé de ces questions au SECT.

Plus tard, le SECT reprit à son compte le pilotage de l'ensemble de ces développements de matériels dans l'industrie, aussi bien pour les équipements sol que ceux embarqués. Il (le SECT, puis le CTME) devait devenir alors le service de référence pour ces questions de télémesure, sous le pilotage de Patrick Anglade. Celui-ci avait des relations très confiantes et très suivies avec les équipes du CEV, qui devaient par la suite confier au SECT/CTME la réalisation d'installations au sol pour ses centres de Brétigny, Istres ou Cazaux, et surtout avec Bernard Pieters, l'expert pour ces questions à la SEREB.

La SAT ne devait pas rester seule à fournir des matériels de télémesure. En France, la Société d'instrumentation Schlumberger (SIS) pouvait bénéficier du soutien de la filiale américaine du groupe *Electro-Mechanical Research* (EMR), et elle se mit rapidement sur les rangs des fournisseurs, permettant ainsi à l'Administration de faire jouer la concurrence.

Les simplifications dues à l'adoption du standard IRIG furent renforcées par les progrès spectaculaires obtenus en enregistrement magnétique. Non seulement la fiabilité devenait tout à fait satisfaisante, ce qui condamnait à la disparition dans les stations de télémesure les enregistreurs photographiques, mais encore leur bande passante s'élargissait considérablement.

La bande passante des enregistreurs magnétiques d'instrumentation était encore, à l'époque de création du CEL, limitée à environ 250 kHz avec quatorze pistes sur une bande d'un pouce. Cette configuration était satisfaisante puisqu'elle permettait d'enregistrer sur chaque piste un multiplex de sous-porteuses IRIG issues d'un récepteur de télémesure, sachant que, pour chaque fréquence reçue, il fallait enregistrer les trois multiplex : polarisations circulaires gauche et droite, et résultat de la combinaison en diversité de ces deux polarisations. On appelait ce mode de

¹³ Sur proposition de Michel Lecomte : Teucer dans la mythologie grecque est le frère d'Ajax, tous deux étant fils de Telamon.

fonctionnement : enregistrement post-détection. En dehors de l'enregistrement des mesures proprement dites, une ou plusieurs pistes des enregistreurs étaient réservées pour le stockage de paramètres de servitude (temps codé IRIG, fréquence de compensation de pleurage, etc.).

L'augmentation de la bande passante des enregistreurs jusqu'à 2 MHz a permis de mettre au point une méthode d'enregistrement en pré-détection dans laquelle le signal reçu par l'antenne au sol est simplement amplifié et transposé dans la bande de fréquence de l'enregistreur sans opération de filtrage ou de démodulation irréversible. Cette solution présentait un certain nombre d'avantages :

- il était ainsi possible d'optimiser, pendant le dépouillement de l'essai en temps différé, les paramètres de la chaîne de réception et en particulier les filtrages ;
- le réglage des enregistreurs était plus rapide, le niveau de sortie des récepteurs étant constant ;
- la bande passante des enregistreurs vers le bas était limitée à environ 300 Hz, ce qui introduisait des distorsions importantes lors de l'enregistrement post-détection de signaux PCM ayant des composantes spectrales au-dessous de cette fréquence.

Cette exploitation des télémesures après le tir avait conduit le SECT à faire développer un équipement capable de numériser les mesures enregistrées, afin de les fournir sur sa demande au constructeur de missiles sous forme de données assimilables par ordinateur. Ce matériel, réalisé par le LCA, était initialement destiné au CIEES. En fin de compte, il fut livré directement au CEL. Il est connu sous le nom « numériseur 3000 ». Il devait avoir plus tard des successeurs.

Les télémesures analogiques basées sur l'utilisation de multiplex de sous-porteuses modulées en fréquence présentaient, outre leur relative simplicité de mise en œuvre, l'avantage d'une bande passante étendue, du continu à quelques kHz, en fonction de la sous-porteuse utilisée. Elles présentaient par contre l'inconvénient d'être limitées dans le nombre de voies de mesures utilisables, égal au nombre de sous-porteuses du multiplex, soit une vingtaine environ. Ce nombre est totalement insuffisant pour un essai de missile qui nécessite la possibilité de disposer de plusieurs centaines de voies de mesure. Comme il était impossible envisager l'utilisation simultanée de plusieurs dizaines d'émetteurs sur le missile, solution impossible à mettre en œuvre en raison de la complexité, du coût et de la bande de fréquences nécessaire, il a été développé des systèmes d'acquisition basés sur un échantillonnage périodique des paramètres à retransmettre : en analogique, les modulations PAM (*Pulse Amplitude Modulation*) ou PDM (*Pulse Duration Modulation*).

Le premier système de ce type a été utilisé au CIEES ; il s'agissait d'un matériel ASCOP (*Applied Science Corporation of Princeton*, filiale de EMR-Schlumberger) permettant de retransmettre 90 paramètres, échantillonnés chacun dix fois par seconde. La modulation utilisée était du PDM. Les télémesures commutées, qui ont été développées ultérieurement pour les centres d'essais français, ont été du type PAM. L'auteur n'a jamais eu connaissance d'études sérieuses démontrant la supériorité d'une des deux solutions.

Ce principe d'échantillonnage sert aussi de base pour les systèmes à impulsions codées (en américain PCM). L'orientation vers la PCM était prise en compte dès la

fin des années soixante. Néanmoins ce n'est qu'après 1975 que la télémesure PCM s'imposa sur les champs de tir sans pour autant exclure les systèmes analogiques.

Tout le monde connaît les avantages des systèmes numériques : meilleure immunité au bruit dans la transmission, possibilité d'insertion de codes détecteurs ou correcteurs d'erreurs (avec la simple insertion d'un bit de parité dans les premiers systèmes), simplification du traitement des mesures au sol, l'information étant déjà numérisée, et surtout précision accrue de la chaîne de mesures. Ce dernier avantage doit cependant être un peu relativisé, le nombre de bits utilisés pour le codage de la mesure étant loin de caractériser la précision globale du système. Le calcul de la précision réelle, quand on prend en compte celle des capteurs et des amplificateurs d'adaptation associés, les caractéristiques des filtres d'interpolation, etc., donne parfois des résultats surprenants.

Comme pour les systèmes analogiques PAM et PDM, les systèmes PCM sont mal adaptés à la retransmission de mesures qui n'exigent pas une grande précision mais requièrent une bande passante importante, comme par exemple pour des mesures de vibration.

Les télémesures analogiques par multiplexage de sous-porteuses étaient par contre bien adaptées à ces problèmes, elles ont donc survécu et même prospéré. A la fin des années 1970, le standard IRIG permettait au mieux une bande passante de 9 300 Hz sur une sous-porteuse centrée à 124 kHz. La dernière édition de ce standard (106-04) autorise maintenant une bande passante de 168 kHz sur une sous-porteuse centrée à 560 kHz.

Le développement de la télémesure PCM sur les missiles a donc été fait sur la base d'un codage hybride, en multiplexant à l'entrée de l'émetteur le signal PCM, qui occupait la partie basse du spectre de modulation, à un multiplex de sous-porteuses analogiques dont les fréquences correspondaient à la partie haute du spectre de modulation disponibles à l'émission. Au sol, la séparation des deux télémesures s'effectuait par un simple filtrage en sortie du récepteur.

Avec le développement des « bus » et des calculateurs à bord des missiles, il est apparu que les formats PCM étaient mal adaptés à la retransmission des paramètres à leur rythme propre. Ce problème a conduit à l'apparition sur les centres d'essais de messages numériques hors standard IRIG et à la nécessité d'une uniformisation d'un nouveau format de télémesure compatible avec le standard IRIG mais capable de prendre en compte des paramètres à distribution non IRIG. Ce nouveau standard « Centre d'Essais 1983 » a été défini par le CTME en 1986. Le CTME a fait développer par Inter technique un codeur miniature embarqué pour les missiles répondant à ce nouveau standard.

Une autre mutation majeure intervint à la fin des années soixante-dix. Ce fut l'abandon des fréquences de la bande P, entre 215 et 260 MHz, pour celles de la bande S.

Dans les années soixante, avec la fermeture du CIEES et le développement des essais de missiles sur le territoire métropolitain, il est apparu que l'utilisation intensive de la bande P pour les télémesures n'était plus envisageable. Les centres d'essais étaient allocataires secondaires dans cette bande de fréquence déjà très encombrée et il n'était plus possible d'obtenir des allocations en nombre suffisant pour couvrir les nouveaux besoins des missiles nécessitant jusqu'à douze canaux de télémesure. Par ailleurs les bandes passantes étaient aussi en augmentation constante avec le développement des nouveaux systèmes de multiplexage.

Les centres d'essais US, confrontés à ce même problème, avaient retenu la bande 2 200-2 300 MHz pour la transmission des télémesures, et pour les mêmes raisons qui avaient conduit au choix de la bande P, il a été décidé d'utiliser la même bande de fréquence pour les centres d'essais français. Cette bande était réservée aux faisceaux hertziens des PTT, ce qui a nécessité des négociations pour obtenir les canaux nécessaires. Le responsable des fréquences à la DRME se révéla être très efficace, et les interlocuteurs aux PTT très coopératifs. Les négociations furent menées centre par centre, en s'appuyant sur le maillage des réseaux de faisceaux hertziens présents et futurs et en calculant les brouillages potentiels réciproques. Cet accord avec les PTT a été facilité par la configuration des essais qui s'effectuent pour la plupart de la terre vers la mer, avec des durées de vol généralement faibles, et aussi par la directivité importante des faisceaux hertziens.

Par contre Airbus n'a pas pu obtenir d'allocation de fréquence en bande S pour ses essais en vol, qui ont dû être reportés dans la bande des 1 500 MHz (bande I). Compte tenu des dimensions de l'avion par rapport à la longueur d'onde du signal émis et du risque important de trous dans le diagramme de rayonnement, on leur conseilla d'utiliser des liaisons en diversité de fréquence. C'était évidemment une solution riche, mais Airbus devait s'en montrer extrêmement satisfait.

L'utilisation de ces nouvelles fréquences a permis de disposer de bandes passantes de modulation de plusieurs mégahertz, et ainsi de faire évoluer considérablement les systèmes de multiplexage, permettant de ce fait la transmission d'un grand nombre de paramètres sur une seule liaison :

- les standards de multiplexage analogiques ont évolué avec la normalisation de nouvelles sous-porteuses et la généralisation de multiplex hybrides PCM-FM ;
- l'utilisation de télémesures numériques (PCM) s'est généralisée avec le développement de codeurs embarqués miniatures dont les débits atteignent 5 Mbits/s.

Pour les centres d'essais, le passage de la télémesure en bande S a nécessité la modification des matériels existants, essentiellement au niveau des antennes et des récepteurs.

La plupart des antennes de réception n'étaient pas adaptables à cette nouvelle bande de fréquence, en particulier les antennes Télémaque (figure 15). Le réemploi des supports motorisés de ces antennes a été un moment envisagé, mais leur précision de pointage n'était pas compatible avec la précision de pointage requise. Le passage de la bande P à la bande S entraîne en effet à surface égale de collecte de l'onde, donc en préservant le bilan de liaison, une division par dix de la largeur du faisceau. Ces antennes réseau ont été remplacées par des antennes paraboliques, le diamètre de la parabole étant adapté à l'utilisation et à la portée requise. Sous l'appellation Antarès, la société Elecma a développé, sous contrat SECT, toute une gamme d'antennes de diamètres compris entre deux et dix mètres (figures 14 et 16). La grande antenne parabolique Cyclope 2 du Centre d'essais des Landes a pu être modifiée, la précision du support et le maillage du réflecteur ayant été prévus dès sa construction : par contre, vu la très faible ouverture de son lobe (23 minutes d'angle), l'antenne a été équipée d'une parabole secondaire de faible diamètre (1,8 mètres) et dont l'axe est confondu avec celui du réflecteur principal, pour être utilisée pour élaborer les informations d'écartométrie grâce à une source primaire identique à celle de la parabole principale.

Dans un premier temps, les récepteurs développés pour la réception en bande P ont été utilisés en ajoutant en sortie d'antenne un simple transposeur de fréquence. Cette solution a dû finalement être abandonnée au profit de récepteurs fonctionnant directement en bande S.

Toutes ces évolutions furent prises en compte sur les divers sites de réception des télémesures des champs de tir. A Biscarosse, dans l'emprise principale, la station des télémesures avait été placée sur une des dunes les plus élevées du site, 80 mètres, de façon à disposer de conditions de propagation favorable avec les sites de lancement, en prévision de réglages éventuels avant tir. On prit l'habitude de la désigner par le nom de Sainte Eulalie, du nom du village le plus proche et de la forêt qui l'entoure. Bien identifiable par l'énorme antenne Cyclope, elle reçut par la suite des antennes Antarès de diverses tailles.

La station de flanquement d'Hourtin, initialement équipée d'une Télémaque au sommet du phare, reçut ensuite des antennes Antarès (figure 16). La station de grand flanquement de Quimper reçut dès sa création une antenne Antarès de 10 mètres et une de quatre mètres.

Sur le *Henri Poincaré*, l'antenne initiale Télémaque fut remplacée par trois antennes Antarès. Le nombre de ces antennes fut porté à six pour le *Monge*. Par contre il n'y eut pas de prise en considération du passage en bande S pour les escorteurs, non plus que pour les AMOR. L'utilité de ces moyens navals et aériens était en effet remise en cause, et il ne fut pas jugé opportun de les faire évoluer.

Les transformations furent évidemment aussi réalisées au CEM. Une mention spéciale doit être faite à propos d'une installation au fort du Mont Coudon. Situé sur le continent à une altitude de 702 mètres, il reçut une station secondaire très semblable à celles du CEL avec, pour la télémesure, deux antennes Antarès de 10 et 4 mètres respectivement.

L'implantation sur ce site posa des problèmes, en particulier pour la protection contre la foudre, à laquelle cet éperon rocheux était particulièrement exposé. Par ailleurs il fut demandé que l'antenne de 10 mètres puisse fonctionner pour d'autres applications en bande X, sans pour autant cesser d'être utilisable en bande S. Le CTME fit alors réaliser un système motorisé permettant de passer d'une bande de fréquence à l'autre en moins d'une minute. De toute façon, ce nouveau site de mesures permettait d'accroître de façon importante les possibilités du champ de tir méditerranéen.

2.6 - Les radars de trajectographie

Lorsque le SECT prit en charge les équipements de champs de tir, les radars étaient largement utilisés, essentiellement au CIEES des radars COTAL (Conduite de tir d'artillerie lourde). Ce radar avait été développé juste après la guerre par Thomson, sur contrat de la SEFT (Section d'études et de fabrications des télécommunications), pour les batteries antiaériennes de 90. Conçu avec la technologie de l'époque (magnétron, tubes à vide, composants discrets, etc.), c'était un excellent matériel qui devait trouver de multiples applications lorsque le canon antiaérien fut abandonné, en particulier pendant longtemps sur les champs de tir. Une photographie prise en 1967 d'un point radar du CEL montre un alignement de radars. Ce sont encore à cette époque des COTAL. Mobiles, robustes (ils avaient été prévus pour le champ de bataille) ce furent, peut-on écrire, « des bonnes à tout

faire » des champs de tir.

Les exigences du programme d'engins balistiques à longue portée devaient conduire à la réalisation de matériels beaucoup plus précis. Ainsi apparut le radar Aquitaine (figure 9) de la société Thomson. La genèse du côté de l'administration a pu prêter à des interprétations, et il est donc utile d'en faire le point.

Ce radar a trouvé son origine à la DEFA, à la demande du LRBA¹⁴ (Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques) de Vernon, qui aurait éprouvé le besoin d'un appareil plus précis que le COTAL (qu'il utilisait pour le PARCA, Projectile autopropulsé, radioguidé, contre avions) au bénéfice d'un programme baptisé Eléonore qui ne devait jamais voir le jour. Toujours est-il que, lorsque le besoin d'un radar de haute précision apparut, ce radar Aquitaine était à un stade de développement avancé. Ses caractéristiques en faisaient un concurrent crédible du radar américain AN/FPS16 qui équipait les champs de tir d'outre-Atlantique. La question se posa alors : AN/FPS16 ou Aquitaine ?

Lors d'une séance du Comité du Guir tenue en 1960, donc avant la création du SECT, Gabriel Colin, responsable de la DED du CIEES, défendit le radar américain, estimant que le radar français ne pouvait pas être prêt à temps pour satisfaire le besoin programmé. Le représentant de la DEFA prétendait le contraire et soulignait l'effet catastrophique qu'aurait l'abandon d'un tel développement pour la technologie et l'industrie française. Finalement le comité décidait de porter la décision au niveau du ministre. Celui-ci trancha en faveur du radar Aquitaine. Dès lors, Gabriel Colin ne ménagea pas sa peine pour que ce radar satisfasse au mieux les exigences du champ de tir, jusqu'à ce que Gérard Delyon, au SECT, prenne le relais.

La précision angulaire de ce radar atteignait 0,05 milliradian, 20 fois meilleure qu'un celle d'un radar classique. Tout l'effort ayant porté sur l'amélioration de l'aérien, la télémétrie, elle, restait très voisine, de conception comme de réalisation, de celle du radar COTAL, ce qui suffisait amplement.

L'Aquitaine était un radar monopulse fonctionnant dans la bande des 10 cm, avec un magnétron de 1 MW. L'antenne était du type Cassegrain « à réversion de polarisation ». Le dispositif ainsi désigné permet « d'effacer » pour l'onde émise le réflecteur secondaire et son effet néfaste. La source primaire rayonne en polarisation horizontale vers le réflecteur secondaire constitué d'un réseau de fils parallèles horizontaux collés sur un support plastique et qui se comporte donc comme un réflecteur ordinaire pour la polarisation horizontale qui l'illumine. L'onde réfléchie atteint le réflecteur primaire qui est constitué de deux couches séparées par un film plastique et distantes d'un quart de longueur d'onde. La couche arrière est en métal plein, celle de devant est formée d'un réseau de fils inclinés à 45 degrés. La moitié de l'onde incidente est réfléchie, l'autre moitié traverse, va se réfléchir et revient après un trajet d'une demi-longueur d'onde, donc en opposition de phase. Le résultat est que la composition des ondes réfléchies est tournée de 90 degrés et devient donc verticale. Elle traverse alors le réseau de fils horizontaux du réflecteur secondaire. L'onde émise est finalement en polarisation verticale.

La mécanique de l'antenne, d'un diamètre de 3 mètres, fit évidemment l'objet des plus grands soins¹⁵. Les sorties angulaires se faisaient par disque digital¹⁶. Le radar

¹⁴ Voir chapitre 10 de ce document.

¹⁵ Certains ont revendiqué, pour l'atelier de Tarbes de la DEFA, la réalisation de certains engrenages. Thomson donne la tourelle comme venant d'un sous-traitant Suisse. Noter qu'au SECT comme sur

Aquitaine eut un successeur, en 1967, pour le champ de tir de Guyane : le Bretagne qui reçut des améliorations significatives, en particulier un ensemble de réception entièrement transistorisé. Un radar de ce type fut acquis pour le CEL.

Le premier radar fut installé au CIEES (à Hammaguir puis à Béchar), avant d'être rapatrié en France. L'un d'eux fut affecté au CEM. Deux furent installés au CEL, à Biscarosse et à Hourtin. Un autre trouva sa place à Florès avant d'être remplacé par un Béarn. Le cinquième, un Bretagne, fut lancé en 1968 et destiné au CEL.

Le gros défaut d'un tel radar était son coût. Or il était nécessaire de disposer de radars de précision en plusieurs endroits. Le SECT (Gérard Delyon et Patrice Renard) s'orienta alors vers un radar moins coûteux, quitte à transiger sur certaines performances. Ce fut le radar Béarn (figure 10). On revenait à une conception plus classique, toujours de type Cassegrain, mais avec une écartométrie à balayage (*scanning*). Le réflecteur principal fut plus grand (4 mètres de diamètre) pour tenir compte du masque apporté par le réflecteur secondaire classique. Ce radar fit l'objet d'un marché à tranches conditionnelles, en prévision du nombre de radars envisagés, et pour tirer partie d'un effet de série, même très limitée. Il y eut en effet 13 radars Béarn fabriqués. Ils équipèrent le CEL, Florès, le *Poincaré*, le CEM, etc. et aussi le CEV, qui ne tarda pas à l'adopter.

Des radars devaient être dérivés du Béarn, et reçurent alors des dénominations différentes. Ce furent l'Adour, le Gascogne, le Provence.

Le premier, l'Adour, était de même technologie que le Béarn, mais de conception simplifiée du point de vue mécanique. Il fut réalisé en version mobile.

Le radar Gascogne (1978) fut réalisé pour équiper le *Henri Poincaré*. Deux radars furent commandés par le CTME. Ce radar permettait la poursuite simultanée de deux cibles (antenne de 4 mètres de diamètre, type monopulse). Deux radars furent montés sur le *Poincaré* en remplacement de deux Béarn. De même sur le *Monge*. C'était un radar monopulse dérivé du Béarn, avec des améliorations substantielles.

Le Provence était un Béarn monopulse à télémétrie différentielle, qui fut réalisé pour le CEM et installé en 1983.

En 1975 fut lancé le radar Atlas. Parallèlement à la refonte des Béarn, qui au mieux permettait de maintenir le nombre des radars en service, se précisait la nécessité d'étudier et de développer un nouveau radar de performances au moins équivalentes à celles de l'Aquitaine. Thomson développa alors, sur contrat du CTME, le radar Armor en bande 5 cm. Deux furent montés sur le *Monge*. La précision était de 0,05 mrd et il permettait la poursuite simultanée de trois cibles, plus deux pour analyse.

Le radar Artois (figure 11) répondait principalement aux exigences des tirs d'engins tactiques, en autorisant la poursuite simultanée de plusieurs objectifs grâce à la technique du balayage électronique. Son étude, lancée en 1968, conduisit à un radar en bande 5 cm, avec une antenne à balayage de type dalle comprenant 270 sources placées sous radôme. Le gain était de 38 dB, la précision angulaire de 0,2 milliradian, avec un balayage électronique sur 10 degrés par déphaseurs 4 bits à perturbation sur guide. C'est un radar monopulse, site et gisement, monté sur une

les champs de tir, on prit l'habitude de désigner ces radars par JLA1, JLA2, etc., alors que, pour le constructeur, JLA est réservé à l'antenne seule.

¹⁶ Directement en cosinus directeurs, ce qui constituait un avantage par rapport à l'AN/FPS16.

tourelle autorisant une couverture totale de l'espace.

2.7 - Trajectographie électromagnétique : systèmes multistatiques

Avant 1961, pour essayer de pallier l'insuffisance des radars, on utilisa sur les champs de tir divers systèmes. Ils avaient tous la caractéristique d'être multistatiques, et d'utiliser essentiellement l'effet doppler. Citons :

- le trajectographe ONERA (Office national d'études et de recherches aérospatiales) utilisé au CERES ;
- le fizeaugraphe fonctionnant sur 75 MHz et qui fut maintenu un temps au CIEES, car il avait une fonction proximétrie. Le système pouvait aussi porter la télémesure SAT/TURK.

Deux éléments nouveaux avaient été retenus par le CIEES avant 1961 : le COTAR (*Correlation Tracking And Ranging*) et le SECOR (*Sequential Correlation and Ranging*), tous deux étant conçus par la société américaine Cubic de San Diego. Leur réalisation en France fut confiée à la société Compagnie des compteurs (CDC).

Le COTAR utilisait l'émission de télémesure des engins. Pour cela il nécessitait deux stations éloignées l'une de l'autre, l'angle entre chacune d'elles et l'engin porteur d'une émission (celle de la télémesure) était mesuré par interférométrie à grande base. L'interception des deux directions mesurées permettait de déterminer la position de l'engin, comme le faisaient les cinéthéodolites, mais avec ce système radioélectrique pour des portées considérablement plus grandes.

Chacune des stations, dite AME (*Angle Measurement Equipment*) était constituée d'un champ d'antennes s'étendant sur 125 mètres (figure 13), dont la réalisation était des plus délicates, en raison des tolérances sévères sur la localisation des antennes, de la planéité de l'ensemble requise, des dégagements alentours indispensables. La précision était donnée par les antennes extrêmes, les autres antennes étant là pour permettre les levées d'ambiguïté. Les deux bases AME devaient évidemment effectuer le relevé angulaire au même moment. La société américaine préconisait son système, mais au CIEES et plus tard dans les Landes, le système de synchronisation du champ de tir permettait de réaliser sans difficulté cette simultanéité des mesures.

On eut beaucoup de difficultés à faire fonctionner correctement ce système. Il fut néanmoins utilisé au CIEES, avec un champ d'antennes (B2) à Hammaguir, l'autre (B1) à Béchar, et reconduit au CEL, où il n'eut qu'une existence éphémère.

L'autre système retenu par le DED était le SECOR. Il était tristatique. Chaque station mesurait sa distance à l'engin, lequel devait porter un répondeur que chacune des stations interrogeait séquentiellement. Mis en œuvre lui aussi par la CDC, ce système ne put donner satisfaction, et finalement il fut abandonné. Il ne fut pas retenu lors de l'équipement du CEL.

Pour le CEL, le SECT fit développer un autre système, la « structure en L » (VDL, pour « Vitesse-distance » structure en L, en fut l'appellation, devenue courante au CEL). L'étude et la réalisation en furent encore confiées à la Compagnie des compteurs (CDC). Elle comportait une station maître et deux stations esclaves situées à une centaine de mètres dans des directions formant angle droit.

Placé à une centaine de kilomètres au nord de l'emprise du CEL près de Hourtin,

avec une station maître à Maubuisson, et des stations esclaves à Contaud et à Brach, ce dispositif fut utilisé avec succès pour les tirs de certains missiles M1 et S1 et permit d'obtenir des restitutions vitesse avec une erreur de l'ordre de 10 cm/s. Mais l'équipement bord devait se révéler exagérément coûteux. De plus, lorsque les télémesures émigrèrent vers la bande S, il apparut des incompatibilités à bord de l'engin, et finalement ce dispositif fut abandonné en 1971.

Le système Minerve fut conçu et réalisé au début des années soixante-dix, pour fournir en temps réel une mesure « directe » des trois composantes de la vitesse du missile. Il fonctionnait en mesurant le Doppler de l'émission télémesure dans la bande P, reçue par quatre stations et en utilisant une connaissance de la position du missile fournie par d'autres moyens. L'idée était d'obtenir une mesure précise des trois composantes pendant la première partie de la trajectoire d'un missile balistique. La portée du système était en effet modeste, en particulier en raison de la géométrie, les recouvrements devenant rapidement défavorables.

Le système Minerve comportait au minimum quatre stations. En effet on considérait la fréquence d'émission de la télémesure comme insuffisamment stable, et on la regardait comme une quatrième inconnue.

2.8 - L'observation de la rentrée dans l'atmosphère

Le développement du programme d'engins balistiques a conduit, d'une part, à étudier le comportement du « cortège balistique » et, d'autre part, à caractériser les phénomènes qui se produisent à la rentrée dans l'atmosphère. Le SECT a donc été amené à faire développer pour cela des équipements spécifiques. Ce furent le radar Savoie qui fut installé d'abord sur le *Henri Poincaré* puis sur le *Monge*, et des systèmes, réalisés par l'ONERA, comme le Nimbus, ou définis avec son aide (Cumulus, Stratus).

Le radar Savoie (figure 12), conçu et réalisé par Thomson en 1974, fonctionne sur 70 cm de longueur d'onde. Son antenne a un diamètre de 8 mètres (gain de 28 dB). Ce radar permet la poursuite simultanée de plusieurs cibles, avec une précision de 0,5 milliradian, le but étant d'assurer une trajectographie des leurres hors de l'atmosphère et d'en mesurer les surfaces équivalentes radar pour deux polarisations. Il comporte un émetteur à triodes pouvant fournir 0,15 MW et utilise une compression d'impulsion, de 500 μ s jusqu'à 5 μ s. Le radar Savoie est équipé d'un traitement numérique en différé comprenant un banc de 16 filtres Doppler suivi d'une compression d'impulsion.

Le Nimbus a été réalisé par l'ONERA. Il est plus particulièrement destiné à l'étude du plasma de rentrée. Il ne possède pas de fonction de poursuite et doit donc être pointé sur son objectif par des moyens extérieurs (calculateur du BEMHP). Il fonctionne sur quatre fréquences, les signaux étant modulés en amplitude (impulsion longue avec rampe linéaire en fréquence). Deux ensembles de réception traitent les polarisations croisées. L'exploitation était faite par l'ONERA.

Le Cumulus utilise trois fréquences, avec trois émetteurs séparés. Son but est l'analyse des phénomènes de rentrée. Ses impulsions longues sont modulées en phase par un signal pseudo-aléatoire. Comme pour Nimbus, la réception se fait en deux polarisations croisées et doit être pointée par des moyens extérieurs. Ce radar

fut fabriqué par LCT (Laboratoire central des télécommunications).

Le Stratus, conçu par l'ONERA, fonctionne en bande L, avec deux antennes, l'une à l'émission, l'autre à la réception. Il permet l'analyse du sillage des différents corps à leur rentrée dans l'atmosphère. Le système Stratus a été monté sur le *Monge*.

2.9 - L'optique

2.9.1 - Les problèmes optiques

Au début des années soixante, les moyens de mesure optique tenaient une part essentielle dans l'équipement d'un champ de tir.

En l'absence de radars fiables et précis capables de portée suffisante, c'étaient les moyens optiques qui constituaient la source prépondérante de mesures de trajectographie. Encore fallait-il accroître leur portée, tant que faire se pouvait, par un élargissement du maillage de leurs installations et par toutes les astuces possibles pour améliorer leur distance de visée.

Autre domaine où l'optique se révélait irremplaçable, tant que la télémessure n'aurait pas évolué considérablement : l'observation externe. Ici deux problèmes essentiels : l'observation de phénomènes rapides, comme un départ de missile, nécessitait des caméras susceptibles d'opérer à haute fréquence, bien loin des 24 images par seconde du cinéma classique ; l'observation de phénomènes éloignés, tels des séparations d'étages ou des interceptions de cibles, nécessitait des " téléobjectifs " ultra-puissants, plusieurs centaines de fois plus puissants que le classique objectif photo.

On craignait également les phénomènes de " black out " des radars lors des phases de rentrée. Pourquoi ne pas tirer parti du phénomène lumineux avec des traqueurs optiques susceptibles de suivre le phénomène et de faire réacquérir les radars un peu plus tard.

Enfin, à l'exception des traqueurs, tout cela fonctionnait avec du film cinématographique, plus ou moins classique ou amélioré, dont il allait falloir assurer un traitement rapide et fiable, les résultats d'un essai pouvant déterminer le suivant. On pensait bien, vaguement, à utiliser la vidéo (on disait la télévision), mais la technique suffisamment rapide pour convenir n'était pas pour demain. (En fait, elle a commencé à devenir opérationnelle plus de trente ans plus tard, vers la fin du millénaire !).

2.9.2 - La trajectographie optique

Dans le domaine de l'appareillage, il n'y avait rien à découvrir : tous les champs de tir existants, depuis Peenemünde, utilisaient des cinéthéodolites, et tous les pays du monde les achetaient chez le seul constructeur qui en fabriquait, le suisse Contravès (figure 17), une filiale d'Oerlikon. Les cinéthéodolites allemands Askania, ceux-là mêmes qui avaient servi à la mise au point des V2, complètement dépassés et trop peu précis, n'étaient plus fabriqués.

Le CIEES disposait de quelques-uns de ces Askanias. Mais à bout de souffle et peu précis, ils ne paraissaient pas constituer un héritage bien souhaitable pour le futur CEL. Le CIEES disposait également de dix cinéthéodolites Contravès. Quatre d'entre eux de première génération, de type B, étaient un peu dépassés mais

encore fiables. Les six autres, de type C, assez récents, étaient à la fois fiables et précis. Un bon héritage à surveiller ! Mais les schémas d'implantation montraient qu'il en faudrait dix au CEL pour suivre assez loin les balistiques. (L'expérience devait d'ailleurs plus tard montrer, qu'en réalité, il faudrait en ajouter deux ou trois pour suivre à courte portée, avec un maillage resserré, les petits engins tactiques). Bref, il faudrait en acheter une demi-douzaine de plus si on voulait pouvoir assurer une certaine maintenance.

Le marché ne posait pas d'autre problème que le financement et il fut décidé d'acheter six cinéthodolites Contravès, type E, les plus récents. Cinquante ans après, ces théodolites sont toujours en service au CEL à ceci près qu'on y a remplacé le film par la vidéo ; en fait, ce matériel était tout simplement parfait et il le démontra au cours des ans. Contravès livrait en même temps les tables de visionnage qui servaient au dépouillement des films et à la numérisation des résultats qui en étaient issus.

Dernier engin optique lié à la trajectographie, la chambre balistique. Il s'agissait d'une chambre photographique classique mais de grand format enregistrant pendant un temps de pose assez long le ciel nocturne et ses étoiles. Un avion porteur d'un flash daté par codage se déplaçait sur ce fond. Il en résultait une plaque où les étoiles dessinaient des amorces de cercles tandis que la trajectoire du flash dessinait une ligne pointillée. Chaque caméra permettait donc à un instant donné de connaître la position angulaire du flash par rapport aux étoiles fixes.

Donc avec deux ou trois caméras, et pas mal de calculs assez délicats, on pouvait en déduire une trajectoire directement liée au référentiel stellaire. Ce système pouvait dès lors servir à calibrer les cinéthéodolites qui filmaient le même avion. Le principe, développé par l'IGN, fut utilisé au début du CEL, pour valider la bonne implantation des cinéthéodolites.

2.9.3 - L'observation rapide

L'observation des comportements de mobiles rapides se fait avec des caméras classiques, à ceci près que leur cadence de prise de vue est un peu particulière. Par ailleurs, pour accroître le champ, il fallait utiliser du film de 35 mm, comme d'ailleurs le cinéma classique.

Les caméras classiques filmant jusqu'à 50 images par seconde ne posaient aucun problème et se trouvaient en vente partout. Malheureusement, il n'y avait aucun besoin de ce genre de caméras, trop lentes, sur les centres d'essais.

Les prises de vue devaient se faire à des cadences variables de 100 à plusieurs milliers d'images par seconde et cette étendue d'observation était classiquement divisée en deux domaines :

- les prises de vue grande vitesse (GV) allant de 100 à 300 images par seconde ;
- les prises de vue ultra-rapides (UR) couvrant la gamme de 500 à 3 000 images par seconde.

En prise de vue GV, il existait deux caméras sur le marché et elles équipaient déjà le CIEES :

- la caméra GV Eclair, capable de vitesses allant jusqu'à 150 images par seconde. Elle était relativement légère, très maniable et de bonne fiabilité... mais malheureusement un peu lente ;

- la caméra GV Bourdereau, en théorie susceptible de monter jusqu'à 250 images par seconde, mais énorme et surtout très peu fiable parce que la mécanique à griffes et mouvement alternatif, y était utilisée au maximum de ses possibilités.

Devant l'échec de cette machine, c'est au SECT que devait revenir le lancement de l'étude d'une caméra à griffes nouvelle susceptible de couvrir cette gamme de fréquences et assez légère pour équiper les télescopes. Après consultation approfondie de tous les centres d'essais et rédaction d'un cahier des charges particulièrement fouillé, trop peut-être, l'étude fut lancée et confiée à la maison Debrie. Puisque cette voie était fermée, il ne restait plus qu'à acheter les caméras GV Eclair légères et fiables... mais limitées à 150 images par seconde en 35 mm. C'est cette caméra qui devait être montée sur les télescopes et téléobjectifs dont l'ouverture modeste n'aurait d'ailleurs que rarement permis une cadence plus élevée.

En prise de vue UR, il n'existait qu'une caméra américaine Fairchild. Mais utilisant du film 16 mm, elle ne convenait pas aux besoins. La société Bourdereau venait de développer sur ses fonds propres un prototype de caméra UR capable de filmer sur film 35 mm à 1 200 images par seconde en plein format et à 3 000 images par seconde en tiers format.

Son principe, totalement différent et tout nouveau en France, consistait à faire défiler le film en continu derrière l'objectif et à compenser le déplacement du film pendant la prise de vue par un déplacement de l'image obtenue en faisant tourner devant elle une lame à faces parallèles. (En fait il s'agissait d'un prisme à 6 faces équivalent à trois lames à faces parallèles en série). D'où le nom de caméra DCP (Défilement continu à prisme !). Bien sûr, elle était énorme et, avec ses magasins et son alimentation, devait atteindre près de 150 kg. Mais la grande cadence n'était utile qu'en pied de rampe au départ. On pouvait donc la caler à visée fixe.

La commission des marchés demanda de faire une petite enquête sur la société Bourdereau. Elle en conclut qu'il s'agissait de personnes parfaitement honnêtes et compétentes mais, qu'à son avis, la société ne manquerait pas de faire faillite ! Sur ce point, elle avait bien raison, puisque la société Bourdereau devait disparaître quelques années plus tard. Mais ses caméras UR, parfaitement inusables tournent encore aujourd'hui.

2.9.4 - L'observation à grande distance

Il s'agissait d'un problème d'objectifs puisque nous avions, ou allions avoir, les caméras sur lesquelles les monter. Nos centres d'essais étaient totalement démunis en ce domaine. L'objectif de focale la plus longue couramment utilisé avait 500 mm. Avec cela, on ne dépassait guère deux ou trois kilomètres en portée pratique, pour autant que les missiles visés aient une taille respectable. Impossible, par exemple, d'analyser une l'interception d'une cible aérienne par un missile tactique à une dizaine de kilomètres de la caméra, distance classiquement imposée par les considérations de sécurité.

Il existait en France un objectif dioptrique de 2 mètres de focale réalisé par la société SFOM. Comme on avait dû lui attribuer une vocation pour l'observation du ciel étoilé, il portait le joli nom d'objectif Astro 2000. Seulement, le CIEES avait acquis un de ces objectifs, mais avait bricolé un support installé sur un pied, orientable (moyennant les contrepoids nécessaires) par un opérateur attelé à une sorte de brancard monstre de près de 2 mètres de long pesant près d'un quintal !

Pour régler le problème, il fallait monter l'objectif sur une poutre rigide installée sur une tourelle à commande hydraulique, par exemple. Quant à la mise au point, on pouvait peut-être la régler à condition de connaître la distance de visée ! On résolut le problème en proposant d'utiliser comme tourelle un affût de canon de 40 mm antiaérien Bofors (figure 18). Sur cette tourelle, on monta une poutre, spécialement réalisée pour supporter l'Astro et sa caméra et suffisamment rigide pour ne pas plier. Quant à la mise au point, elle fut fournie par le calculateur du champ de tir. La réalisation de l'ensemble fut confiée à l'APX et donna satisfaction. Les deux premiers ensembles arrivèrent à temps pour servir au CEL dès sa création. Ils servent encore pour autant que je sache. Notons au passage que les objectifs dioptriques sont très peu sensibles aux variations de température, contrairement aux objectifs catadioptriques (le plus souvent appelés télescopes), et qu'il suffit en pratique de les régler sur une température moyenne pour leur conserver une qualité d'image acceptable.

Cette solution convenait jusqu'à une dizaine de kilomètres de distance. Mais comment faire au-delà ? Il fallait utiliser un objectif de focale plus longue et il s'agissait alors nécessairement de formules catadioptriques avec des miroirs. Rien de tel n'existait en France !

Ce fut encore l'APX qui se chargea de l'étude de l'objectif et de la tourelle destinée à le porter. L'étude se fit antérieurement à la création du SECT et fut menée par Pierre Givaudon, si bien que, si le SECT ne fut pas le concepteur réel de l'engin, c'est à lui que devait revenir la tâche de le mettre en service et de l'expérimenter au CIEES.

Pour la tourelle, destinée à recevoir une charge modérée (un objectif dioptrique fait de miroirs est toujours relativement assez léger), on développa une tourelle légère, susceptible de s'orienter sous l'action d'un « manche à balais » actionné par un opérateur « embarqué ». La tourelle d'excellente qualité était susceptible d'opérer à des vitesses aussi faibles que celle du suivi d'une étoile (360° par jour) mais pouvant atteindre au besoin les plusieurs degrés par seconde nécessaires à la poursuite d'un engin.

Pour l'objectif lui-même, on confia sa réalisation à une société d'optique française existant alors, la REOSC. Elle proposa un télescope de type Cassegrain de 3,6 mètres de distance focale, donc susceptible d'être utilisé jusqu'à plus de 20 km de distance. Ce télescope de 3,6 mètres de focale ne mesurait guère qu'un mètre de long et était donc facilement embarquable sur une tourelle relativement légère.

L'ensemble reçut le nom de TOSCA (Tourelle orientable support de caméra d'attitude) et fut livré au CIEES. On se rendit alors compte que le télescope Cassegrain de la REOSC était très sensible à la température, et l'amplitude thermique était très forte au Sahara. On dut déclarer forfait et on ne parla plus de la TOSCA, ou du moins de l'objectif REOSC qui l'équipait, parce que la tourelle était bonne et fut réutilisée ultérieurement, pour embarquer une caméra de poursuite à focale dioptrique plus modeste.

Pendant ce temps, le SECT recevait une proposition de Contravès, qui avait monté un télescope de 3 m de focale construit par un de ses sous-traitants américains, la société Fecker dont nous aurons à reparler, sur une tourelle d'un vieux cinéthéodolite B déclassé. Ce nouveau télescope était compensé thermiquement (en

plus, il était en invar !) et les essais montraient sa parfaite fiabilité. Il a donc été passé commande de trois télescopes de ce type pour le CEL. On les baptisa CASOAR (Caméra d'attitude et support orientable asservi par radar). Ils furent livrés directement au CEL et ne me posèrent jamais le moindre souci de mise en œuvre. L'invar et la faible amplitude thermique du climat landais devaient y être pour quelque chose !

Si les distances jusqu'à une vingtaine de kilomètres étaient ainsi bien couvertes, les focales de 3 m ne pouvaient suffire pour l'observation de séparations ou d'interceptions à une quarantaine de kilomètres. Il fallait une focale plus longue. En ce domaine, le besoin le plus urgent concernait le CIEES qui allait devoir entreprendre le programme des engins balistiques. Aucun télescope à grande focale n'existait en France, mais il en existait un aux USA, qui l'avaient fait développer pour leurs propres programmes : il s'agissait d'un télescope de formule Newton de 12 mètres de distance focale, autrement dit 4 fois plus puissant que la CASOAR, baptisé du doux nom soviétisant d'IGOR (*Intercept Ground Optical Recorder*) (figure 19). Il était réalisé par la société Fecker, qui devait devenir un sous-traitant de Contravès, à Pittsburg.

Evidemment, il s'agissait d'énormes machines requérant une installation particulière sous coupole, exempte de vibrations. Le tube du télescope avait plus de trois mètres de long et était installé sur une tourelle inspirée des tourelles Contravès, mais beaucoup plus grande. De surcroît, et pour exploiter au mieux le champ de cette optique, on lui adjoignait une caméra Benson utilisant le film en 70 mm normalement utilisé pour le cinémascope. L'achat de ces IGOR impliquait donc la réalisation d'un bâtiment pouvant les porter, eux et leur coupole qu'il fallait aussi acheter, et l'acquisition conjointe de la machine à développer capable de traiter du film de 70 mm, complétée par un projecteur ou une table de visionnage permettant son exploitation.

Le problème était donc complexe mais il ne paraissait pas y avoir d'autre solution. GT6 passa donc commande de deux IGOR et de deux coupoles chez Fecker, de deux caméras chez Benson, et d'une machine à développer chez un constructeur américain puisque l'industrie cinématographique française ne traitait pas encore du 70 mm. Le marché, défini par le SECT, fut passé par la Mission technique d'achat à Washington.

Les deux appareils étaient destinés au CIEES et furent installés, en 1963, aux deux extrémités du dispositif de mesure en V du champ de tir d'Hammaquir. Cette mise en œuvre devait révéler immédiatement deux choses :

- La tourelle était de si bonne qualité et son pointage par deux opérateurs si doux que le missile visé restait toujours au plein centre du champ. Autrement dit, il était inutile de se pénaliser de toute la lourde logistique nécessaire aux caméras de 70 mm : le champ du film 35 mm suffisait parfaitement. Le SECT/BAB entreprit donc de remplacer la lourde Benson par une caméra GV Eclair de 35 mm, largement utilisée au CIEES. Certes, cette petite caméra paraissait minuscule sur la plate-forme de la Benson, presque ridicule, mais l'adaptation fut réussie et donna entière satisfaction.

- La Benson disparue, le réglage de mise au point de l'IGOR s'avérait aussi complexe que délicat. Pour vérifier la mise au point d'un objectif, on vise un objet situé à une distance connue et on modifie le réglage de la bague de mise au point jusqu'à ce qu'elle indique cette distance, du moins avec un télescope peu sensible

aux variations de température, ce qui était le cas de l'IGOR. En pratique, on vise un objet situé à la distance hyperfocale, ce qui assure une netteté jusqu'à l'infini. Mais pour l'IGOR, la distance hyperfocale était de l'ordre de 40 km et, surtout au Sahara, il n'existe aucun point visible à 40 km à cause des turbulences atmosphériques au ras du sol. La seule cible à l'infini, ce sont les étoiles ! Les américains avaient donc développé une méthode de réglage directement sur les étoiles.

Il n'en restait pas moins que les IGOR du CIEES donnèrent des images acceptables et furent mis en œuvre sans trop de difficultés. Mais comme ils devaient rester à Hammaguir jusqu'en 1967, décision fut prise d'en acheter deux autres avec leur coupole mais sans caméra 70 mm, toujours chez Fecker. Ces deux IGOR furent installés en 1966 au Centre d'essais des Landes, qui devait recevoir ultérieurement les deux télescopes repliés du CIEES, dont un fut installé tandis que l'autre restait en caisse.

2.9.5 - La désignation infrarouge

Un nouveau problème était posé par les spécialistes du radar : lors de la ré-entrée des engins balistiques, ils craignaient une perte momentanée des informations envoyées par le répondeur radar embarqué, occasionnant une perte de poursuite du radar qui deviendrait alors incapable de surveiller la trajectoire à l'impact.

Le groupe optique du SECT proposa une solution : profiter du phénomène lumineux causé par la ré-entrée pour verrouiller sur lui un traqueur infrarouge dont la tourelle, pilotée par le radar jusqu'à sa phase d'extinction, serait à son tour capable de piloter le radar devenu aveugle. On estimait que le signal du répondeur réapparaîtrait à temps pour compenser la perte du signal optique dû à la ré-entrée.

Un traqueur de ce genre était proposé par la société américaine Barnes. Son achat fut décidé et son adaptation sur une tourelle étudiée par un jeune IA qui venait d'arriver : Jean-Pierre Marvillet. La tourelle était destinée à être installée aux Açores, point à bonne portée des impacts des premiers balistiques. Elle le fut et donna des résultats satisfaisants... mais inutiles ! On préféra une autre solution : utiliser un deuxième radar fonctionnant en chaîne avec le premier et qui assurait la poursuite sur le plasma lors de la rentrée dans l'atmosphère.

Le traqueur Barnes de Florès fut rapatrié et passa aux oubliettes. Par contre, l'idée d'une poursuite automatique par traqueur infrarouge utilisant la flamme de propulsion intéressait beaucoup le service optique du CEL qui avait les plus grandes difficultés à poursuivre le départ des missiles sol-air trop accélérés, tels le Crotale. C'est le SECT qui étudia alors, avec la société SIDEN, représentant français de Contravès, le montage d'un traqueur à la place d'une des lunettes de pointage d'un cinéthéodolite préalablement modifié pour être piloté manuellement en « commande unique », c'est-à-dire par un seul pointeur. Trois de ces traqueurs furent adaptés sur trois cinéthéodolites du CEL et donnèrent entièrement satisfaction.

2.10 - Les cibles et la proximétrie

Quand le SECT commença à s'occuper des champs de tir, au CIEES les cibles utilisées pour les tirs contre aéronefs (air-air et sol-air) étaient des CT20. Elles étaient produites par la société Nord-Aviation qui fournissait aussi le système de télé-pilotage, le LIRNA. Ces cibles étaient lancées depuis le sol. Elles étaient

récupérables aussi bien sur terre, sur la hamada, qu'en mer, au CEM et par la suite au CEL. Sur chaque champ de tir, un « service cible » se chargeait de la remise en état de la cible, quand elle n'avait pas été détruite par le missile ou endommagée trop gravement lors de la récupération. Et ainsi, une cible pouvait servir jusqu'à cinq ou six fois.

Pour augmenter encore les chances de survie, le CEL imagina de faire tracter à courte distance par le CT20 une cible, la cible EMIR, sur laquelle se dirigeait le missile.

Ces cibles donnaient entière satisfaction plus de vingt ans après leur conception. Néanmoins elles commençaient à vieillir et il fallait envisager des remises à hauteur, surtout pour l'électronique de bord. On pouvait aussi se demander si le prix d'un engin dessiné au début des années cinquante ne pouvait pas être très sensiblement réduit par l'utilisation de techniques plus modernes. Par ailleurs, les performances des nouveaux systèmes d'armes, notamment les nouveaux missiles, ont conduit le SECT, en 1974, à une réflexion sur les systèmes de cibles. Les conclusions de cette étude ont amené à deux nouveaux systèmes de cibles aériennes :

- une cible subsonique destinée à remplacer le CT 20. Le SECT établit alors les spécifications de cette nouvelle cible, la C22, et les a transmises à la DTEn, direction en charge de son développement. Parallèlement, le SECT développait de nouveaux moyens de guidage, télémessure et proximétrie, embarqués sur cette cible.

- il est apparu le besoin d'une cible aérienne supersonique. Vu le faible besoin, le développement d'une cible purement française a été abandonné. Le SECT s'est tourné dans un premier temps vers une cible utilisée par les anglais, et développée par les irlandais à partir d'un missile américain développé par Beech Aircraft, l'AQM37. Après discussions avec les irlandais, il est apparu préférable de prendre contact directement avec Beech Aircraft. Ces discussions, menées en 1975, ont conduit au développement de la cible Vanneau (figure 22). Le SECT acheta le vecteur AQM37A directement à Beech, et en confia l'adaptation et l'intégration à Matra. Deux cents exemplaires de cette cible ont été produits. Cette cible était lancée depuis un avion et n'était pas récupérable.

Pour les essais contre les navires de surface, il était vite apparu nécessaire d'abandonner l'antique méthode qui consistait à faire tirer une vieille coque à distance respectable par un navire classique. Le SECT imagina une « cible marine » (figure 20) très rustique et dont l'apparence pour le missile était obtenue par des renforçateurs d'écho. La cible portait aussi, outre les dispositifs de proximétrie, une caméra « *fish eyes* » qui filmait le passage du missile. Cette cible était tirée par une vedette télécommandée. Ce furent *La Fourmigue* pour le CEM, et *La Semeuse* pour le CEL ; cible marine et vedette utilisées par ce centre étant remisées dans le port de Bayonne.

Cette vedette devait être remplacée par une nouvelle vedette de 16 mètres baptisée *Alienor* (figure 21) qui fut fabriquée par les chantiers de La Ciotat, et c'est un « équipage du SECT » qui l'a amenée, en faisant le tour de l'Espagne jusqu'à Bayonne.

Un problème récurrent qui s'est posé à propos des essais de missiles contre des cibles est de déterminer la façon dont ce missile atteint la cible. C'est d'abord la mesure de la distance de passage (quand la cible n'est pas atteinte de plein fouet), c'est ensuite la détermination de l'attitude du missile au moment où il aborde la cible.

Pour ce deuxième problème, de loin le plus difficile, le CEL, a développé des méthodes utilisant ses moyens optiques. Pour le premier, la « proximétrie », différentes méthodes ont pu être mises au point :

- Il y eut des méthodes utilisant des moyens radioélectriques. Dans les années soixante, on avait encore le fizeaugraphe, et ce fut une des raisons de son maintien, un temps, à Hammaguir. Puis apparut un proximètre radioélectrique réalisé par la société ELECMA sur contrat du SECT. Le CTME a développé, par la suite, un proximètre laser, réalisé par Matra, permettant une précision de l'ordre de 25 cm.

- Le CTME fit aussi développer un proximètre « nucléaire », utilisé essentiellement pour les missiles air-air et réalisé par la SODERN. Il était basé sur un récepteur de rayons gamma placé sur la cible, une petite source étant mise sur le missile. Le résultat du scintillateur placé sur la cible est transmis par télémesure.

L'existence au CEL du radar Artois (figure 11), qui permettait la poursuite simultanée de deux objectifs, fournit aussi un moyen puissant d'observer l'interception.

2.11 - TREMAIL (*Trajectographe d'engins marins à l'île du Levant*)¹⁷

En 1968/69, il était question d'un super missile à changement de milieu. Ce projet devait être abandonné (ou remis à plus tard), mais entre temps le SECT, connaissant l'existence du polygone américain AUTECH¹⁸ (*Atlantic Undersea Test and Evaluation Center*), aux Bahamas, avait lancé l'étude d'un champ de tir sous-marin¹⁹. Projet ambitieux, qui montra la faisabilité d'un tel polygone, mais pour un coût élevé. Il fut alors décidé de compléter l'étude papier par l'installation d'une maille expérimentale de trajectographie sous-marine par grands fonds (2 400 m) dans le but de valider les solutions technologiques et la tenue dans le temps des équipements envisagés, d'étudier les bruits ambiants et d'évaluer la précision espérée de la trajectographie.

De son côté, l'ECAN (Etablissement de construction et armes navales) de Saint-Tropez avait fait réaliser dans le golfe de Saint-Tropez une installation, baptisée STRATUS, destinée à l'étude des torpilles. Les hydrophones étaient reliés à une bouée de surface, solution économique incontestablement, mais trop risquée comme allaient le démontrer les faits, car lors d'une tempête la bouée fut emportée et le polygone pratiquement détruit. De plus cette réalisation, trop proche des côtes, excluait l'évolution de sous-marins.

Aussi, on en vint donc à un projet de polygone sous-marin au large de l'île du Levant, extension de la maille expérimentale. Cela permettait d'immerger les hydrophones en eau profonde, sur un plateau sous-marin à 2 000 mètres environ de profondeur, donc avec des trajets acoustiques sous forte incidence. Chaque hydrophone devait être relié au centre d'exploitation situé à terre. De cette façon le risque était réparti sur chaque hydrophone, mais cela conduisait à une réalisation nettement plus onéreuse. La DRME/SDME devait alors se saisir de la question et charger le SECT de la réalisation, dans le cadre du Centre d'essais de la Méditerranée (début des années 1970).

¹⁷ Témoignages de Yves Stierlé et Jean Rozmarin.

¹⁸ Utilisé surtout pour les exercices et jeux de guerre.

¹⁹ Par Henri Cardot, alors SECT/BEG.

Initialement prévu pour les essais de torpilles, dans la continuité de ce qui avait été le but à Saint-Tropez, il apparut rapidement un autre intérêt, celui de réaliser un ensemble cohérent avec le champ de tir aérien, avec une continuité de trajectographie entre les deux milieux. Ce polygone sur fonds de 2 000 mètres fut opérationnel en 1979. Ceci fut utilisé pour les essais du SM39. Une difficulté apparut alors : c'est de déterminer en temps réel le point de sortie de l'eau du missile, de façon à braquer sur ce point les moyens d'observation de cette phase difficile. Les temps de propagation dans l'eau permettaient difficilement d'obtenir la prévision dans le délai souhaité. Les équipes du CEM eurent à résoudre ce problème.

Pour ces réalisations, les points délicats se situaient lors de la transition mer-terre (les « atterrissages » suivant l'expression consacrée par les câbliers). La foudre constituait un facteur de risque qui dut faire l'objet d'un soin particulier, surtout au niveau des hydrophones, très sensibles.

L'ingénieur chargé, sous les ordres de Yves Stierlé, fut Jean Rozmarin.

Les hydrophones furent commandés à la société ELA. Le traitement fut confié à la société SECRE. Les câbles sous-marin furent tirés par la société SERRA.

Plus tard, le CTME créa de nouveaux polygones de TREMAIL : faibles fonds (300 mètres), et fonds moyens (1 000 mètres) réalisés en 1986. Les situations en Méditerranée de ces polygones sont données sur la figure 23. Ils furent servis et exploités par le CEM.

Le COSMAR (Contrôle opérationnel des senseurs de la marine) fut imposé au CTME, en priorité sur le TREMAIL, par l'EMM qui voulait disposer d'une base permettant de contrôler ses navires en service, à l'instar du FORACS (*naval FORces sensor and weapon Accuracy Check Site*) de l'OTAN.

Le navire à analyser effectue des passes prédéfinies à basse vitesse et un point cible à son bord est trajectographié par cinéthéodolites à cadence régulière. Simultanément tous les senseurs du navire visent les cibles appropriées et enregistrent leurs mesures. Ces essais devaient avoir lieu systématiquement après grand carénage : ils permirent de découvrir des écarts de mesure significatifs (jusqu'à 180 degrés sur un gisement sonar !).

On peut ajouter à ce type d'activité du CTME la réalisation d'un polygone sous-marin transportable (SPRAT, Système portable de réseau acoustique de trajectographie) qui fut utilisé pour tester le comportement de la torpille « Murène » sur divers sites du plateau continental.

2.12 - Le CEV et le SECT

Le CEV²⁰ a publié au cours des années quatre vingt, une brochure pour présenter ses activités, dans laquelle il est écrit : « Pour l'étude, la réalisation et la mise au point sur le site des installations de trajectographie, de télémessure ou de traitement de données, le CEV fait largement appel à la coopération de l'ETCA. C'est le cas, par exemple, pour la station Cigale d'Istres qui est entrée en service opérationnel au début de 1978. »

²⁰ Voir le chapitre 1 de ce document.

En cela le CEV prenait acte d'une collaboration entre les deux établissements, entente qui s'était établie dès les années soixante dix dans un climat de confiance réciproque, le service Méthodes du CEV ayant pris l'habitude d'utiliser le CTME comme bureau d'ingénierie pour ses équipements au sol. Le SECT pouvait en effet faire valoir dans ces domaines l'expérience acquise lors de l'équipement des centres d'essais de missiles et son appartenance à la DGA était pour le CEV un gage de bonne prise en charge de ses besoins, avec possibilité de suivre et d'intervenir à toutes les étapes de la conception. C'est ce que faisait ressortir le délégué dans sa lettre rapportée en première partie et que finalement confirmaient les orientations données lors de la création de l'ETCA.

Ces bonnes relations se traduisaient au plan administratif par la mise à disposition du SECT, par délégation, des crédits nécessaires pour conduire les réalisations dans l'industrie et passer les marchés correspondants.

Cette collaboration ne faisait d'ailleurs qu'élargir des habitudes prises à propos des radars dès que le SECT eut pris l'initiative de faire développer dans l'industrie les équipements de ce type dédiés à la trajectographie. Jusqu'au début des années soixante, le CEV utilisait pour cela les radars COTAL, auxquels il avait fait d'ailleurs apporter des modifications sensibles pour mieux les adapter à ses besoins.

Le SECT dans ce domaine prit le relais pour les besoins de champs de tir, mais surtout il fit réaliser par Thomson les radars Béarn et Adour que le CEV adopta d'emblée, aussi bien à Brétigny qu'à Istres ou à Cazaux. Le SECT put alors intégrer les approvisionnements relatifs aux besoins du CEV dans ceux que nécessitaient le CEM et le CEL, ce dernier se chargeant de la gestion des stocks de rechanges.

Une autre affaire importante apparut quand le CEV éprouva le besoin d'un moyen de trajectographie très précis, mais à courte portée pour observer la phase d'atterrissage d'aéronefs. Cela entraînait à l'évidence dans le domaine de l'optique ou plus précisément des lasers : ce fut le système STRADA (Système de trajectographie d'approche), que le SECT fit développer au début des années soixante-dix, l'ingénieur chargé étant Jean-Pierre Marvillet.

Le système STRADA comportait sur une même tourelle un LIDAR mesurant la distance à laquelle se trouvait l'aéronef et une caméra de télévision qui permettait d'asservir la tourelle en direction. La mesure de distance, utilisant un laser de type YAG, très précise était numérisée sur 16 digits avec une récurrence à 3 000 Hz. La tourelle était pointée en direction avec une précision de 10^{-6} radian.

L'aéronef en essai devait être équipé de réflecteurs laser tétraédriques de façon à obtenir un signal de retour suffisamment puissant. Le système permettait ainsi de connaître en temps réel la position de l'aéronef à quelques centimètres près par rapport à l'axe de la piste et par rapport au plan de descente idéal passant par le pied de l'antenne *glide*. Le LIDAR comme la tourelle furent réalisés par Thomson.

Le CEV devait se tourner à nouveau vers le SECT pour équiper l'annexe d'Istres d'un système de réception des télémesures émises par les aéronefs pour les essais en vol. Le but était d'obtenir en temps réel les mesures faites à bord des aéronefs pour exploitation immédiate par le conducteur de l'essai.

La réception des télémesures a été initialement basée sur un réseau d'antennes paraboliques du type Antarès, identiques à celles mises en place pour la réception des missiles sur les centres d'essais, mais avec des paraboles de diamètre plus

faible (2 mètres) compte tenu du bilan de liaison.

La mise en œuvre de ce type d'aériens a posé un certain nombre de problèmes : la plupart des vols essais s'effectuent à des distances relativement faibles et les aéronefs sont donc vus sous une faible incidence, ce qui est à l'origine de très fréquents phénomènes de trajets multiples, avec comme conséquence des perturbations sur le dispositif de poursuite automatique de l'antenne et la nécessité d'une surveillance permanente de chaque aérien par des personnels spécialisés.

Ces problèmes de trajets multiples n'ont jamais été complètement maîtrisés, la directivité d'une parabole de deux mètres en bande S étant insuffisante pour discriminer le signal direct du signal réfléchi. On arrive à cette situation paradoxale : il est beaucoup plus facile de recevoir la télémessure d'un missile évoluant à plusieurs milliers de kilomètres, que celle d'un avion roulant sur la piste à 300 mètres à proximité de hangars métalliques ! Une solution aurait pu être l'utilisation de liaison en spectre étalé, mais l'indisponibilité des bandes de fréquences nécessaires interdisait la mise en œuvre d'une solution aussi riche. Ce problème serait maintenant résolu de façon simple avec l'utilisation de modulations multiporteuses (COFDM), aujourd'hui couramment utilisées sur les réseaux TNT.

Pour en revenir aux problèmes de décrochage des antennes, ils ont été résolus de la manière suivante (Station ECHO).

Le gain des aériens paraboliques utilisés pouvait être réduit, ce qui permettait d'envisager l'utilisation d'un réseau d'antennes fixes de faible gain, réparties en site et en azimut pour recouvrir tout l'espace aérien. Pour une cible donnée, les signaux en provenance du secteur angulaire placé dans sa direction sont combinés en prédétection pour optimiser le gain d'antenne. La commutation d'un secteur à l'autre en fonction des évolutions du mobile est réalisée par un système de commutateurs à partir du niveau de champ reçu.

Le système est entièrement automatisé et ne nécessite aucun opérateur sur place.

L'exploitation des télémessures émises par les aéronefs se fait au centre Cigale. Dans ses grandes lignes, ce centre effectue un dépouillement des télémessures avec des moyens proches de ceux mis en place sur les centres d'essais de missiles (système SATAN), mais avec des moyens de calcul et de visualisation des paramètres de vol conçus dans l'optique d'une exploitation en temps réel des essais par des équipes spécialisées, à même d'intervenir si nécessaire sur le déroulement du vol.

2.13 - Les rails de simulation du CEL²¹

Un rail (figure 24) est un moyen d'essais destiné à soumettre un spécimen à de fortes accélérations linéaires dont le spectre de vibrations doit être aussi pur que possible. Le spécimen est embarqué sur un chariot de mesures propulsé par un chariot pousseur muni de roquettes et freiné à l'identique par un chariot arrimé à l'avant, à des vitesses et dans des conditions programmées sous le contrôle d'instruments de mesures enregistrant les conditions d'essai (vitesse, accélération/décélération, ambiance à bord du chariot et paramètres internes au

²¹ Par Michel-Roger Moreau.

spécimen). L'essai peut également être destructif dans le cas d'essais d'impact ou de perforation ou de balistique.

La vitesse peut atteindre 3 500 km/h et l'accélération linéaire 100 g. Les chocs et impacts peuvent être programmés et atteindre 50 000 g. D'où la nécessité d'un alignement et d'une planéité quasi parfaite des chemins de glissement pour créer cette accélération linéaire.

L'avantage majeur d'un essai sur rail est d'être parfaitement reproductible et d'un coût de mise en œuvre relativement modique. De plus, les essais sont réalisés en toute sécurité.

Dès les années 50, des pays comme les Etats-Unis, la Grande-Bretagne ou la Suède, se dotent de ce type d'installation.

A la fin de la décennie 1960, la France possédait quatre rails d'essais linéaires, tous construits par la branche armement de la Société qui s'appelait à l'époque Compagnie française Thomson-Hotchkiss Brandt (CFTH-HB).

Deux monorails existaient, l'un de 200 mètres (HB1), légèrement incliné réservé aux tirs balistiques, l'autre de 600 mètres (HB2) de moyenne capacité d'emport, convenant pour des essais avec récupération du matériel testé ou des essais d'impact. Les deux ont été installés au CEV de Cazaux pour le compte de la DTCN en 1958-59.

Les deux autres sont le birail de 400 mètres (R2) (figure 25) installé initialement à Colomb-Béchar, puis rapatrié au CEL en 1967 sans le concours du SECT, et le rail R1 étudié dès 1965 et installé au CEL en 1967 par le SECT dans sa version temporaire monorail sur 600 mètres, mais prévu dès l'origine pour être porté en birail à 4 000 mètres. Il s'agit là de deux rails de forte capacité d'emport et, pour R1, sa conception a permis d'obtenir un alignement des rails au 1/10 de millimètre afin de minimiser les vibrations parasites.

En fait, le profil du rail suit le rayon de courbure de la terre. La raison est de pouvoir ainsi remplacer le chariot freineur par un dispositif de freinage hydrodynamique, moins pénalisant pour le bilan propulsion en s'affranchissant du chariot freineur, et cela en montant une ou deux écopés sur le chariot porte spécimen pour prélever une infime pellicule d'eau contenue dans une ou deux rigoles jouxtant le rail dans la zone de freinage. Ce procédé très efficace, fonctionnant sur le principe d'échange de quantité de mouvement en projetant l'eau écopée en avant du véhicule, offre de plus l'avantage de pouvoir programmer la décélération en jouant sur l'épaisseur d'eau écopée. Cependant la mise en œuvre reste difficile et c'est la raison pour laquelle une solution de freinage par mousse (figure 26) fut envisagée et mise au point par la suite (voir ci-après).

Les responsables successifs de sa réalisation furent l'IPETA Claude Chapoulaud, parti dès 1966 au CEL pour devenir l'exploitant de ce nouveau moyen et du rail R2, puis conjointement l'IPA Gérard Moutier et l'ingénieur civil Michel Moreau jusqu'en 1971 et, par la suite, l'IPETA André Alexandre qui a vu le rail porté à 1 200 mètres en 1974, rail dont le SECT demandait l'extension en mai 1971 pour des raisons de nature des essais envisagés par les différentes directions clientes.

Pendant ce temps, les autres groupes techniques du SECT apportaient leur concours pour la réalisation des moyens de mesure et télémessures embarqués et

l'observation du comportement du chariot et du spécimen en essai par caméras à prises de vue rapides couvrant le champ d'expérimentation à la demande. Un système original et performant a été développé pour suivre l'évolution du chariot sur le rail procurant une grande souplesse d'utilisation. Il s'agit du système d'observation MARS, Miroir asservi au rail de simulation, ledit miroir restant toujours pointé sur le chariot en évolution grâce à l'asservissement et renvoyant l'image du spécimen dans l'objectif d'une caméra rapide fixe.

Un autre point dans ce domaine des mesures mérite d'être évoqué ici. Ce sont les mesures précises de la vitesse et de l'accélération. Le moyen adopté était de mettre en place, le long du rail, des jalons distants très précisément de trois mètres et de mesurer – là-aussi avec grande précision - le temps écoulé entre deux jalons. Il a fallu mettre au point, d'abord des systèmes coupe-fils élaborés puis des détecteurs de passage électroniques (photomultiplicateurs) encore plus précis. Connaissant le temps de parcours entre deux jalons, la vitesse et l'accélération pouvaient être déterminées par calcul en tous points du rail.

Revenons à la conception mécanique du rail. La modularité du rail R1 consistait en la possibilité de construire d'abord un monorail sur des berceaux métalliques distants de 3 mètres, conçus dès le départ pour recevoir par la suite un autre rail, ce qui, en phase finale, donne trois écartements possibles de voies : 410 mm, 600 mm (compatible avec la voie de R2) et 1 410 mm, cela en prévision de demandes futures de grande capacité d'emport. A la fois l'implantation au CEL dans un sol sableux et les fortes capacités demandées ont conduit à réaliser une poutre support en béton imposante, fortement ferrillée et à prévoir des scellements des berceaux avec des bétons sans retrait pour atteindre la précision d'alignement prescrite obtenue avec des systèmes mécaniques de réglage sophistiqués et contrôlée avec les moyens géodésiques les plus performants de l'époque.

Les sociétés Deshors de Malemort près de Brive et Hotchkiss en région parisienne ont réalisé la mécanique en sous-traitance de CFTH-HB. Le SIAR (Service de la surveillance industrielle de l'armement) a prêté son concours pour la surveillance des fabrications en usine.

Le SECT, de par sa vocation d'ingénierie, à la demande et avec l'appui de la DRME, a parallèlement recherché des conceptions de rails plus économiques tant à la construction qu'à l'exploitation. C'est ainsi que trois voies ont été explorées :

- réduire le coût d'acquisition d'un rail à performances égales ou améliorées, ce qui était envisageable avec les études de la Société Bertin et Cie sur la sustentation sur coussins d'air (paliers fluides) (figure 27) qui permettaient de concevoir des coussins gazeux hautes performances. Un véhicule probatoire a été réalisé et essayé en octobre 1968, moyennant des aménagements sur le rail HB1 de Cazaux, et a atteint la vitesse record de 1 410 km/h avec une ambiance vibratoire améliorée à bord, grâce au filtrage apporté par les paliers fluides mis au point, qui ont parfaitement fonctionné. C'était un record du monde de vitesse pour un véhicule terrestre guidé et pour les paliers fluides. Un palier fluide a été essayé dans la continuité avec un montage adapté, sur le rail R1 fraîchement disponible, et a été qualifié à la vitesse de 2 200 km/h. Aucune suite n'a été donnée malgré les performances intéressantes ainsi confirmées ;

- réduire le coût d'un essai avec récupération, en remplaçant le chariot freineur lourd et très pénalisant dans la phase préalable d'accélération car faisant lui-même

partie de la masse à propulser en plus de la masse utile, par un freinage par mousse (mélange diphasique d'air et de liquide dosable en densité) donnant la possibilité de programmer la décélération à volonté et avec moins de difficultés que le freinage hydrodynamique décrit plus avant. Ce système a prouvé son efficacité et a été utilisé, créant ainsi une économie substantielle ;

- réduire le coût de propulsion en remplaçant le chariot pousseur par une série d'injecteurs linéaires poussant le chariot de mesures au fur et à mesure de sa progression, rendant là-aussi la propulsion programmable. Cette idée en est restée au stade expérimental car la mise en œuvre d'un tel système posait des problèmes de synchronisation des injecteurs.

2.14 - L'hydrodynamique

L'hydrodynamique navale a constitué pour le SECT et le CTME un sujet à épisodes. Le lecteur a sans doute noté qu'il en fut d'abord question du temps du SECT, puis que la question a resurgi du temps du CTME. Le sujet sort nettement du domaine de préoccupation du COMAERO, aussi évitera-t-on de s'y attarder. Il a pourtant été un élément important de charge de travail : on ne peut donc pas traiter du SECT et du CTME sans évoquer même brièvement le sujet.

La question peut se circonscrire sommairement en deux préoccupations : d'une part, le déplacement du « Bassin des carènes » et la création d'un « Centre de recherches et d'études en hydrodynamique navale » (CREHN), pour en reprendre les activités et, d'autre part, la réalisation d'un moyen d'étude et d'essai nouveau dont le besoin se faisait sentir, un « grand tunnel de cavitation ».

Le SECT fut pour la première fois saisi de la question lors d'une réunion à la DRME/SDME tenue le 22 janvier 1969 sous la présidence de Etienne Bastin. Il y était question d'une intention du Délégué Jean Blancard (lettre 11624/DMA/D) de déplacer le « Bassin des carènes », situé alors boulevard Victor à Paris (15^e), pour créer un nouvel établissement. A cet effet, un chargé de mission avait été désigné, Serge Bindel, qui était alors détaché à la DGRST (Délégation générale à la recherche scientifique et technique), et il était donc demandé à la DRME de lui apporter son concours. C'était alors le SECT qui était tout désigné pour cela.

Une part importante du projet était de prévoir pour le futur établissement un moyen très important qui n'aurait pu trouver place à Paris : un grand tunnel de cavitation. Mais, dans un premier temps, il était question d'un petit tunnel de cavitation qui devait être installé provisoirement à Paris.

La maîtrise d'ouvrage du projet devait revenir au Bassin des carènes, mais le maître d'œuvre était déjà choisi, en l'occurrence le SECT. Le lieu d'implantation resta un temps imprécis, et finalement la décision fut prise de choisir une implantation à Nantes, la DATAR (Délégation à l'aménagement du territoire et à l'action régionale) acceptant dans ce cas de participer financièrement à l'opération. Commencèrent alors des études pour définir les moyens futurs, et les besoins en financement, sous la conduite de Serge Bindel, avec un concours très apprécié de Max Aucher, mais avec une forte réticence de la direction du Bassin d'essais des carènes.

Les études durèrent jusqu'à environ 1975, menées par Serge Bindel, avec un concours très substantiel du SECT. Mais finalement l'opération fit long feu, pour des raisons qui n'ont pas à être évoquées ici, et le Délégué, sans renoncer explicitement

au projet, décida d'y surseoir *sine die*. Un point resta néanmoins admis, l'acquisition du petit tunnel de cavitation. Il revint au SECT de l'approvisionner et de l'installer boulevard Victor. Il lui était prescrit de réaliser cela - installations techniques, comme les hangars destinées à les abriter - de façon à pouvoir être démontés pour être installés ailleurs.

L'affaire devait resurgir au début des années 80. Il était alors question d'organiser à Paris une Exposition universelle, et le site choisi était une emprise qui précisément englobait le Bassin des carènes. Celui-ci devait alors prendre ses dispositions pour déguerpir promptement. Pour mener l'opération, le CTME fut désigné et un ingénieur de l'armement lui fut affecté spécifiquement à cet effet. Il s'agissait de Jacques Chéret. Celui-ci se mit au travail pour faire avancer rapidement la question en prenant en compte les besoins du futur établissement, entre autres le grand tunnel de cavitation, dont les études menées par la DTCN faisaient apparaître de plus en plus le besoin.

Et le projet d'Exposition universelle fut abandonné. Celui du nouveau CREHN perdit alors de son urgence, mais il ne fut pas laissé pour compte. Cela devait conduire à la création d'un nouvel établissement qui fut localisé, non plus à Nantes, mais à Val de Rueil, et dont le CTME eut à assumer la création (figure 28).

2.15 - Le CEAT et le SECT

Lorsque se posa la question de déplacer le Bassin d'essais des carènes de Paris à Nantes, on s'avisa qu'il existait à Toulouse, au CEAT²², une installation susceptible de servir pour des essais en hydrodynamique navale : il s'agissait du bassin de l'Hers (figure 28). Long de 1 200 mètres, abrité sous une levée de terre, il était relativement large (5 mètres). Sa section était de forme semi-circulaire, ce qui d'emblée excluait la possibilité d'y créer une houle. Son équipement consistait en une plate-forme roulant sur rails et propulsée par un moteur d'avion. Cette installation servait pour des essais d'aéronautique, mais était largement sous-employée. Ne pouvait-on pas l'utiliser pour des essais d'hydrodynamique ?

L'idée, combattue par certains au Bassin des carènes, finit par trouver un écho chez les hydrodynamiciens, comme Serge Bindel, Max Aucher, etc., qui estimèrent que ce bassin trouverait des utilisations en hydrodynamique rapide. Finalement le Délégué décida, en 1972, que l'on pouvait améliorer ce moyen d'essai. Le SECT en fut chargé, en liaison avec le CEAT. Le financement, estimé au départ à 13 millions de Francs fut pris en charge, à parts égales, par la DTCA et par la DRME au titre de sa mission « moyens d'essais ». Le plan de charge prévisible d'une installation modernisée était de 70% pour l'hydrodynamique et 30% pour l'aérodynamique, dont une part pour les applications en aviation civile. La DTCN se montrait prête le cas échéant à développer une instrumentation spécifique.

Le SECT établissait alors un projet, nonobstant les retards qui s'accumulaient dans l'affaire du déplacement du Bassin des carènes et la création d'un Centre d'études et de recherches en hydrodynamique navale. Ce projet consistait à reconsidérer la plate-forme d'expérience, sa propulsion et son appui sur les rails. A cela on prévoyait d'ajouter une télémessure. L'opération, amorcée par le SECT, fut menée à son terme par le CTME. La plate-forme de mesure fut complètement remaniée et optimisée après passage en soufflerie. Sa sustentation fut réalisée par

²² Voir le chapitre 2 de ce document.

des paliers fluides, conçus et fabriqués par la société Bertin, ce qui, outre les avantages sur la résistance à l'avancement, réduisait drastiquement les vibrations. La propulsion fut assurée par un moteur électrique linéaire de la Compagnie électromécanique (CEM). Une réception de télémessure fut aménagée en bout de tunnel, reliée radio-électriquement à un émetteur placé sur le chariot. La figure 29 montre les patins hydrauliques, qui sont visibles, mais non le moteur linéaire situé en partie haute, le stator linéaire étant fixé au plafond du tunnel sur toute sa longueur utile et la partie constituant le « rotor » intégrée en partie haute de la plate-forme au-dessus de la zone de fixation des maquettes.

ANNEXE : TEXTES OFFICIELS REGISSANT LE ROLE DE LA DRME EN CE QUI CONCERNE LES MOYENS D'ESSAIS

- *Journal officiel du 22 avril 1961, page 3816*

Décret n° 61-394 du 21 avril 1961 fixant l'organisation générale et les attributions de la direction des recherches et moyens d'essais.

Article 1 – La direction des recherches et moyens d'essais est chargée, dans les conditions prévues par l'article 1^{er} du décret 61-308 du 5 avril 1961 fixant les attributions du délégué ministériel pour l'armement :

.....
D'organiser et de coordonner l'utilisation des différents moyens d'essais à vocation interarmées.

.....
Le premier ministre, Michel Debré
Le ministre des armées, Pierre Messmer

- *BO/G de 1961, page 5511*

Arrêté du 07 août 1961 relatif à l'organisation et au fonctionnement de la DRME.

(Pour mémoire)

- *Journal officiel du 26 mai 1966, page 4237*

Décret du 20 mai 1966 modifiant le décret 61-394 du 21 avril 1961 fixant l'organisation générale et les attributions de la DRME.

Aucune mention sur les attributions en matière de moyens d'essais

- *BOC/SC du 27 juin 1966, page 419*

Arrêté du 26 mai 1966 relatif à l'organisation et aux attributions de la DRME.

(Pour mémoire)

- *Journal officiel du 13 février 1970, page 1595*

Décret n° 70-117 du 6 février 1970 fixant les attributions de la direction des recherches et moyens d'essais.

Article 1 – La direction des recherches et moyens d'essais est chargée sous l'autorité du délégué ministériel pour l'armement :

1° En matière de recherches intéressant la défense...

2° En matière de moyens d'essais intéressant la défense :

- d'en tenir l'inventaire ;
- d'élaborer les programmes généraux de moyens d'essais nécessaires pour la satisfaction des besoins des armées ;
- de coordonner le développement, la réalisation et l'utilisation de ceux de ces moyens à vocation générale et de gérer les centres d'essais visés à l'article 3 ;
- d'assurer la liaison avec les autres départements ministériels ; les services, établissements et organismes d'essais du secteur public ou privé et de susciter leur collaboration.

.....
Fait à Paris, le 6 février 1970,

Par le premier ministre, Jacques Chaban-Delmas

Le ministre d'Etat chargé de la défense nationale, Michel Debré

BIBLIOGRAPHIE

Pierre Fayolle (coordinateur), *Centres d'essais et d'évaluation*, ComHArT, tome 4, non daté.

Emile Arnaud (coordinateur), *Les missiles balistiques*, COMAERO, CHEAr, 2004 (spécialement 3^e partie par Dominique Chevallier).

Jean-Marc Weber (coordinateur), *Etudes et recherches*, COMAERO, CHEAr, 2008.

Philip Thirkel (coordinateur), *Les radars de Thales*, vol. 1, *Les radars de surface*, AICPRAT, 2003.

Harry L. Stiltz, *Aerospace Telemetry*, Prentice Hall, 1961 (contient les normes IRIG télémesure).

Nichols & Rauch, *Radiotelemetry* (le document de référence utilisé en 1960).

Premier congrès de champs de tir, 14-19 octobre 1963, *Actes techniques*, Document DRME/SDME (DR).

Mission d'information sur l'équipement de trajectographie optique du CIEES, rapport de janvier 1961, Centre d'archives de l'armement, inventaire 5F1-927, carton 125.

B. Golonka, *Les dispositifs de trajectographie radioélectrique choisis par le CIEES pour équiper le champ de tir balistique*, Rapport d'étude n°2, CIEES/Direction des études et développements, avril 1961, Centre d'archives de l'armement, inventaire 5F1-927, carton 247.

« Les DC7 AMOR », Revue de UTA *Les Echos*, n°80, avril 2006.

Revue *Le fan de l'aviation*, n°514, septembre 2012.

Revue du CEL *Coelacanthé*, numéro spécial 25^e anniversaire, 1962 (en particulier : articles de Pierre Fayolle, Jean Soissons, Maurice Natta, René Reymond).

"5, 4, 3, 2, 1, 0, feu", document CEL, 1976.

Max Lisbonis, avec la collaboration de Jean-Marie Blot, « La réalisation des DC7C AMOR », non publié.

Gérard Moutier, « Les rails d'essais du Centre d'essais des Landes », *Aéronautique et Astronautique*, n°24, 1970.

Candau-Thil, Conférence devant les ingénieurs civils de France le 3 décembre 1970 (pour confirmer l'origine LRBA de l'Aquitaine).

Philippe Martelli, « Le CTME », Revue *L'Armement*, NS, n°19, page 21.

Charpentier, « Tremail ou la trajectographie sous-marine », *L'Armement*, NS, n°31, page 93.

Philippe Martelli, « Bicentenaire du LCA », *Revue scientifique et technique de la défense (RSTD)*, 1994.

M. Cantagrel, « Le CTME et les moyens de mesure et d'essais sous-marins », *L'Armement*, NS, n°2, mars 1986, page 129.

REMERCIEMENTS

Je remercie pour leur collaboration Patrick Anglade qui a fourni la quasi-totalité de ce qui concerne les télémesures ; Lyonel Gouédard qui m'a fourni le cadre de ce qui s'est passé après l'absorption du SECT au sein de l'ETCA ; Claude Roux, pour sa contribution sur les questions d'optique ; Jean Rozmarin pour ses souvenirs concernant le TREMAIL ; Michel Moreau, pour sa contribution sur Florès et les souvenirs de son beau-père, Pierre Fayolle ; Jean-Marie Blot et Max Lisbonis, pour m'avoir permis d'exploiter leur document sur les AMOR ; et aussi Philippe Martelli, Henri Cardot, Jacques Chéret, et tous ceux qui ont bien voulu répondre à mes appels téléphoniques ou à mes courriels.



Fig 1
Hammaguir 1964
Mise en place du réflecteur de l'antenne de réception des télémesures Cyclope 1

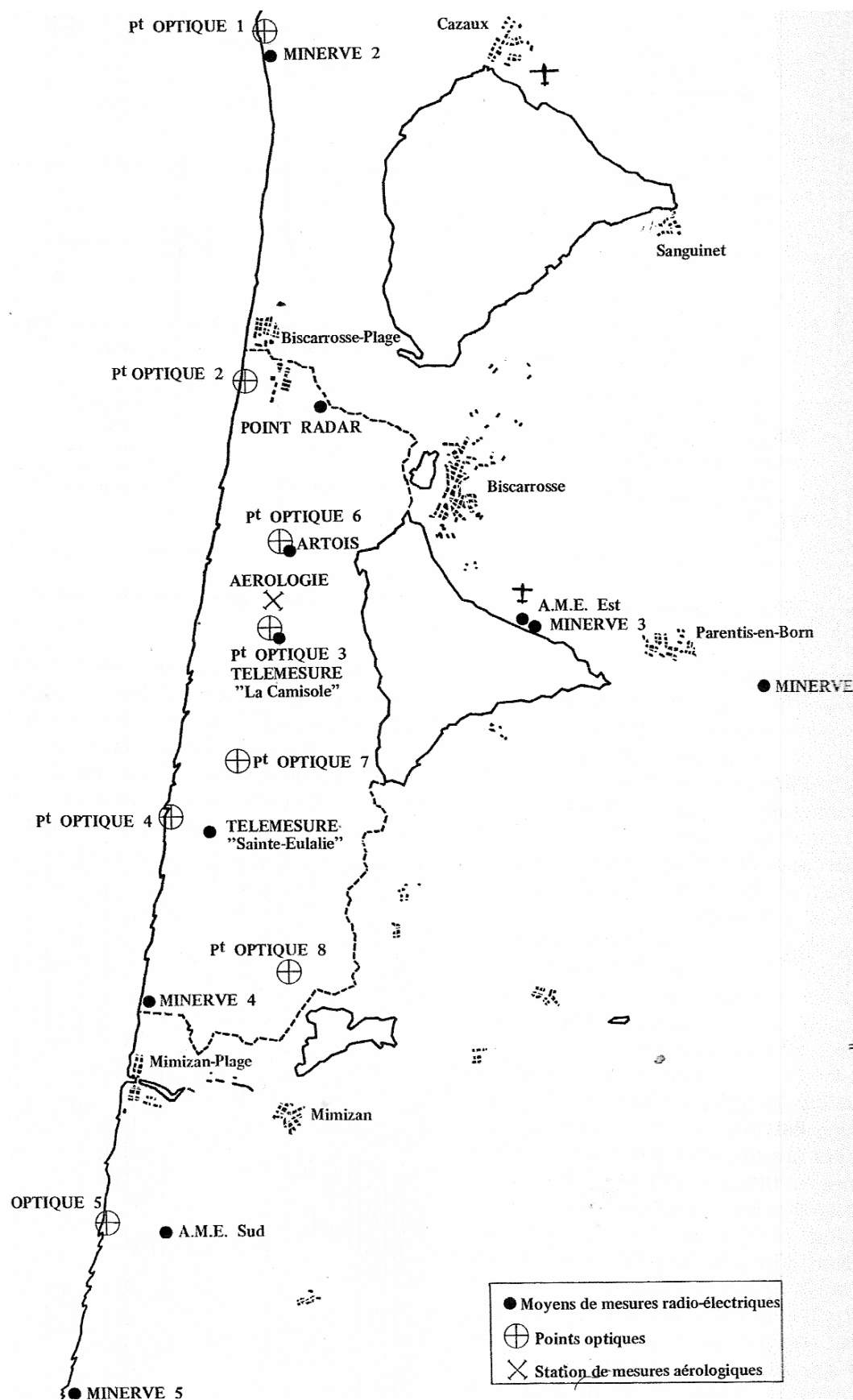


Fig 2

CEL - Déploiement des installations techniques en 1977



Fig. 3

Opération Hortensia

Le chaland quitte Santa Cruz, le port de Florès, pour aller prendre un nouveau chargement à bord du *Jacques Bingen*, mouillé au large

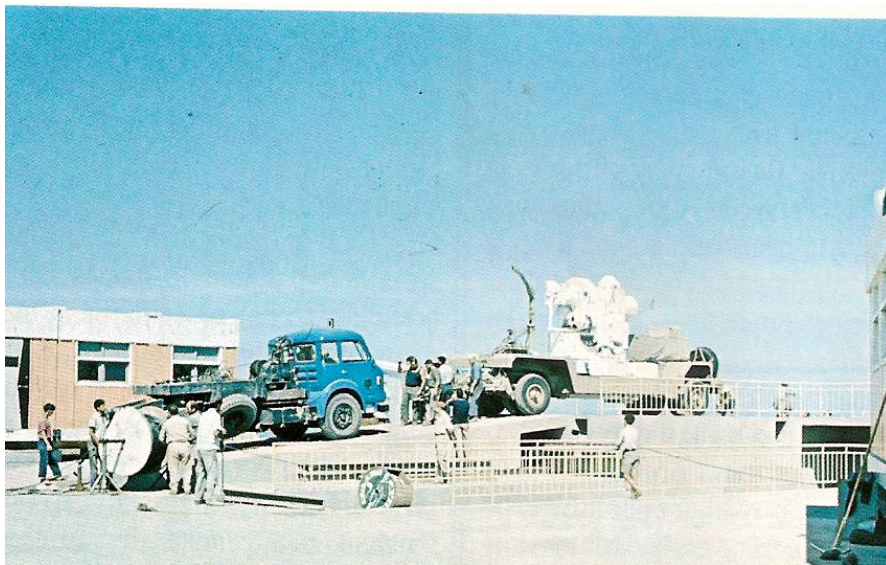


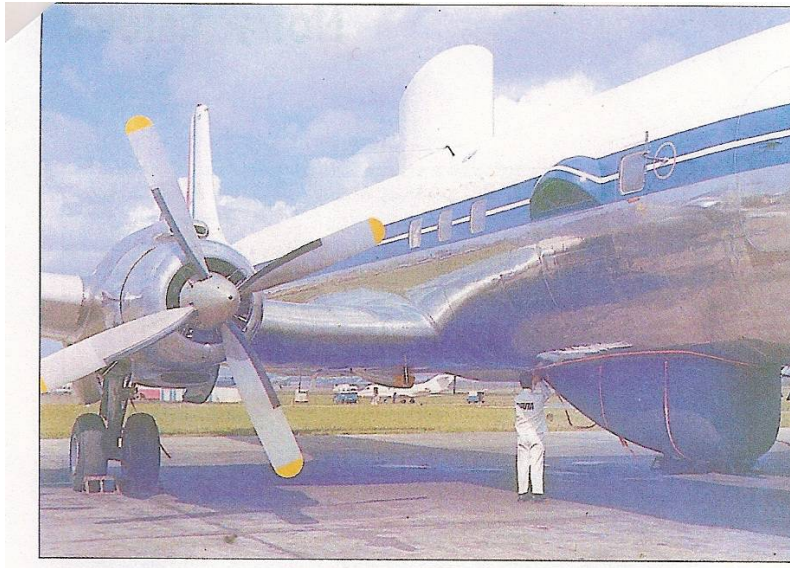
Fig. 4

Opération Hortensia

Mise en place de la tourelle Aquitaine

NB - Une photo d'ensemble de l'annexe de Florès se trouve au chapitre 7 (CEL), figure 3

Antenne télémétre



Blister

Radar panoramique

Fig. 5

Un DC7 AMOR

Photo faisant apparaître le radôme dorsal (télémétre), un des quatre « blisters », et le radôme ventral (radar panoramique)
[Photo tirée de la Revue UTA L'Echo, N°80, avril 2006]

P

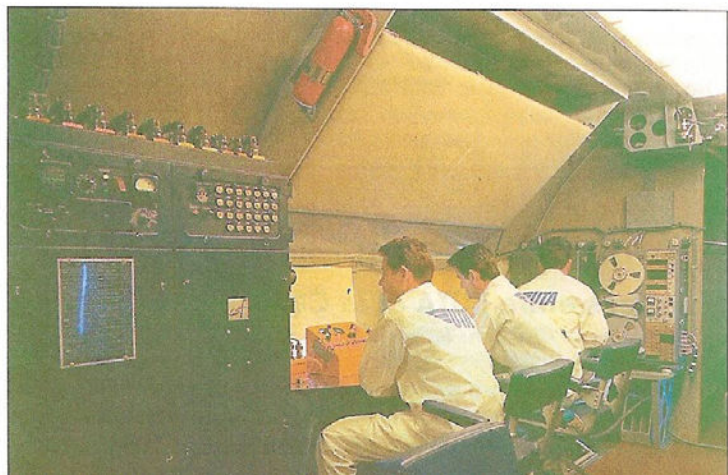


Fig. 6

A bord d'un AMOR

Les postes opérateurs télémétre

[Photo tirée de la Revue UTA L'Echo, N°80, avril 2006]

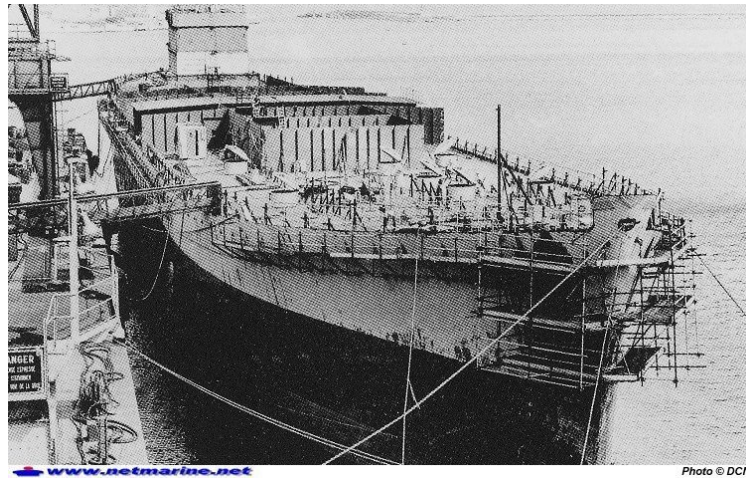


Fig. 7

L'ex-pétrolier italien *Maina Morasso* en cours de restructuration du compartimentage à la DCN Brest (1965).

Il deviendra le bâtiment d'essais et de mesures *Henri Poincaré*



Fig. 8

Le BEM *Henri Poincaré* (BEMHP)

Dans sa réalisation d'origine, il n'avait alors qu'un seul radar Béarn.
Le navire est peint en blanc ; le GROUPEM le fera peindre en gris
comme tous les bâtiments de la Marine nationale

Fig. 9
Radar
Aquitaine

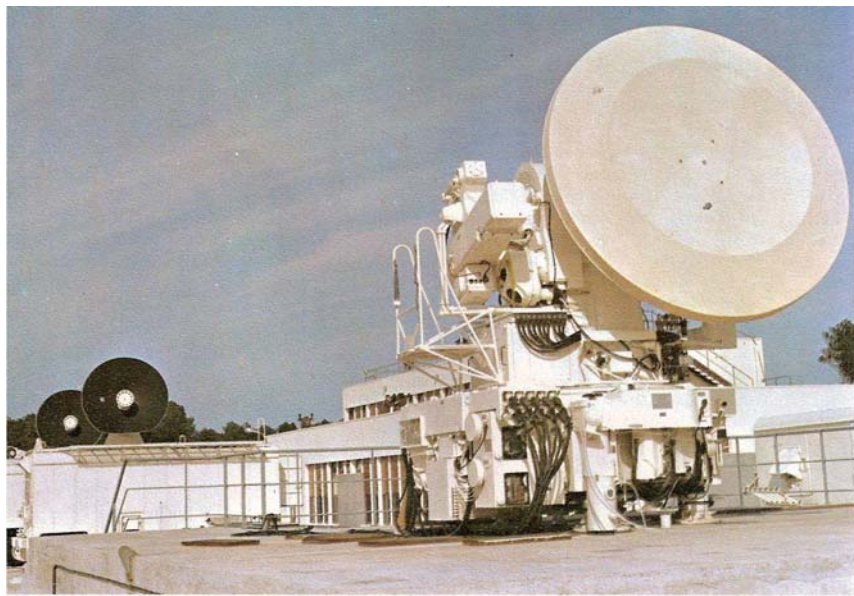


Fig. 10
Radar Béarn

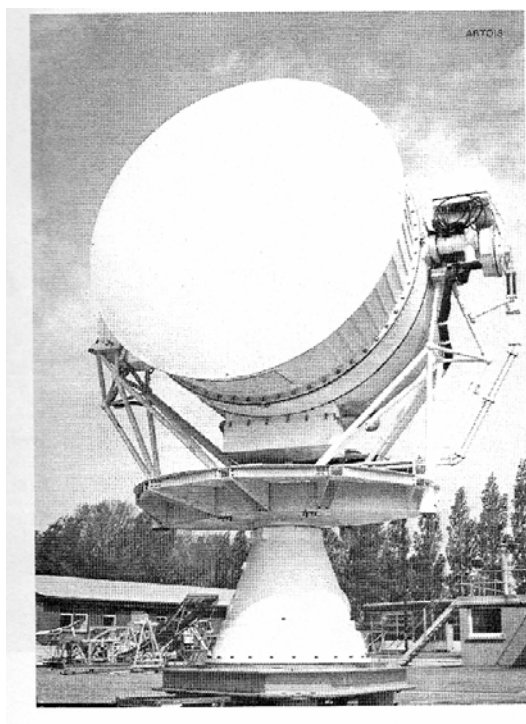


Fig. 11
Radar Artois

Fig. 12
Radar Savoie

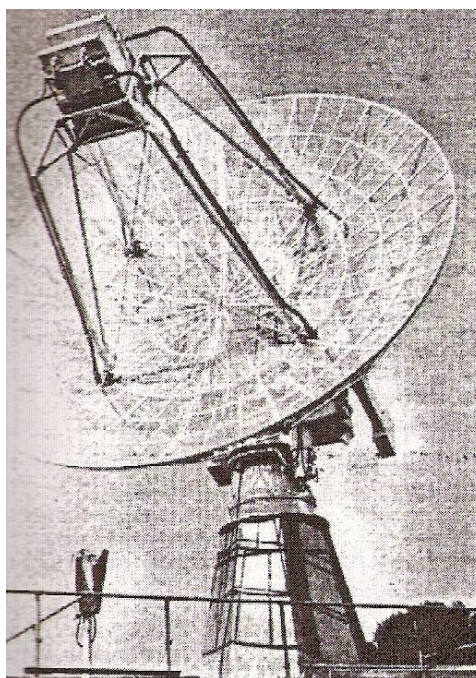


Fig. 13
Champ d'antennes AME de
Mimizan





Fig. 14
Antenne Antarès 10 de l'annexe de Quimper



Fig. 15
Antenne de télémesure
Télémaque



Fig. 16
Le phare désaffecté d'Houert
à Hourtin
A son sommet, des antennes Antarès.
A l'origine, il était coiffé par une antenne
Télémaque.

Fig. 17
Cinéthéodolite Contravès

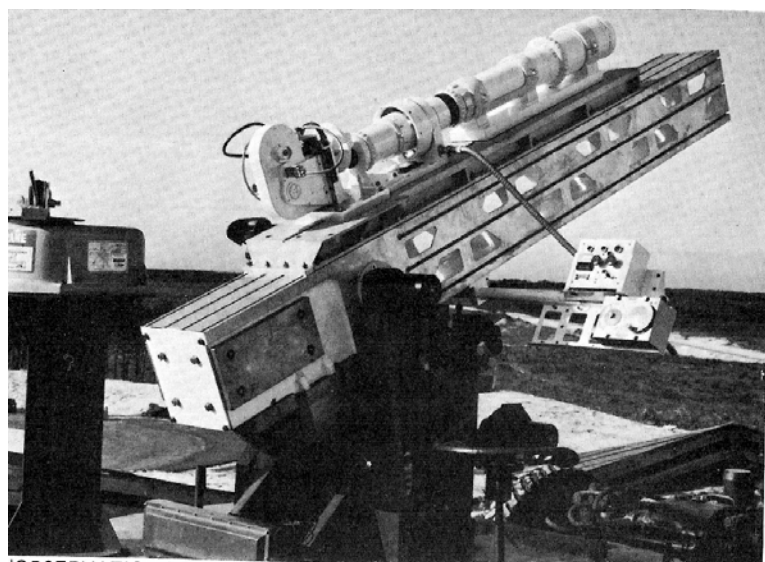
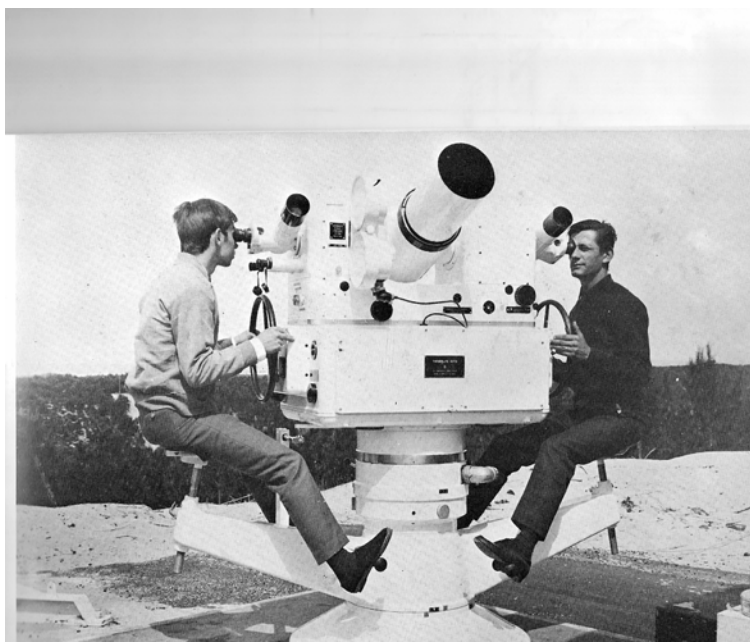
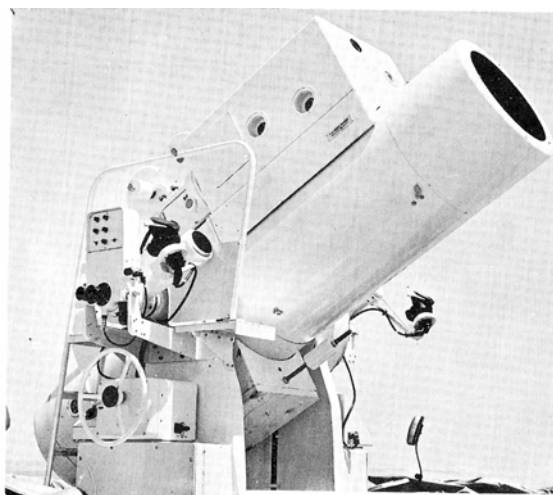


Fig. 18
Caméra de poursuite

Fig. 19
Ciné télescope IGOR



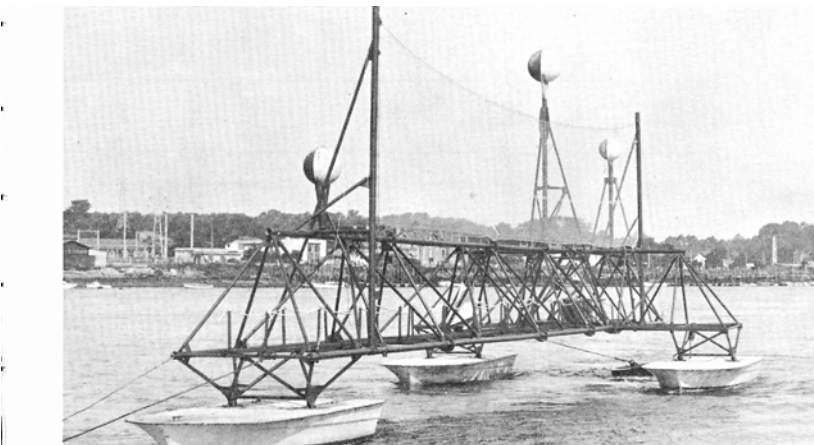


Fig. 20
Cible marine 54321



Fig. 21
Vedette télécommandée
Aliénor

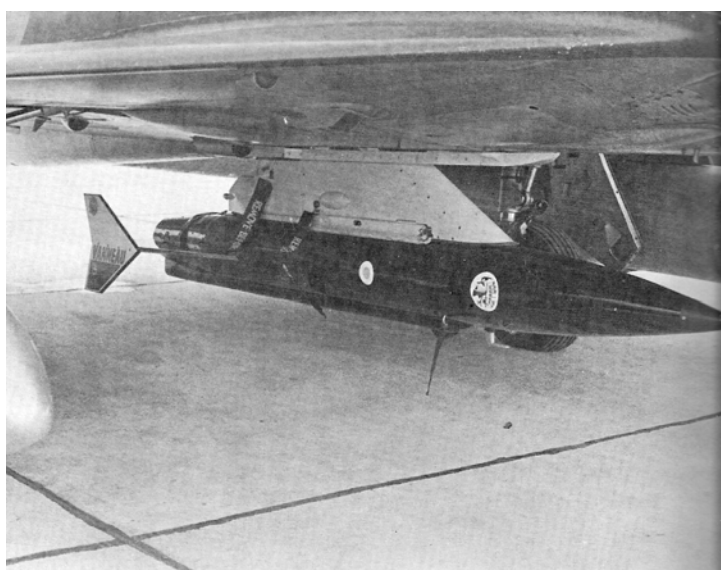


Fig. 22
Cible Vanneau sous avion

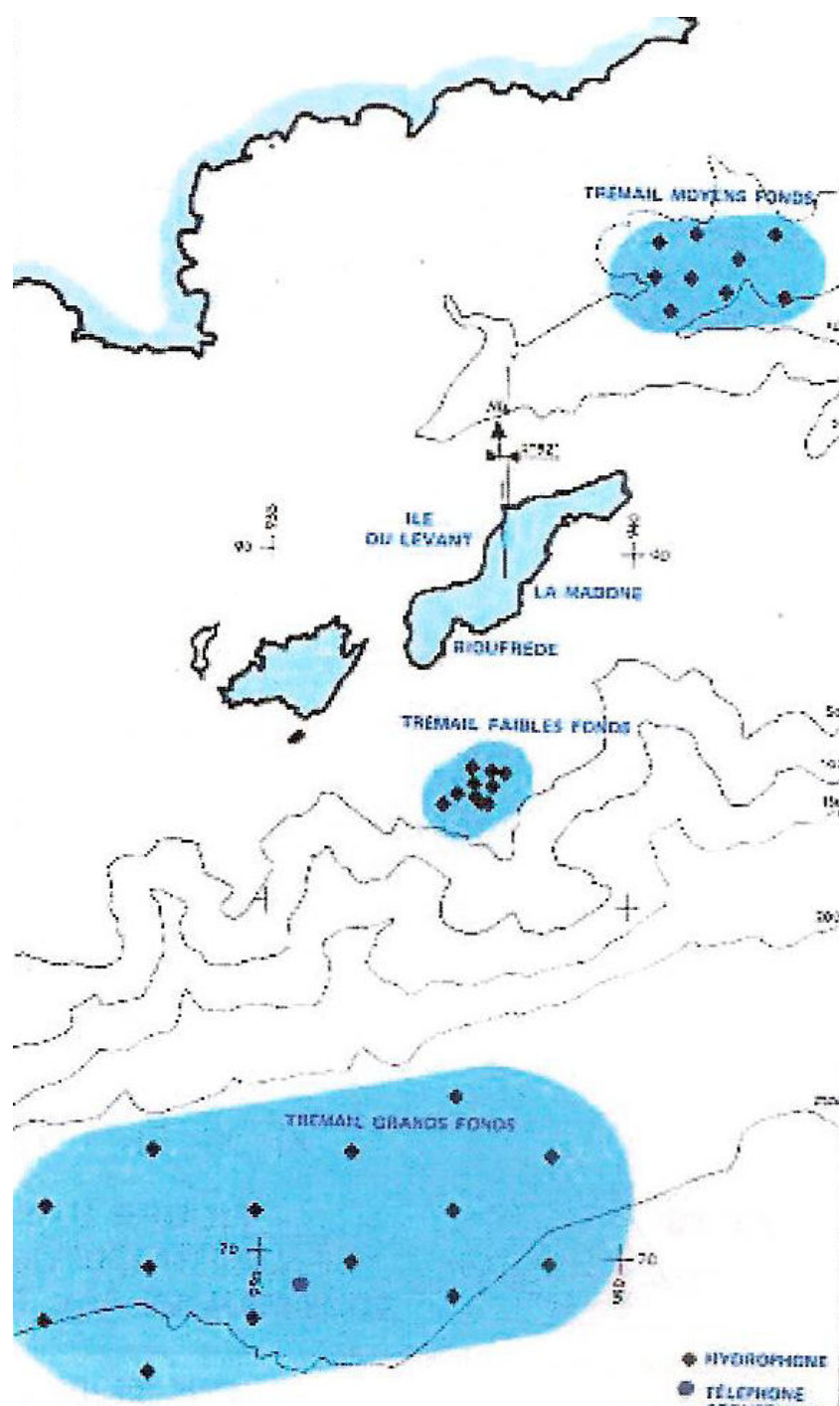


Fig. 23
Polygones TREMAIL



Fig. 24
Rail d'essais dynamiques

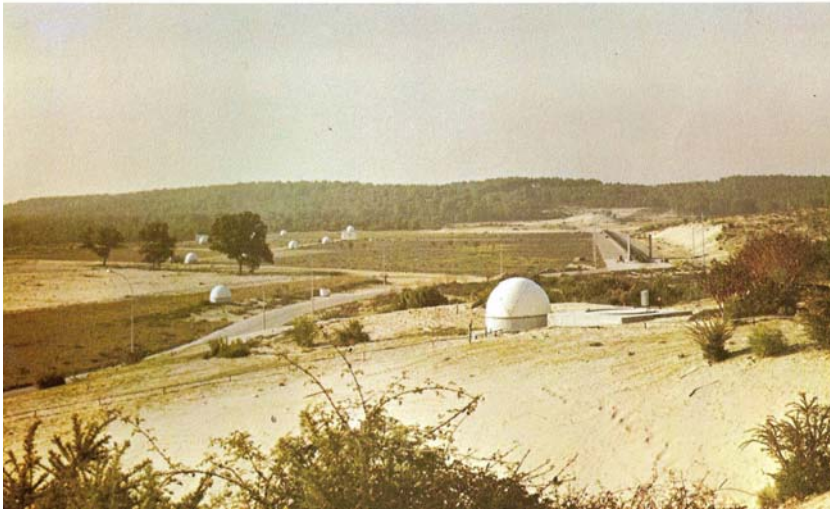


Fig. 25
Le rail R2, long de
400 m et le champ de
caméras



Fig. 26
Freinage mousse d'un
véhicule de 100 kg à 450 m/s



Fig. 27
Véhicule sur coussin d'air



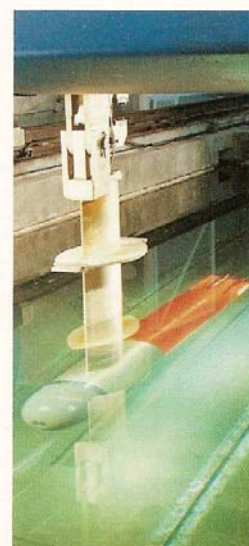
Fig. 28

Grand tunnel de cavitation du bassin d'essais des carènes à Val de Rueil



Fig. 29

Tunnel de l'Hers au CEAT



*Hydrodynamique
rapide*

Un demi siècle d'aéronautique en France

Pendant la seconde moitié du XXe siècle, l'aéronautique française a vécu une aventure passionnante. Réduite à peu de chose au lendemain de la guerre, il lui fallait se reconstruire et se réorganiser. C'est ce qu'elle a fait avec brio, en se retrouvant en quelques décennies à l'égal des meilleures. Elle est ainsi devenue capable de satisfaire la plupart des besoins de l'armée française et de prendre une place majeure dans le maintien en conditions opérationnelles des flottes militaires de toutes origines. Cette réussite est due à des facteurs techniques, industriels, financiers et politiques, et notamment à une collaboration originale entre l'industrie, les services officiels et les établissements d'état, fournisseurs, prestataires de service et clients étant mus par un même désir de renaissance, puis de succès. C'est cette histoire que la présente collection veut retracer. Ses rédacteurs, souvent ingénieurs de l'Air, anciens directeurs de programme, d'établissements ou chefs de service, se sont regroupés au sein du Comité pour l'histoire de l'aéronautique (COMAERO) pour animer le travail de mémoire collectif, complété par l'exploitation des archives. Leur travail se veut un témoignage de l'œuvre accomplie en un demi-siècle d'aéronautique et une invitation, pour les historiens, à se pencher sur elle.

Centres et moyens d'essais

Au lendemain de la deuxième guerre mondiale, la création du Centre d'essais en vol (CEV), du Centre d'essais des moteurs et hélices et de l'Établissement aéronautique de Toulouse - devenus plus tard le Centre d'essais des propulseurs (CEPr) et le Centre d'essais aéronautique de Toulouse (CEAT) - a permis à la Direction technique et industrielle de l'aéronautique de reconstituer son potentiel d'essais et de mise au point d'aéronefs. Ces centres, associés aux laboratoires des services de la direction technique, ainsi que l'Office national d'études et de recherches aéronautiques (ONERA) créé en 1946, ont contribué par leurs compétences et leurs moyens d'essais à la renaissance de l'industrie aéronautique française et à son essor.

Créé en 1946 sous l'égide de la Direction des études et fabrications d'armement, le Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques (LRBA) constitue le premier maillon des moyens consacrés au développement de missiles. D'autres établissements liés à cette activité sont ensuite créés comme le Centre d'achèvement et d'essais des propulseurs et engins (CAEPE), le Centre d'essais des Landes (CEL) et le Centre d'essais de la Méditerranée (CEM). Le Service des équipements de champs de tir (SECT) a lancé les études et les réalisations des grands moyens d'essais du CEL et du CEM. Le Centre d'Etudes de Gramat (CEG), créé en 1947 pour les essais de missiles, s'est consacré depuis 1955 aux recherches et expérimentations en détonique.

La part de plus en plus importante prise par l'électronique et l'informatique dans les systèmes d'armes conduit à la création du Centre d'électronique de l'armement (CELAr) en 1964.

Tous ces établissements ont joué dans les programmes aéronautiques et de missiles un rôle éminent qu'il convenait de relater.

Tel est l'objet du présent ouvrage, qui retrace l'évolution de leurs moyens, de leurs missions et leur adaptation à l'évolution de leur environnement jusqu'au regroupement des moyens de la DGA au sein de la Direction des centres d'expertise et d'essais (DCE) en 1997.

Les auteurs

Autour de Jean-Pierre Marec, coordinateur de l'ensemble de l'ouvrage et rédacteur du chapitre ONERA, le groupe de travail est constitué de Jean-Luc Monlibert (Introduction et documentation), Marcel Bénichou (CEV), Robert Finance (CEAT), Bruno Debout (CEPr), Joseph Goursolle et Franco-Renso Bonan (CAP), Michel de Launet (CIEES et SECT), Michel Lecomte (CEL), Claude Etienne, Jean-Baptiste Dard et Maurice Natta (CEM), Roger Peuron (CAEPE), Bernard Laurent (LRBA), Jean Crosnier et Lucien Vayssié (CEG), Jean-Paul Gillyboeuf (CELAr), Marcel Cado (SOPEMEA). La coordination a été facilitée par l'aide efficace de Michel de Launet et de Jean Carpentier, avec le concours initial éclairé de Roger Guénod.