

Comité pour l'Histoire de l'Armement Terrestre

période 1945 - 1975

Tome 3

Volume 3.1

CENTRES DE RECHERCHE
LE LABORATOIRE CENTRAL DE L'ARMEMENT

Par l' Ingénieur Général de l'Armement CAVÉ



NOTE GENERALE D'INTRODUCTION

Au milieu des années 80, quelques personnalités du monde industriel, ayant contribué par leur créativité au renouveau de l'armement en France à partir de 1945, exprimaient leur intérêt pour la rédaction de l'histoire de ce renouveau et en faisaient part au Délégué Général pour l'Armement.

L'aboutissement des réflexions sur ce sujet fut la décision du 26 mai 1986 du Délégué Général pour l'Armement de créer un comité pour :

" L'Histoire de l'Armement Terrestre dans la période 1945-1975 "

La présidence de ce comité m'était confiée avec pour tâche initiale d'en déterminer la composition de manière à disposer des compétences nécessaires pour traiter dans les meilleures conditions l'ensemble des thèmes du plan de travail envisagé.

Ces thèmes, qui constituent la trame de rédaction de l'histoire de l'Armement Terrestre, se répartissent en deux familles :

- ceux regroupés sous l'appellation "aspects généraux" traitant d'une part du rôle de l'Etat-major de l'Armée de Terre dans l'élaboration des programmes d'armement, d'autre part du rôle de la DEFA (puis DTAT), des problèmes d'organisation et de moyens, des centres de recherches, d'essais et d'évaluation, ainsi que des relations internationales, lesquelles se sont développées sous plusieurs formes après la Libération,

- ceux relatifs à l'équipement de l'Armée de Terre, traitant, après un rappel de la situation en 1945, des systèmes et matériels classés par finalité d'emploi, des équipements à utilisation diversifiée, et même de constituants - c'est le cas des poudres et explosifs - qui ont une incidence primordiale sur l'évolution des caractéristiques techniques et opérationnelles des armes et systèmes d'arme, quel que soit le milieu d'utilisation (Air, Mer, Terre).

Le traitement de chacun de ces thèmes a été confié à un des membres du comité, officier général pour les thèmes où l'Armée de Terre est directement impliquée, ingénieurs généraux de l'Armement et personnalités civiles éminentes de l'industrie d'armement pour les autres thèmes, chaque responsable disposant d'une totale autonomie pour constituer sa propre équipe de travail.

Chaque document - ouvrage ou article - a son propre style d'écriture, reflet de la personnalité de son rédacteur, mais, sur le fond, les différents documents ont des affinités qui tiennent aux recommandations faites dès le lancement des travaux :

- pour tous les thèmes, la genèse des affaires et les objectifs fixés, les idées créatrices, les initiatives prises, les résultats atteints doivent être mis en relief, lorsque cela est encore possible, les témoignages des personnalités ayant assumé des responsabilités importantes durant la période considérée seront recherchés et des fiches biographiques seront établies pour des personnalités de haut rang ayant agi de manière déterminante au cours de leur carrière.

- pour les thèmes de la deuxième famille (systèmes, matériels, équipements...) la présentation doit être à dominante technique; on traitera non seulement des opérations programmées, que ces actions aient été menées à leur terme (adoption et production) ou stoppées (analyse des échecs) mais également des actions engagées à l'initiative de la Direction Technique dans cette période 1945-1975, dont certaines furent des réussites au plan national. On mentionnera également les initiatives prises concernant des adaptations d'équipements français à des matériels étrangers en vue de l'exportation.

Des disparités dans l'état d'avancement des documents ont conduit le comité à prévoir une diffusion par thème. Un ouvrage a été diffusé : il s'agit de celui relatif au thème "Propulsion - Détonation Pyrotechnie" dont l'IGA (CR) TOCHE avait la responsabilité ; comme il a été mentionné précédemment, cet ouvrage rédigé dans le cadre des activités du comité a un intérêt historique qui s'étend au delà du seul domaine de l'armement terrestre, et la diffusion en a été assurée par la Société Nationale des Poudres et Explosifs.

Au moment où va s'engager la diffusion des ouvrages et articles relatifs aux autres thèmes, j'adresse mes remerciements :

- aux membres du comité et aux équipes de rédaction qui ont participé bénévolement à ce travail, avec une pensée particulière pour les membres du comité qui nous ont quittés, le Général de Corps d'Armée GROSSEGEORGE, les Ingénieurs Généraux de l'Armement DEFRANCE, DERAMOND, COLLET-BILLON.

- aux organismes successifs qui ont assuré le soutien matériel du comité, à savoir le Centre des Hautes études de l'Armement avec la participation de la Direction Technique des Armements Terrestres, puis la Direction des Systèmes Terrestres et de l'Information depuis le printemps 1995,

- aux directeurs du Centre d'Archives de l'Armement de CHATELLERAULT, NICETA FURGET puis NICETA LACHEREZ, qui ont manifesté leur intérêt pour les travaux du comité en prenant des dispositions particulières pour faciliter la consultation des archives, et, récemment, en proposant au comité le soutien matériel du CAA pour l'édition et la diffusion des ouvrages et articles de l'Histoire de l'Armement Terrestre.

Saint-Cloud, décembre 1996
Le Président du Comité IGA MAREST



ANNEXE

LISTE DES PERSONNALITES AYANT PARTICIPE AUX TRAVAUX DU COMITE POUR L'HISTOIRE DE L'ARMEMENT TERRESTRE EN FIN DECEMBRE 1996.

(par ordre alphabétique).

IGA (2ème section) Assens
IGA (2ème section) Bienvenu
IGA (2ème section) Bodin
IGA (2ème section) Bongrain
IGA (2ème section) Bonnet
IGA (2ème section) Brindeau
IGA (2ème section) Cavé
IGA (2ème section) Dufour
IGA (2ème section) Fayoille
IGA (2ème section) Givaudon
IGA (2ème section) Lesavre
IGA (2ème section) Maresf
Général (2ème section) Petkovsek
Monsieur Précoul
IGA (2ème section) Ricaud
IGA (2ème section) Robineau
Monsieur Stauff
IGA (2ème section) Toche

COMITE POUR L'HISTOIRE DE L'ARMEMENT TERRESTRE

Plan général d'édition des travaux.

Première partie : Aspects généraux

- Tome 1 « Rôle de l'Etat-major de l'Armée de Terre dans l'élaboration et la réalisation des programmes d'armement » suivi de
« Equipements de l'Armée de Terre en 1945 » par le Général Petkovsek
- Tome 2 « Organisation et moyens » par l'ingénieur Général Dufour (+)
- Tome 3 « Centres de Recherches » en deux volumes
Volume 3.1 « Le Laboratoire Central de l'Armement » par l'ingénieur Général Cavé
Volume 3.2 « Les autres centres de recherches » par l'ingénieur Général Fayolle.
- Tome 4 « Centres d'Essais et d'Evaluation » par l'ingénieur Général Fayolle.
- Tome 5 « Relations Internationales » par l'ingénieur Général Robineau.

Deuxième partie : Aspects techniques

- Tome 6 « Véhicules blindés et tactiques » par l'ingénieur Général Bodin.
- Tome 7 « Matériel du Génie » par l'ingénieur Général Brindeau, puis l'ingénieur Général Mallet.
- Tome 8 « Armement de petit et moyen calibre » par l'ingénieur Général Lesavre.
- Tome 9 « Armements de gros calibre » par l'ingénieur Général Marest (+).
- Tome 10 « Armements antichars » par Monsieur Stauff.
- Tome 11 « Armements sol-air » par l'ingénieur Général Collet-Billon (+) puis l'ingénieur Général Bienvenu.
- Tome 12 « Détection, télécommunications, guerre électronique, systèmes informatique » par l'ingénieur Général Assens.
- Tome 13 « Premiers travaux sur l'arme nucléaire » par l'ingénieur Général Bonnet.
- Tome 14 « Défense NBC » par l'ingénieur Général Ricaud.

Cette deuxième partie comprend en outre deux ouvrages :

- un ouvrage édité à part intitulé « Propulsion, détonation, pyrotechnie » par l'ingénieur Général Toche,
- un ouvrage conservé en archives relatif à l'« Optique militaire » par l'ingénieur Général Deramond (+) puis l'ingénieur Général Givaudon.

NOTE DE PRESENTATION

Lors de sa création en 1935, la DFA reçut les moyens nécessaires à l'exécution de sa mission par transfert, entre autres, des moyens d'expérimentation - Commissions d'expériences - de la Direction de l'Artillerie et de l'Atelier de Précision de la Section Technique de l'Artillerie.

Les trois commissions deviennent à la DFA des Etablissements d'Expériences techniques: établissement d'expériences techniques de BOURGES (ETBS) de TOULON (ETTN) de VERSAILLES (ETVS).

L'Atelier de Précision devient l'Etablissement Central des Fabrications d'Armement puis le Laboratoire Central de l'Armement (LCA).

Dès la Libération en 1944, la DEFA, elle-même reconstituée, recouvrait ses établissements et les remettait en activité dans les domaines qui étaient les leurs et sur les lieux qu'ils occupaient antérieurement. Fortement endommagés, ils eurent tout d'abord à recréer la totalité de leurs moyens aussi bien immobiliers qu'expérimentaux. Par contre, le LCA, replié en Tarn-et-Garonne pendant toute la durée des hostilités, avait pu poursuivre une importante activité, la diversifier et accroître ses moyens. Il se réinstalla provisoirement dans ses anciens locaux Place Saint-Thomas d'Aquin à Paris en 1945 et définitivement en 1954 au Fort de Montrouge à Arcueil. Bien structuré et encadré, il put servir de support aux services nouveaux qui se créaient tels que le Laboratoire de Recherches de Saint-Louis (LRSL), le Centre de Recherches de Gramat, l'Ecole Nationale Supérieure de l'Armement...

Furent ensuite créés successivement de nouveaux centres d'essais ou de recherches pour répondre aux besoins nés des missions nouvelles incombant à la DEFA ou résultant de circonstances particulières comme ce fut le cas du LRSL.

- 1945** Le Laboratoire de Recherches de Saint-Louis (LRSL) résultant de la transplantation en France de l'Institut de Balistique de la Luftkriegsakademie de Berlin-Gatow replié en zone française d'occupation à Biberach dans le Wurtemberg. Transformé en Institut franco-allemand en 1959 (IISL) il passera sous la tutelle de la Direction des Recherches et Moyens d'Essais (DRME) peu après la création de cette direction en 1962.
- 1946** L'Etablissement d'Expériences Techniques d'Angers (ETAS) sur le terrain des Gaubourgs, à proximité de l'Ecole d'Application du Génie, pour effectuer l'expérimentation et l'évaluation des matériels de Génie Civil, suite au transfert à la DEFA du Service d'Etudes des Matériels du Génie précédemment rattaché à la Direction de cette arme.
- 1946** Le Laboratoire de Recherches Balistiques et Aérodynamiques de Vernon (LRBA), afin de développer les recherches et études concernant les armes nouvelles engins et roquettes autopropulsés et guidés. Le LRBA fut rattaché à la Direction Technique des Engins en 1967.

- 1947** Le Centre d'Essais de GRAMAT (CEG). La DEFA fait l'acquisition d'un terrain de 250 hectares dans la région de GRAMAT en prévision d'essais futurs au point fixe d'engins balistiques. Cette destination première ne fut pas retenue et le développement du Centre fut orienté vers des recherches de détonique applicables à l'atome puis à l'armement conventionnel. Le CEG rattaché au LCA fut transféré à la Direction des Recherches Etudes et Techniques (DRET) en 1977.
- 1948** La DEFA reçoit le Service Etudes et Fabrications des Télécommunications (SEFT) en provenance de la Direction des Transmissions. Les divers éléments de cette direction sont rassemblés au Fort-d'Issy. Son département Essais regroupait les moyens d'essais communs à l'ensemble des matériels des télécommunications. Compte tenu de l'importance et de l'étendue de sa mission, il a été inclus dans le cadre de la rubrique "Centre d'essais et d'évaluation" au même titre que les autres établissements d'essais. Le département Essais fut progressivement transféré au CELAR à Bruz au début des années 1970¹
- 1950** La DEFA, déjà organisée pour prendre en charge les questions relatives à la définition et à la production des matériels pour l'équipement du combattant parachutiste, crée un Centre d'Expériences de ces matériels (le CAP) rattaché administrativement à l'Atelier de Fabrication de Toulouse avec une zone de parachutage à Fonscibes dans les environs de Toulouse.
- 1956** L'ETVS devient l'ETAG, Etablissement d'Expérimentation des Auto propulsés Guidés. Une partie de son activité concernant l'armement de petit calibre est reportée sur l'ETBS. L'ETAG lui-même fut supprimé en 1964 et ses missions transférées au LRBA, au LCA ou à l'ISL.
- 1957** L'importance croissante des essais en vol des engins auto propulsés (PARCA, HAWK...) conduisit à la création à Colomb-Bechar d'une structure permanente, base avancée de soutien, constituée en établissement autonome de la DEFA, dans le cadre de l'instruction ministérielle régissant l'organisation et le fonctionnement du Centre Interarmées d'Essais d'Engins Spéciaux (CIEES). La déflation des activités sur le site de Colomb-Bechar aboutit, pour la Sous-Direction Technique Terre (SDTT), à sa fermeture en 1965.
- 1960** Devant l'ampleur et l'urgence des travaux d'édification et d'équipement du champ de tir saharien, à grande portée pour satisfaire aux besoins d'essais des engins du programme balistique, il fut confié à la DEFA le soin d'organiser un service autonome par rapport au CIEES chargé de la direction et de la responsabilité de la réalisation de ces travaux. Ce fut le Service d'Equipement des Champs de Tir (SECT) qui fut implanté au Fort de Montrouge pour bénéficier du support du LCA. Le SECT fut transféré à la DRME en 1962, lorsque cette direction devint opérationnelle.

¹: La SEFT est restée attachée à la DTAT.

Ainsi, jusqu'en 1959-1962, le DEFA disposait de quatre établissements de recherches et d'études (LCA - LRBA - LRSL - CEG) et huit établissements d'essais et d'évaluation. Sur le plan technique, ces établissements relevaient très directement des divers départements du Service technique concernés par la nature de leurs activités et apportaient pour une part, leur concours au développement des études.

Aux divers transferts ou suppressions ci-dessus mentionnés, il faut ajouter le transfert du LCA (devenu ECA puis ETCA) à la DRET en juin 1977 et la transformation de l'ETTN d'établissement autonome en antenne de la DTAT auprès du Centre d'Essais de la Méditerranée (relevant de l'autorité de la DRME).

La DAT disposait en 1987 de trois centres d'essais et d'évaluation, l'ETBS, l'ETAS et le CAP qui remplissent également les fonctions de centres techniques dotés de moyens d'essais, puissants, modernes et d'un personnel hautement qualifié, en tout 880 personnes dont 4 ingénieurs de l'Armement, 15 ingénieurs des Travaux d'Armement et d'une centaine de cadres civils et techniciens.

Les monographies des différents centres objet des volumes 3.1 et 3.2 ont été établies par des Ingénieurs Généraux (CR), réunis en un groupe de rédaction, ayant vécu, pour la plupart, une partie importante de leur carrière dans les établissements concernés.

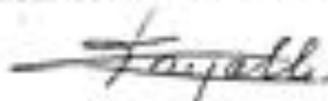
Un canevas commun de présentation comporte les rubriques suivantes :

- historique ou origines - mission
- le site - son implantation domaniale
- les moyens d'essais et leur évolution
- principaux travaux réalisés et acquis techniques.

Pour les centres de recherches, les établissements traités sont les suivants :

- | | |
|--|--------------|
| - <u>Volume 3.1</u> : | |
| LCA [*] - Laboratoire Central de l'Armement | IGA CAVE |
| - <u>Volume 3.2</u> : | |
| LRBA - Laboratoire de Recherches balistiques et aérodynamiques | IGA MARCHAL |
| LRSL - Laboratoire de Recherches de Saint-Louis | IGA FAYOLLE |
| ISL - Institut franco-allemand de Saint-Louis | IGA BEDOURA |
| CEG - Centre d'études de Gramat | IGA CROSNIER |
| | IGA FAYOLLE |

Paris, 20 décembre 1990
L'Ingénieur de l'Armement FAYOLLE



* Le Laboratoire Central de l'Armement a fait l'objet d'un volume séparé Tome 3 - Volume 3.1.

LES CENTRES DE RECHERCHES

Le tome 3, relatif aux centres de recherche comporte deux volumes :

- Volume 3.1 : Le Laboratoire Central de l'Armement (LCA)
- Volume 3.2 : Le Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamique de Vernon (LRBA), l'établissement de Saint-Louis (LRSL-ISL), le Centre d'études de Gramat (CEG)

Le LCA - L'introduction concerne l'origine de l'établissement (1794), son existence de 1940 à 45 et son installation à Arcueil ainsi que la création des écoles de l'Armement. Les activités sont ensuite exposées par domaines :

- domaine mécanique : usinage et contrôle dimensionnel de très haute précision, étude scientifique de l'usinage, études et contrôles métallurgiques, diffusion et application du contrôle statistique de la qualité...
- domaine électromécanique : métrologie balistique, cinématographie ultra rapide, centre informatique de calcul scientifique, traitement de signaux et d'images, automatismes...
- domaine chimie physique : analyses physico-chimiques, études des peintures, matériaux composites, corrosion, camouflage...
- domaine nucléaire : mission interdirections (1957), détection et protection nucléaires, études théoriques des effets des armes, décontamination...

Un dernier chapitre est consacré aux nombreuses participations du LCA à des organismes français et internationaux civils et militaires.

Le LRBA - La structure de présentation est proche du canevas précité. Les travaux les plus marquants et les acquis techniques décrits sont très significatifs du rôle de pionnier du LRBA en matière de création de moteurs de lanceurs de fusées pour la conquête de l'espace.

L'Établissement de Saint-Louis - Centre spécialisé dans des études de balistique théorique et expérimentale et de détonique, sa présentation comporte deux volets: le LRSL établissement à statut et programmes de travail DEFA intégrant l'équipe allemande du professeur SCHARDIN et à dater de 1958, l'ISL, institut franco-allemand travaillant sur des programmes bi-nationaux.

Le CEG - Sa création, liée à celle de la Section Atomique de Limeil, est exposée dans un historique important. La présentation est divisée en deux parties correspondant avant 1969 à une activité centrée sur des études de détonique au service de l'atome et après 1969 au service des armements conventionnels, le CEG devenant l'expert de la DGA en matière de détonique.

LE LABORATOIRE CENTRAL DE L'ARMEMENT

L.C.A

par l'INGENIEUR GENERAL DE L'ARMEMENT CAVÉ

Janvier 1969

SOMMAIRE

INTRODUCTION	14
A. ORIGINE DE L'ETABLISSEMENT	14
B. LE L.C.I.M. A CAUSSADE.....	17
B.1- Métrologie dimensionnelle.....	18
B.2 - Domaines Mécanique et Chimie.....	18
B.3- Domaine Electromécanique.....	19
B.4- Autres activités.....	20
B.5 - Ecole d'apprentissage.....	21
C. ACTIONS DIVERSES.....	21
D. RAPATRIEMENT.....	22
CHAPITRE I : EVOLUTION DE L'ORGANISATION ET DES MISSIONS DE L'ETABLISSEMENT JUSQU'EN 1975 (GENERALITES)	24
CHAPITRE II : DOMAINE MECANIQUE (DEPARTEMENT MECANIQUE)	29
II.1- GENERALITES.....	29
II.2- PRECISION.....	30
II.2.1- Origine.....	30
II.2.2 - Organisation et Activités.....	30
II.2.3- Création du service Prototypes FP.....	32
II.2.4- Etudes de métrologie générale.....	33
II.2.5- Modification de l'organisation et travaux consécutifs.....	34
II.3- MECANIQUE APPLIQUEE (1960).....	35
II.3.1- Origine.....	35
II.3.2- Activités du LMI et de la SEMO.....	37
II.3.3- Missions du service MA à partir de 1961.....	39
II.4- METALLURGIE (M) (MN).....	41
II.4.1- Origine Mission de Base.....	41
II.4.2- Travaux.....	41
II.4.3- Mission Analyse et Contrôle Statistique.....	44
II.4.4- Activités à partir de 1970.....	46
CHAPITRE III DOMAINE ELECTROMECHANIQUE	47
III.1- ORIGINE.....	47
III.2 - ORGANISATION ET PRINCIPAUX AXES D'ACTIVITE.....	48
III.3- REALISATIONS MARQUANTES.....	54
CHAPITRE IV DOMAINE PHYSIQUE - CHIMIE MATERIAUX	64
IV.1- GENERALITES.....	64
IV.2- ORIGINE ET NATURE DES SERVICES.....	66
IV.2.1- Chimie.....	66
IV.2.2- Chimie physique.....	67
IV.2.3- Matériaux.....	67
IV.3- TRAVAUX ET RESULTATS.....	68
IV.3.1- Chimie.....	68
IV.3.3 - Poudres et Explosifs-Physique.....	71
IV.3.4- MATERIAUX.....	72
IV.3.5- Etudes Générales ou diverses.....	73
CHAPITRE V DOMAINE NUCLEAIRE	75
V.1- GENERALITES.....	76

V.2- PREMIERS TRAVAUX DU LCA DANS LE DOMAINE NUCLEAIRE :	75
V.2.1- Le contexte nucléaire en 1957	75
V.2.2- Travaux préliminaires du LCA dans le domaine nucléaire	76
V.2.3- Le transfert à Arcueil en 1961 - Le nouveau service CP de 1961 à 1965	77
V.2.4 - Une réussite : le détecteur DOM 410	78
V.3- L'EXPANSION DE LA MISSION NUCLEAIRE DU LCA	79
V.3.1- Transformations de l'environnement nucléaire du LCA	79
V.3.2- Fusion du CERAM au sein du LCA en 1964-1965 et conséquence pour l'organisation des services	81
V.4- LES TRAVAUX MENES DE 1965 A 1975 DANS LE DOMAINE NUCLEAIRE	84
V.4.1- Généralités	84
V.4.2- Etudes théoriques d'effets des armes	85
V.4.3 - Réalisation d'installations d'irradiation à des fins d'études et d'essais	87
V.4.4- Etudes de détection de rayonnements nucléaires et matériels réalisés	88
V.4.5- Etudes de décontamination	90
V.4.6 - Protection contre le flux lumino-thermique	91
V.4.7- Protection contre l'onde de choc	93
V.4.8- L'impulsion électromagnétique (I.E.M.)	94
V.4.9- Détection - localisation des explosions nucléaires	96
V.4.10- La Sécurité Radiologique	97
V.4.11 - Le Groupe de Biologie Animale et les études d'effets biologiques des rayonnements ionisants	99
CHAPITRE VI : AUTRES ACTIVITES.....	101
VI.1- BUREAU DES METHODES ET TECHNOLOGIES MODERNES	101
VI.2- NORMALISATION	102
VI.3 - DOCUMENTATION RELATIONS EXTERIEURES.....	104
CHAPITRE VII : ACTIVITES COMPLEMENTAIRES.....	106
VII.1 - ARMEMENT	106
VII.2 - ENSEIGNEMENT	106
VII.3 - BREVETS	106
VII.4 - ACTIVITES HORS ARMEMENT.....	106
CHAPITRE VIII : EVOLUTION DE L'ORGANISATION ET DES MISSIONS DE L'ETABLISSEMENT A PARTIR DE 1975	111
VIII.1- RAPPEL DE L'EVOLUTION PROGRESSIVE DES MISSIONS AVANT 1975	111
VIII.2- 1ERE ETAPE CREATION DE L'ETCA - 1975	114
VIII.3- 2EME ETAPE RATTACHEMENT A LA DRET- 1977	115
VIII.4- 3EME ETAPE CREATION DU CAD	116
VIII.5- ETAT ACTUEL	116
CHAPITRE IX : NOTE SUR LES PERSONNELS.....	121
CHAPITRE X. ANNEXES.....	125
ANNEXE 1	126
ANNEXE 2	127
ANNEXE 3	129
ANNEXE 4	132
ANNEXE 5	133
ANNEXE 6	136
ANNEXES PHOTOGRAPHIQUES.....	137

PREAMBULE

D'aucuns trouveront le texte concernant le LCA-ETCA trop long, trop complet. Il a été jugé utile d'agir ainsi, car dans très peu de temps, on ne pourra rassembler un tel historique.

En effet, pour la période considérée, la plupart des archives de l'établissement ont disparu, mais il a encore été possible de reconstituer, de mémoire, certaines activités, puis de les compléter en rassemblant les souvenirs de quelques responsables, en les confrontant entre eux ou avec quelques rares documents pour éviter des erreurs, notamment chronologiques.

Par contre, quelques activités sont insuffisamment développées, car on n'a pas pu en certains domaines, trouver des références ou des souvenirs d'une certaine valeur.

Enfin, il existe quelques redites volontaires, pour mieux préciser la coopération de différents services complémentaires et faire mieux comprendre, in fine, l'évolution logique de l'établissement.

Il s'agit d'un ensemble très complexe dont les missions ont de tout temps varié, mais si cette variation a été très lente depuis sa création en 1794 Jusqu'à 1940, il y a eu une mutation complète et continue depuis 1960 environ : l'ETCA d'aujourd'hui est totalement différent du LCA de 1945. La mise au point d'un exposé simple et court est en conséquence difficile.

La période primitivement choisie a été agrandie :

- on ne pouvait laisser tomber dans l'oubli les efforts poursuivis sous l'occupation pour maintenir le potentiel du LCA et le rendre prêt à servir en 1945 avec une efficacité immédiate
- au-delà de 1975 s'est réalisée la fin de l'évolution de l'ETCA, évolution logique lorsqu'on constate qu'une dizaine de missions interdites lui ont été attribuées de 1962 à 1972. Il a paru intéressant (ne serait-ce que pour savoir ce que sont devenus les services ou les responsables des anciennes missions) de donner un aperçu historique des modifications de missions et de l'organisation, sans parler des travaux effectués.

Je remercie ceux qui m'ont particulièrement aidé pour certaines parties et, notamment, les IGA Fayolle Naslin et Malardel.

INTRODUCTION

A. Origine de l'établissement

Le 12 Messidor An II (30 Juin 1794), C.A. Prieur de la Côte d'Or², ingénieur militaire du corps du Génie, membre du Comité de Salut Public, fit adopter un décret (Annexe 1) d'après lequel : il sera établi à Paris, dans une maison nationale, un Atelier de Précision, destiné à la Construction des Instruments propres, tant à la vérification des projectiles de guerre qu'aux épreuves de bouche à feu".

Cette création était rendue nécessaire "pour éviter le malheur, tant de fois répété, d'envoyer des boulets non de calibre". Cet arrêté est l'acte de naissance de l'organisme qui, dépendant de la Direction de l'Artillerie jusqu'en 1933, (Comité Central, Service Technique 1886) fut le noyau principal d'un établissement créé au sein de la Direction des Fabrications d'Armement³, sous le nom de :

Etablissement Central des Fabrications d'Armement (ECFA)

par décret et arrêté des 6 et 7 Juin 1933, modifiés par décret du 26 Octobre 1934 et instruction du 12 Février 1935.

Il a pris successivement les noms de :

- | | | | |
|---|------|---|------|
| - Laboratoire Central des Fabrications d'Armement | LCFA | - | 1936 |
| - Laboratoire Central des Industries Mécaniques | LCIM | - | 1940 |
| - Laboratoire Central de l'Armement | LCA | - | 1944 |
| - Etablissement Central de l'Armement | ECA | - | 1975 |
| - Etablissement Technique Central de l'Armement | ETCA | - | 1977 |

Il a été un établissement de la même Direction (DEFA⁴, puis DTAT après la création de la DMA en 1965) jusqu'au 1er Juin 1977. A cette date en application du décret N° 77 512 du 17 Mai 1977 il devient l'établissement de la Direction des Recherches et Techniques de l'Armement (DRET), nouvelle appellation de la DRME.

Après une implantation provisoire dans la maison Sérant (actuellement n° 9 Rue de Lille), l'Atelier de Précision s'installe, le 5 Frimaire An VI (25 Novembre 1797), dans les locaux de l'ancien couvent des Jacobins de Saint Thomas d'Aquin, ainsi que le Comité de l'Artillerie et les archives de l'artillerie (dont le LCA conserva le fonds jusqu'en 1981).

² : L'adresse de l'établissement est 16 bis, Avenue Prieur de la Côte d'Or - 94111 Arcueil Cedex.

³ : Elle-même créée par décret du 29 Avril 1933.

⁴ : Appelée SUME, Service des Usines Mécaniques de l'Etat de 1940 à 1944.

A part le séjour à Caussade sous l'Occupation (§ B ci-après), l'établissement est demeuré 1 Place Saint Thomas d'Aquin (LCA et Ecoles ENSAR, ETS et l'école d'Apprentissage avec studios pour le logement des élèves) jusqu'à son déménagement dans l'ancien fort de Montrouge à Arcueil, dans des instructions nouvelles et fonctionnelles, déménagement qui s'est effectué progressivement de 1953 à Août 1962⁵.

De ce fort, construit entre 1840 et 1850, il ne reste que l'enceinte et des casemates fort utiles pour les mesures de précision à température constante et les installations ionisantes (protection plus facile à réaliser).

Provisoirement, quelques services avaient été installés, de 1946 à 1954 dans des locaux de l'ancienne cartoucherie de Vincennes où d'ailleurs, il avait été envisagé d'installer le LCA (les plans des bâtiments avaient été établis).

C'est une chance pour l'établissement que la décision de ce déplacement ait été effectuée en temps utile, concrétisant la volonté des deux premiers directeurs après la fin des hostilités, IIG Nicolau et IIG Wilmet, car le développement du LCA aurait été impossible dans les locaux non-expansibles de Saint Thomas d'Aquin.

Il est d'ailleurs curieux de constater que le déménagement hors de Paris avait été envisagé précédemment :

- en 1910, il avait été question du Fort de Montrouge, près d'un demi-siècle avant sa réalisation,
- plus tard le Général Baili, Inspecteur des Etudes et Expérimentations de l'Artillerie envoyait au Ministre une note n° 74188 du 15 Décembre 1930, sur la réorganisation de l'Atelier de Précision qu'il appelait "Etablissement Central de l'Armement (Voir VIII-2 E.C.A.) ou Laboratoire Central de Fabrications d'Armement (L.C.F.A.) : il demandait la révision de l'instruction du 3 Mars 1922 sur les I.V., en fait l'extension des activités de cet établissement et la multiplication par trois de ses effectifs. Comme il éprouvait "une certaine répugnance" à le laisser dans le Ville arrondissement de Paris", il proposait, pour permettre l'accroissement nécessaire des installations, sans trop gêner le personnel, de trouver un local, du côté de la porte d'Issy, sur l'emplacement des anciennes fortifications.

Le Directeur du LCA portait le titre de Directeur du Laboratoire Central et des Ecoles de l'Armement car il dirigeait aussi les Ecoles ENSAr, ETS...

Ces écoles ont été créées et mises au point par l'Ingénieur Général Nicolau, dans les années 1945 à 1948.

Cette unicité de direction et la proximité des Laboratoires et des Ecoles ont facilité la mise au point de l'enseignement : les personnels des différents laboratoires ont fortement coopéré car on leur a demandé de prendre la responsabilité d'un nombre important de cours et des travaux pratiques tels que bureau d'étude, usinage, métallurgie, métrologie de précision, essais mécaniques, contrôles (non-destructif,

⁵ : De nombreuses autres instructions ont été ajoutées de 1964 à 1988, pour remplir les missions nouvelles : NBC d'abord, puis les missions interdirections après 1975 (VIII).

analytique, chimique) analyse et contrôle statistique, électrotechnique, électronique, métrologie balistique, automatique, etc.

De plus la quasi-totalité des travaux de recherche (innovation pour l'époque) était effectuée dans les laboratoires du LCA.

Cette activité exigeait un travail supplémentaire non négligeable, mais beaucoup d'ingénieurs, pour donner un enseignement valable ont, eux aussi, amélioré leurs connaissances, ce qui leur a été utile dans leurs activités.

A compter du 26 Août 1967, le Laboratoire Central de l'Armement et les Ecoles ont été institués en organismes distincts, ayant chacun son Directeur. Les établissements d'enseignement implantés à Arcueil, ont constitué les "Ecoles Supérieures des Armements Terrestres" (ESAT) auxquelles le LCA a apporté son soutien logistique.

Par décret du 26 Octobre 1934⁴, l'ECFA absorbe le Laboratoire d'Etudes de Balistique Intérieure de Versailles et l'établissement annexe d'Expériences Techniques des Armes portatives de Versailles et est chargé des missions principales suivantes (Instruction du 29 Avril 1935) :

1. Procéder aux recherches et études et participer aux expériences concernant :
 - la balistique intérieure et extérieure,
 - les conditions de chargement des bouches à feu,
 - les projectiles et leurs effets,
 - les blindages,
 - la physique et la chimie appliquée,
 - les matières premières, machines-outils, outillages, instruments de mesure et vérifications,
 - la normalisation des fabrications d'armement,
 - toutes autres études prescrites par le Ministre.
2. D'établir les données balistiques des avant-projets de matériel d'armement, les tracés d'études des projectiles.
3. D'établir les prototypes de certains instruments de mesure ou de vérification, de poinçonner les Instruments Vérificateurs (I.V.).
4. De procéder aux essais ou contrôles, et, le cas échéant, à la réception des matières premières, et des éléments des matériels, demandés par les établissements, ainsi qu'aux contre-essais.
5. D'assurer le service de la documentation scientifique et de suivre pour le compte du département de la guerre, toutes les questions de brevets.

⁴ : D'après ce décret, l'école Supérieure Technique faisait partie des "organes" de l'ETCA, mais cela a peu duré : le décret du 12 février 1935 ne parle plus de cette école, installée à l'APX ; cependant en 1945 les écoles ont été installées près de l'établissement et avaient même directeur (voir chap. 1). De même il était prévu une section d'études de matériels chimiques dont l'organisation devait faire l'objet d'instructions spéciales qui n'ont pas paru.

En 1939, l'établissement était apte à remplir les missions prescrites et effectuer un énorme travail, en utilisant un nombre important de main-d'œuvre féminine dès le mois d'Octobre 1939.

B. Le L.C.I.M. à Caussade⁷

En Mars 1940, une fraction du service Précision, le laboratoire de métrologie, avait été replié, en grande partie, à Caussade (Tarn-et-Garonne), dans une usine de chapeaux de paille, pendant que certains matériels lourds (fours, en particulier), étaient expédiés à la MAT à Tulle.

Dès les premiers jours de Juin, des machines et matériels de laboratoire sont acheminés et entreposés à La Motte-Beuvron ; le 6 Juin à 11 h, le personnel est informé que les moins de 28 ans sont requis pour faire leur devoir, les plus de 58 ans restent à Paris, les autres partiront pour Caussade.

En fait, c'est en train à partir de La Motte-Beuvron que le personnel, avec certains matériels, a rejoint Caussade entre le 8 et le 10 Juin.

L'établissement s'installe dans deux usines réquisitionnées à Caussade, à l'exception du laboratoire de chimie qui occupe, à 22 km le marché couvert de Montauban.

D'autre part, fin Juin 1940, le laboratoire de l'IMC Libessart, le Service des Inventions du Service Technique des Fabrications d'Armement, réfugié à Egletons en Corrèze avec l'IA Fayolle, rejoint Caussade et s'incorpore au LCA, l'IMC Libessart, qui le dirigeait étant parti en Angleterre.

La mise en activité des services et laboratoires s'effectue rapidement, compte tenu des circonstances et le LCA prend peu après l'Armistice le nom de "Laboratoire Central des Industries Mécaniques (L.C.I.M.) du Service des Usines Mécaniques de l'Etat dépendant du Ministère de la Production Industrielle, les ingénieurs de l'Armement, comme tous les autres, devenant Ingénieurs d'Etat de l'industrie Mécanique.

Sous l'impulsion éclairée de son Directeur, l'IG Nicolau (dans l'établissement depuis 1919) le LCIM effectue de nombreux travaux pour les établissements de la zone non occupée, notamment ATE, MAT, ATS, mais aussi pour diverses industries du Sud-Ouest (Aéronautique, Ponts-et-Chaussées, Industries Pétrolières, Facultés, Ecoles, Observatoires et l'Université de Toulouse), enfin certains travaux confidentiels permettant d'être prêts à effectuer des études d'armement à la Libération.

Les activités ont essentiellement concerné la métrologie de pointe, dans les domaines dimensionnels, mécanique, essais des matériaux, analyses, mais aussi des réalisations particulières⁸.

⁷ : Il a paru nécessaire de préciser comment l'établissement a survécu sous l'Occupation, a maintenu ses activités, en a démarré d'autres en certains domaines, pour être prêt à remplir sa mission à la Libération.

⁸ : Voir les 4 cahiers Travaux et Mémoires du LCIM édité en 1945 par le Comité Général d'Organisation des Industries Mécaniques 11 Avenue Hoche Paris Ville..

On peut citer entre autres :

B.1- Métrologie dimensionnelle

- Fabrications de série pour pallier l'insuffisance, pendant l'Occupation, de nos usines spécialisées :
 - . Etaçons à bouts plans parallèles, type cales Johansson
 - . Broches micrométriques, à bouts sphériques (mesure au 1/100ème de mm des alésages de 50 à 800 mm)
 - . Palmers à main de 25, 50, 75 et 100 mm de capacité
 - . Butées micrométriques
 - . Pieds à coulisse en acier inoxydable de 150 à 1000 mm de capacité
 - . Comparateur endodiamétrique
 - . Comparateur STA de 100 à 700 mm de capacité
 - . Jauges à cadran
 - . Lames de mesure optique de diamètre sur flancs de filetages et cônes (1ère fabrication en France).
- Mise au point et fabrication d'appareils spéciaux :
 - . Comparateur universel LCIM (avec butée limiteur d'effort originale) pour les besoins courants de l'atelier : étalonnage de cylindres, cônes et filetages
 - . Indicateur de contact électrostatique à battements (amélioration de la précision des comparateurs).
 - . Comparateur rapide du pas
 - . Rapporteur d'angle de précision (erreur max. 36 s., par comparaison 7 s.)
 - . Comparateur à repérage ultramicrométrique *précision 0,1 μ s)
 - . Comparateur endodiamétrique (déjà cité) pour la comparaison des diamètres sur flancs de filetages intérieurs (précision 1 μ s)
 - . Mise au point ou perfectionnement d'appareils de microgéométrie des surfaces, notamment : palpeur d'intégration.

Ces travaux étaient effectués au service Précision (Bureau d'Etudes, Métrologie, Atelier).

B.2 - Domaines Mécanique et Chimie

- Règles de tolérance d'ajustements ISA, d'utilisation facile en atelier,
- Dynamomètres pour la mesure des efforts de coupe, pneumatiques, électromagnétiques, piézo-électriques : appareil pour la mesure simultanée des trois composantes,
- Etude comparative de diverses huiles (certaines de remplacement),
- Etude d'amélioration du rodage avec établissement de spécifications pour l'abrasif, les rodoirs et mise au point d'une machine nouvelle,
- Mise au point d'une nouvelle méthode de rodage liquide conçue aux USA à la même époque et vulgarisée sous le nom de "Vapor Blast", - Début des études de frittage (coussinets en fer fritté),
- Presse pour essais haute précision,
- Etude et utilisation de dépôts électrolytiques en coopération avec un laboratoire voisin (M. Cymboliste).

- Mesure des critères de qualité des matières et produits finis
 - . Etude et mise au point d'appareils spéciaux, utilisant l'éprouvette de 5,64 de diamètre et 60 mm de long : appareil de mesure de la résistivité, machine d'essais aux chocs répétés, perméamètre
 - . Microsciéromètre Girschig. Cet appareil, mis à la place de l'objectif d'un microscope métallurgique, permet d'obtenir des empreintes de dureté Vickers sous faible charge (10 g à 100 g)
 - . Machine à essayer les coussinets. Mesure de la charge, du coefficient de frottement, de la puissance absorbée, de la température
 - . Essais de corrosion. Amélioration considérable par modification et adaptation à ces essais d'un pulvérisateur Delaville établi primitivement (1939) pour usages médicaux.
 - . Amélioration du réglage et de l'étalonnage des machines de traction
 - . Amélioration du dosage du plomb dans les aciers (adopté par l'AFNOR)
 - . Sensitomètre à coins croisés
 - . Densitomètre universel
 - . Etude des procédés d'analyse spectrographique quantitative (début)
 - . Evaluation des essais non destructifs
 - . Mise au point de cahiers des charges divers
 - . Nombreuses analyses de terre pour les agriculteurs, en vue de la mise au point d'une carte géologique des départements
 - . Création du GAMS (voir activités complémentaires chap. VII-4).

Ces études ont été effectuées au sein des services Précision, Métallurgie, Mécanique Industrielle, ainsi que pour certains critères de qualité dans les services Chimie et Chimie Physique.

B.3- Domaine Electromécanique

Le Service Electromécanique est né à Caussade en 1940, sous la direction de l'IM Fayolle, de la fusion du Service Electricité du LCFA (IM Cain) et du Service des Inventions de ST/DEFA. En Décembre 1941, après le départ des IM Tiercé et Robert, il absorba le Laboratoire de Balistique Intérieure de Versailles, qui, d'abord replié à Tarbes, rejoignit Caussade.

Le service comprenait des laboratoires de photographie et cinématographie ultra-rapide, d'électricité appliquée, de piezométrie, de radioélectricité, ainsi que deux ateliers de bobinage et de mécanique.

Les études entreprises pendant les quatre années de séjour à Caussade ont porté sur les sujets suivants :

- Mesure de la vitesse initiale des projectiles. Une base optique de 10 m fut réalisée en 1944 et les études de chronométrie des courtes durées furent reprises avec M. Tawil (chronographe piézo-électrique et cellule de Kerr) et la Compagnie des Compteurs (chronographe cathodique).
- Mesure des pressions dans les bouches à feu ou bombes expérimentales par amélioration des manomètres à crushers et utilisation de manomètres piézo-électriques. Des études comparatives entre ces deux procédés furent poursuivies, ainsi que la transmission à distance de la mesure.

- Reconstruction et perfectionnement des matériels de photographie instantanée et cinématographie ultra-rapide. Etude d'un ultra-cinéma à 50 000 images par seconde pour l'étude de la perforation des blindages ; amélioration de l'éclateur ponctuel à étincelles Libessart ; applications industrielles.
- Réalisation d'un appareil de mesure de la cadence d'armes automatiques et d'un chronoscope photoélectrique pour la mesure des durées de trajets de projectiles fusants, dont un exemplaire a été fourni à l'ETTN à Toulon.

Tous ces travaux faisaient appel aux ressources nouvelles de ce qu'on n'appelait pas encore "Télélectronique", ce qui constituait une innovation en matière de métrologie balistique.

Le Service entretenait également des relations avec des chercheurs extérieurs à la DIME : l'aspirant Lenouvel, qui mettait au point un appareil monostatique de repérage par le son (1942) ; le Professeur Legros, de l'Université de Toulouse, qui étudiait lui aussi un appareil de repérage par le son à la demande de l'EMA (1943-44). M. Abadie, qui étudiait à Vic-Bigorre des procédés de liaison téléphonique en infrarouge et réalisait des jumelles pour liaisons bilatérales à courte distance (1943-44).

Par ailleurs, le Service E réalisait divers appareils pour les autres services du LCIM : indicateur de contact électrostatique pour comparateur à repérage ultra-micrométrique, moteur synchrone de faible puissance à vitesse réglable de 1 à 10, alimenté par un générateur à fréquence variable, dynamomètres électromagnétiques et piézo-électriques pour mesures des efforts de coupe (ce qui a facilité plus tard les applications de ces techniques en d'autres domaines -).

B.4- Autres activités

- . Travaux de contrôle, d'étalonnage ou études diverses pour l'ATE, l'ATS, la MAT et l'industrie privée notamment l'aéronautique.
- . Participation à la réalisation du microscope électronique du Professeur Dupouy de la Faculté des Sciences de Toulouse (réalisation d'éléments mécaniques particulièrement difficiles à obtenir).
- . Réalisation d'un four de carbonisation (Brevet d'état).

Les succès obtenus en tous domaines ont été facilités par la compétence de l'ensemble du personnel, le dynamisme des dirigeants, mais aussi par certaines réorganisations, créations ou extensions qui ont pu être réalisées :

- création en 1941 à Caussade, sous la direction de l'ingénieur Loeuille d'un laboratoire de chimie-physique rassemblant en les étoffant des éléments de laboratoire de spectrographie, polonographie, colorimétrie, dont les premières réalisations avaient été effectuées début 1940 avec l'aide d'officiers de réserve (Professeur Truchet Directeur de l'école de Chimie de Bordeaux, Professeur Gangloff, Ecole des Pétroles de Strasbourg).

- création en 1943 d'un laboratoire d'Etats de Surface, sous la direction de l'IA Michalet, qui put rassembler des appareils de différentes méthodes d'évaluation. Les résultats les plus spectaculaires ont été cependant réalisés à Paris.
- création et extension importante du service électromécanique, grâce à l'action de son chef de service, l'IM Fayolle, qui a introduit et a su appliquer les possibilités nouvelles de l'électronique, pour les études du service, notamment celles des phénomènes rapides, en vue de leur utilisation en métrologie balistique.

B.5 - Ecole d'apprentissage

Aucun établissement d'enseignement technique n'existait à Caussade en 1940. Pour s'assurer un recrutement correct d'ouvriers (et peut-être aussi pour donner sur place une formation professionnelle aux enfants du personnel du LCIM et conserver ce personnel), une école d'apprentissage du laboratoire, spécialisée au début dans la formation d'ajusteurs de précision, a été très rapidement créée sous la direction de M. Bellot : la première promotion, comprenant 21 élèves (dont 7 fils d'agents du LCIM) est entrée le 9 Octobre 1940. La plupart des professeurs venaient du LCIM.

Cette école a eu un succès considérable, mais il n'était pas question pour le LCA d'assurer la pérennité de l'école après la fin des hostilités : un accord a été conclu avec la Direction du Travail des Jeunes qui prit en charge les promotions ultérieures (effectif porté à 30 élèves) et créa un internat. Elle est devenue le Lycée Professionnel de Caussade.

Il est intéressant de signaler que trois anciens élèves sont devenus Ingénieurs Généraux de l'Armement : IGA Marguet, Dujols, Daubas. De telles promotions ne sont plus possible actuellement et c'est dommage.

C. Actions diverses

Il a fallu aussi maintenir le moral du personnel, replié, déraciné, expatrié... suivant les points de vue de chacun, car loin de la région parisienne d'origine.

On doit à l'IG Nicolau, assisté du service social d'avoir su prendre d'heureuses initiatives⁹ pour maintenir le personnel :

- Conférences techniques, éducatives : histoire, géographie, art, littérature, poésie, etc. par des bénévoles, souvent de l'établissement, suivies parfois de débats publics
- Soirées théâtrales, nombreuses, séances cinématographiques, soirées musicales (chorale et orchestre du LCIM)
- Groupe artistique orienté vers la peinture, la sculpture, la photographie
- Des jardins ont pu être mis à la disposition du personnel par la commune, sur un bon hectare de terrain au lieu-dit La Piboulette.

⁹ - A noter qu'une thèse "Caussade et le Laboratoire Central des Industries Mécaniques" a été soutenue par M. Barot en 1945 à la Faculté de Droit de Toulouse, montrant l'influence du Laboratoire sur la vie caussadaise et le climat qui en résulte.

De plus un nombre important de résistants civils et surtout militaires, officiers, étaient camouflés dans l'établissement, embauchés dans divers laboratoires. Deux ingénieurs et trois ouvriers payèrent de leur vie leurs actes de résistance dont trois en déportation, un ingénieur pendu à Montauban, un apprenti fusillé.

Des documents classifiés ont été placés dans des cachettes en forêt, le LCIM a dû fournir un certain nombre d'I.V. à l'armée allemande, mais ces I.V., s'ils étaient dans les tolérances à la livraison, ne l'étaient plus au bout d'un temps assez court, par suite d'un traitement volontairement peu orthodoxe (par exemple, trempé extra-dure, sans traitement de détente) ce dont se sont aperçus, mais un peu tard, les "clients".

De même, le sous-directeur l'IMC Lafargue, dirigeait en fait un bureau d'études d'artillerie, camouflé dans sa villa à Montauban : le service effectua des travaux en ce domaine qui furent d'une grande utilité à la Libération, date à laquelle il quitta le LCA pour devenir un des principaux éléments du Service Technique de la DEFA.

En 1944-1945, le LCIM devenu le LCA était un établissement bien structuré, comprenant des services diversifiés, le plus souvent complémentaires, orientés vers des techniques de pointe, en pleine activité, documenté au mieux techniquement, possédant un personnel hautement qualifié et bien équipé (pour l'époque).

Il existait de très bonnes relations entre services qui s'étaient fait connaître par de nombreuses publications et contacts avec l'industrie, sous l'autorité d'un directeur fortement animateur qui avait selon sa formule "tête haute, pieds au sol"¹⁰. Le LCA en 1944-1945 était prêt à être efficace dans son domaine d'activité.

Il a par exemple pu faire face à l'arrivée imprévue du Laboratoire du Professeur Schardin, transféré en Août 1945 de Biberach (Allemagne) à Saint-Louis (Haut-Rhin) après un accord entre le Professeur Schardin et l'IM Fayolle, le remettre en activité en 3 mois, en assurer le premier encadrement technique et administratif, c'est-à-dire créer l'IRSL (actuellement l'ISL)

D. Rapatriement

Le rapatriement du LCIM (devenu LCA) à Paris Place Saint Thomas d'Aquin, a commencé le 05/12/1944, date des premiers départs, par camions, des laboratoires de chimie et de chimie-Physique, dont les locaux correspondants étaient seuls disponibles.

Ces départs ont été effectués en urgence, de nombreuses difficultés ayant surgi, car divers "postulants" étaient sur les rangs pour s'installer Place Saint -Thomas d'Aquin. En définitive le déménagement s'est ensuite déroulé régulièrement par train, et l'ensemble du laboratoire était installé au cours de l'été 1945, à l'exception du LMI (Laboratoire de Mécanique Industrielle). Le LMI, après une activité provisoire dans le

¹⁰ : Devise reprise par le CESTI (Centre d'Etudes Supérieures des Techniques Industrielles) Ecole d'Ingénieurs du Ministère de l'Éducation Nationale à spécialité mécanique recrutés sur concours à partir de classes de spéciales, crée en 1966 par l'ingénieur Général Nicolau.

sous-sol de l'école Centrale en 1946, n'a pu s'installer qu'en Février 1947 dans l'ancienne cartoucherie de Vincennes (AVS) avec le service transport, une partie du service E (Electromécanique) et les Ecoles.

En se réinstallant, les différents services se sont restructurés, en se raffermissant, en se renovant, en complétant au mieux leurs matériels pour se trouver à la pointe de la technique française. Certains ont développé les activités ébauchées à Caussade (voir ci-dessus début de certaines activités) de façon considérable, notamment le service Electromécanique.

L'ensemble maintenu fermement solidaire malgré une dispersion provisoire de locaux jusqu'en 1962 (Saint -Thomas d'Aquin, Vincennes, Satory, Arcueil et Issy-les-Moulineaux) a constitué un groupement exceptionnel, cohérent et complémentaire de compétences et équipements au service de la DEFA, de la Défense Nationale mais aussi de l'économie Française.

CHAPITRE I

EVOLUTION DE L'ORGANISATION ET DES MISSIONS DE L'ETABLISSEMENT JUSQU'EN 1975 (GENERALITES)

L'établissement a augmenté son potentiel par suite de modifications de ses missions et en absorbant certains établissements ou en fusionnant avec d'autres :

- la SEMO, Station d'essais de machines-outils en 1954
- une partie du LCA, Laboratoire Central de l'Artillerie Navale, par accords entre Directions Techniques : métrologie en 1963, essais mécaniques en 1964, peintures en 1966
- le CERAM, Centre d'Etudes et Recherches Atomiques Militaires, partiellement, en 1964 (DM n. 21 458 MA / CC du 28/08/1964)
- le 01/09/1975, par note 11 320 DMA/D du 14/07/1975 lors de la création de l'ECA :
 - . la SEBC, Section d'Etudes de Biologie et de Chimie (Le Bouchet)
 - . le SECT, Service d'Equiperment des Champs de Tir
 - . le CEG, Centre d'Etudes de Gramat
 - . le BMTM, Bureau des Méthodes et Technologies Modernes.

Il a perdu l'ordinateur scientifique de son service MC (Machines à Calculer) et certaines missions de ce service, en 1966, date à laquelle a été créé (DM n° 6451 DMA/BDT du 31/12/1965) le CCSA (Centre de Calcul Scientifique de l'Armement) affecté au SCTI (Service Central des Télécommunications et de l'Informatique).

Le LCA a cependant conservé la presque totalité de ses équipes et s'est vu attribuer un terminal du CCSA.

L'Annexe 2 donne¹¹ un résumé non exhaustif de l'évolution de l'organisation de l'établissement de Juillet 1946 à Mars 1988, en négligeant des organisations provisoires. On notera essentiellement les créations de :

- départements en 1964, consécutive à l'accroissement des activités nucléaire et informatique
- centres techniques progressivement de 1975 à 1980, après la création de l'ECA-ETCA et modifications en 1988 (voir chap. VIII).

Cette évolution est la conséquence des modifications successives des missions conformément aux décisions ou notes en référence (annexes II et VIII).

Les annexes 3 à 5 donnent des extraits de ces documents pour éclairer la complexité de cet établissement :

- . Annexe 3 : Trois premiers articles de l'Instruction 27.812 C/DEFA du 31/07/1946, consécutive au décret n° 46 250 du 20/02/1946 (organisation de la DEFA)

¹¹ : Les annexes forment le chapitre X.

- Annexe 4 : Fiche jointe à note 15445 SEM/DTAT du 16/03/1970 précisant les missions essentielles du LCA (Nota : oubli de la mission B et C déjà attribuée au LCA par décision 50178 DMA/D du 28/03/68 complétant la mission LV. (décision 10.580 DMA/D du 27/12/66)
- Annexe 5 : quatre premières pages de la décision 11 320 DMA/D du 24/07/1975, regroupant dans un texte de 34 pages (avec 7 annexes) le LCA, le SECT, le BMTM, le CEG, la SEBC, dans un centre à vocation interdirections, l'Etablissement Central de l'Armement ECA, appelé en 1977 Etablissement Technique Central de l'Armement ETCA.

L'évolution de l'établissement après 1975 est donnée, sans entrer dans les détails des travaux au chapitre VIII.

Les effectifs ont en conséquence fortement varié en nombre et en répartition par catégories :

1943	300 environ
1950	450
1970	1 100
1980	1 350
1988	1 460.

Le pourcentage de niveau I embauché, nettement insuffisant au début, est passé de l'ordre de 10 % pour la période 1945-1970 à plus de 20 % en 1988 ce qui rend plus aisées les études de haut niveau, d'autant plus que des travaux de recherche ont fait partie officiellement de la mission de l'établissement lors de son affectation à la DRET.

D'autre part le nombre de personnels non embauchés par l'établissement, mais travaillant sur place a considérablement augmenté : de l'ordre de 10 à 20 dans la première période, il est passé à 215 en 1988 (officiers des armes, PDL, scientifiques du contingent) ce qui fait que le pourcentage de niveau I atteint 25 % environ.

Un nombre important de "thésards" ont effectué leurs travaux de recherche dans l'établissement, à partir de 1978, et certains d'entre eux ont été embauchés.

Avant d'exposer les travaux effectués par les différents services techniques, il faut souligner ici les charges importantes assumées par le personnel :

- nombreux stages de perfectionnement dans tous les domaines d'activités, essentiellement contrôlés, pour lesquels le personnel a dû consacrer une part importante de son temps, ces stages durant jusqu'à un mois : les stagiaires provenaient essentiellement des établissements de la DEFA-DTAT, mais aussi d'autres directions de la DMA,
- nombreuses visites de personnels de la DMA, d'autres ministères, ou même de l'industrie privée, pour demander aide, conseils, informations leur permettant de résoudre leurs problèmes,
- travaux pratiques des élèves des Ecoles de l'Armement, ENSAR, ETS, complétant les cours professés souvent par les Ingénieurs du LCA,

- soutien logistique par les services administratifs et le B.M. pour les organismes implantés au Fort de Montrouge surtout : SECTI - CCSA - CIRQ - Cellule ATT du CEDOCAR - CSAN (Cours Supérieur d'Armes Nucléaires, commun à DMA et CEADAM) - SEBC - CEG - BMTM - Ecoles ESAT (ENSAR - ETS - EAA - ETN₁ - EPAR).

Les organismes soulignés ont fusionné avec le LCA entre 1975 et 1979 (chapitre IX et annexe 2).

A signaler aussi que l'IPA Donnard chef du B.M. a eu la lourde charge, de 1972 à 1975, de mener à bien les importantes constructions nécessaires au transfert de l'Ecole Polytechnique de PARIS à PALAISEAU. La conduite de ce projet a été confiée à une Direction de Programme, Directeur IGA Collet-Billon (LCAD) comprenant une équipe de 4 ingénieurs du SECT et du LCA.

Etant donné la multiplicité des missions et les variations importantes déjà évoquées, il est assez difficile d'effectuer une présentation simple des activités techniques.

On a choisi comme fil directeur un organigramme type (se trouve page suivante) réalisé en grande partie dans les années 1965-1975 (à part quelques modifications signalées au bas de l'organigramme) après l'arrivée du CERAM, qui a amené la création de départements.

Il n'a pas été tenu compte de la création provisoire pour faciliter la fusion avec le CERAM, du département Physique Chimie Atome (PCA) qui, comme prévu, a été rapidement subdivisé en PCM et DPN.

La période antérieure se raccorde bien à cet organigramme les services de chaque département, étant alors indépendants, ou formant un seul service ou n'étant pas créés (DPN essentiellement).

La page 26 schématise la formation des centres après 1975.

Les chapitres II à V correspondant à chaque département sont mentionnés au-dessus de chaque département DME, DEL, PCM, DPN.

Le chapitre VI concerne le BMTM, la normalisation et la documentation.

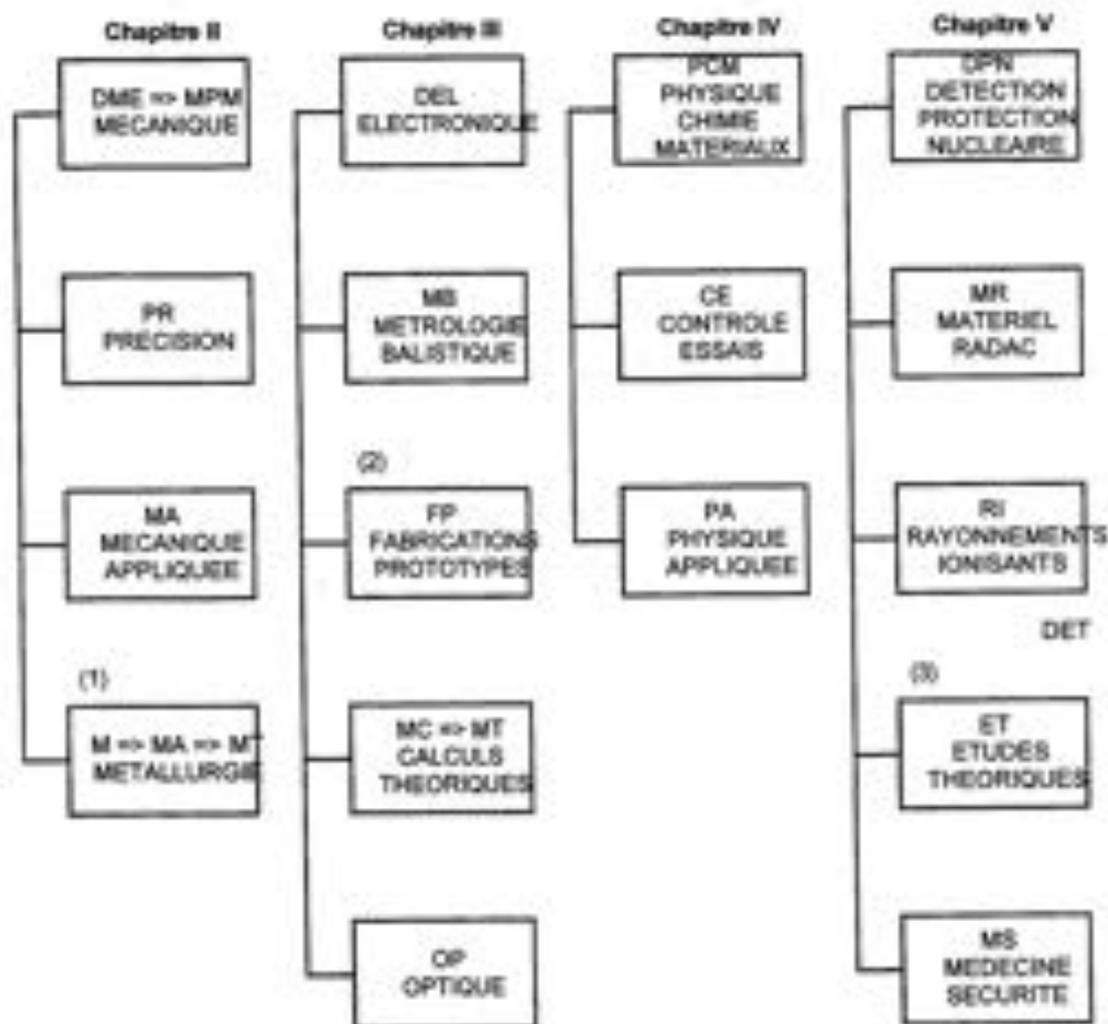
Le chapitre VII donne des informations sur des activités "complémentaires".

Le chapitre VIII donne une idée sur l'évolution de l'organisation et des missions après 1976 (sans préciser les travaux effectués et les résultats obtenus) : c'est l'aboutissement des activités antérieures de l'établissement.

Le chapitre IX donne quelques informations sur le personnel de l'établissement.

ORGANIGRAMME

DEPARTEMENTS ET SERVICES TECHNIQUES



(1) Affecté à PCM en 1969

(2) Créé à PR en 1957

(3) Devenu Département en 1971

REORGANISATION de 1975 à 1988

en cinq centres

(Voir VIII)

DPN	+	SEBC 1975	⇒	CNBC 1980	⇒	CEB 1988
CEG 1975				CEG 1975		
DET	+	CIRO	⇒		⇒	CAD 1979
PCM	+	MPM	⇒		⇒	CMCM 1980
CMCM	+	OP	⇒		⇒	CREA 1988
DEL	+	SECT 1975	⇒	CTME ⇒	⇒	CTME

Organismes extérieurs fusionnés avec le LCA : SEBC, CEG, CIRO, SECT

CHAPITRE II DOMAINE MECANIQUE (DEPARTEMENT MECANIQUE)

II.1- GENERALITES

On a regroupé dans ce chapitre trois services qui ont constitué en 1964 le Département Mécanique DME appelé ensuite Mécanique Précision Matériaux MPM (voir tableau fin chapitre I).

Services	Sigles successifs
Précision	B Pr. (+ création FP)
Mécanique Appliquée	LMI fusion => MA SEMO
Métallurgie	M MN MT

Pr et M sont, avec le service Chimie, les services les plus anciens du Laboratoire.

A partir de 1967 certains services ou parties de service ont eu des affectations diverses, mais ont été à nouveau rassemblés à partir de 1980 au sein d'un même centre CMCM (= PCM + MPM) devenu CREA en 1988 (I et VIII) :

- FP : a fait partie de DEL de 1966 à 1973, (il travaillait surtout pour lui)
- MA : affecté à PCM en 1973
- M : affecté à PCM en 1969
- Pr : affecté à PCM en 1980.

Tenir compte de ces modifications compliquerait inutilement l'exposé : les travaux de ces différents services sont rassemblés dans ce chapitre, et parfois signalés, dans les chapitres suivants, lors d'une coopération importante avec un autre service.

Une exception cependant : le service M sera traité dans ce chapitre seulement pour les années antérieures à 1970 : son affectation à PCM et les crédits consacrés par le Bureau Long Terme de la DTAT cette année-là, ayant permis une explosion dans les Etudes Matériaux (voir IV.3).

Les chefs de département ont été les ingénieurs en chef Champetier (1964) Pflüner (1966) Rebillard (1968) Bouheret (1974 à 1980 année de la création du Centre CMCM.)

II.2.1- Origine

Cet ensemble constituait, à son retour à Paris, le "Service B", héritier de l'Atelier de Précision, qui, installé Place Saint Thomas d'Aquin en 1797, y resta plus d'un siècle et demi.

Etant donné que ce service est à l'origine du LCA, il est intéressant de mentionner quelques faits historiques anciens, tout à fait remarquables :

- réalisation, dès sa création, de la centralisation, de la confection et du contrôle des Instruments Vérificateurs qui conduisit à l'interchangeabilité des armes et des munitions,
- première application industrielle du système métrique aux fabrications d'artillerie en 1827, soit 13 ans avant la loi du 01/01/1840 rendant ce système obligatoire,
- responsabilité et réussite de la fabrication de prototypes tels que : fusil se chargeant par la culasse (1867 Treuille de Beaulieu), le premier canon de 4 rayé de campagne (La Hite), matériel "de Bange", réalisation (1894 Hartmann) du premier système industriel complet d'étalons de précision à bouts (remplaçant les étalons à traits), dont la précision fut obtenue grâce au comparateur automatique enregistreur Hartmann¹²,
- étant données les précisions obtenues dans le service, le prototype n° 17 du mètre étalon, en platine iridié, fut attribué à l'Atelier de Précision et remis le 29 Août 1893 par le Professeur Henri Tresca, membre de l'Académie des Sciences. Il a été déposé au printemps 1940 au pavillon de Breteuil à Sèvres et est encore, également, la propriété de l'établissement,
- contribution importante à la mise au point du système d'ajustement ISA et à la normalisation des filetages (I.G. Nicolau).

En 1949, la Société Française d'Encouragement pour l'Industrie Nationale a décerné la Médaille Richard à l'Atelier de Précision pour son oeuvre accomplie depuis plus de 150 ans dans la diffusion des Systèmes Métriques Internationaux, S.I., I.S.A. et dans le développement de la métrologie industrielle.

II.2.2 - Organisation et Activités

En 1946, le service comprenait essentiellement¹³ sous la direction de l'IP Cain :

- un bureau d'étude pour la conception d'IV ou d'appareils de contrôle dimensionnel, en vue d'obtenir l'interchangeabilité,
- un atelier de précision pour la fabrication (en général au micron) des Instruments Vérificateurs (I.V.),
- un laboratoire de métrologie de précision, (couramment au micron, et au dixième de micron, dans une salle climatisée),
- un laboratoire de microgéométrie des surfaces (états de surface).

¹² : Cet appareil est depuis 1988, exposé au Musée des Sciences et Techniques à la Vilette

¹³ : Il y avait en fait une subdivision beaucoup plus importante mais cette présentation est plus simple donc plus claire.

Cette organisation avait pour objectifs principaux :

- la conception des Instruments Vérificateurs (I.V.), essentiellement pour munitions et bouches à feu, l'étude des instruments de contrôle spéciaux et de méthodes de mesures,
- la fabrication des I.V. des appareils spéciaux de métrologie, plus tard d'ensembles de haute précision,
- le contrôle et le poinçonnage des I.V. pour assurer l'interchangeabilité.

Dès son installation à Paris, le service a rempli des missions relatives à ces objectifs, il a apporté un concours décisif à la DEFA pour le lancement des fabrications et à l'industrie privée pour les commandes offshore à partir de 1951.

Des efforts importants ont dû être soutenus dès 1946 lors du conflit indochinois, pour la reconstitution du stock d'I.V. traditionnels, puis la fabrication d'I.V. correspondant à de nouveaux matériels. A noter la reprise d'une fabrication particulière, celle des Etoiles Mobiles, pour le contrôle de l'âme des bouches à feu, avec une précision améliorée.

D'autre part, des études générales ont été effectuées (avec application essentielle aux I.V.) dans les domaines suivants, avec entre parenthèses les autres applications : superfinitions (APX, , ATS, tiges de frein des canons), chromage (outillage), rodage liquide.

Le service a continué les productions caussadaises d'instruments de contrôle déjà cités, avec quelques compléments, par ex :

- calibres de précision et appareils réglables par cales étalons, Modèle LCA, ce qui diminue considérablement le stock de calibres,
- appareils de contrôle des filetages coniques A.P.I. (American Petroleum Institute) les USA ayant délégué leur poinçon de contrôle pour l'Europe, au LCA, en raison de sa compétence et des précisions obtenues, jugées par eux les meilleures en Europe.

Il a été signalé, dans l'introduction "Le L.C.I.M. à Caussade" la création d'un laboratoire d'état de surface en 1943. En fait, c'est à Paris qu'a été réalisé un ensemble très efficace dès fin 1946, et que des travaux remarquables ont été réalisés, son chef F.A. Michalet a reçu peu après la Médaille de Vermeil de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

Il améliora les résultats antérieurs et porta ses efforts dans les domaines suivants :

- étude de la valeur des différents critères :

$$H_1, h_1, h_m \text{ (ou CLA)}, h_{rms}, K_{rms} = \frac{h_1}{H_1}$$

en utilisant notamment les méthodes statistiques (coop. IPA Cavé),

- étude générale de l'adaptation des états de surface des produits à leur emploi,
- évaluation des appareils du commerce,

- création ou perfectionnement d'appareils :
 - . perfectionnement de la méthode pneumatique Nicolau
 - . appareil de coupe optique (réalisation originale)
 - . diffusiomètre enregistreur (réalisation originale)
 - . microinterféromètre (Breveté),
- conseil auprès des établissements,
- participation déterminante aux travaux de normalisation AFNOR et ISO (notamment en 1954),
- travaux divers pour les établissements de la DEFA et l'industrie.

Parallèlement aux travaux de normalisation, des étalons de surface ont été mis au point et diffusés :

- étalons obtenus par moulage en matière plastique, système MEYER (brevets en France et Etranger, surfaces planes et cylindriques, mis au point en 1955 par le service chimie,
- étalons plus précis, mais plus coûteux, en acier dur trempé et stabilisé, en 1954 (service Pr) diffusés dans les Etablissements de l'Armement et hors armement (RNUR, EDF, etc...).

Ces étalons appelés RUGOTEST, concernaient le fraisage, le tournage, la rectification, plus tard le rabotage, le moulage, le sablage, avec deux catégories : étalons de référence et étalons de fabrication.

Le service a aussi effectué de nombreuses études particulières pour la Commission d'Adaptation des Etats de Surface des produits à l'emploi, créée par la DEFA, notamment :

- . Etudes pour poinçons de cartoucherie (ATE, ATS, AMS) permettant un rendement amélioré,
- . Etude de l'influence de la rugosité des étuis de cartouche et de la chambre des armes portatives, sur le collage au tir,
- . Etude de l'état de surface de tiges de frein de canon,
- . Coopération pour la réussite d'études sur les fabrications de pièces à surfaces fines obtenues par superfinition, rodage, flame plating (I.V.).

Les activités du service ont décru à partir de 1960, mais diverses études ont été reprises au département PCM après sa création.

II.2.3- Création du service Prototypes FP

En 1957, peu de temps après son affectation, l'ICA Cavé réorganise le service en deux parties distinctes :

- PRECISION (Pr) chargée des I.V., et comprenant :
 - . un Bureau d' Etudes,
 - . un Atelier de Précision,
 - . un Laboratoire de Métrologie de Précision (servant aux deux parties).

- SECTION PROTOTYPES (FP) comprenant :
 - . un Bureau d' Etudes
 - . un Atelier de Fabrication de Prototypes

Cette réorganisation spécialisant le personnel a permis de très bonnes réalisations, avec des délais corrects :

- terminaison d'études antérieures concernant les machines à laquer les étuis aciers de 7,5 - 7,62 - 9 mm (TV-3-1),
- étude, fabrication et livraison à l'ATS en 5 mois d'une machine permettant le tri en 4 classes des flancs (pour douilles et obus de 30 mm) suivant leur épaisseur. Cette réalisation est la conséquence d'une étude statistique montrant que la fabrication peu correcte des obus et douilles (20 % de défectueux) n'était pas due à l'établissement producteur, mais à la dispersion des épaisseurs des flancs fournis, dispersion qu'on ne pouvait améliorer (1968),
- nouveau bloc-crusher ¹⁴FAN, remplaçant les deux blocs différents de la DEFA et de la Direction des Constructions Navales. Ce résultat, conséquence de l'entente entre les deux chefs de services, l'un au LCA, l'autre à STCAN a permis à la France de se présenter non divisée au groupe OTAN compétent, tout en améliorant les qualités des blocs crushers,
- un métrographe pour relevé en continu des dimensions de tubes de 1 m à 7,5 m, pour le CEA (Centrale EL4, tubes de force et de gaines),
- un métrographe pour relevé en continu des variations de dimensions de profilés (4 mesures simultanées) pour le CEA/DAM (Réacteur sous-marin),
- un ensemble de séparation, isotopique de UF4 par centrifugation plus rentable que la diffusion, dans la zone "chaude",
- en coopération avec le service E pour la partie électronique : blocs crushers piézo-électriques pour la mesure des pressions instantanées dans les bouches à feu :
 - . bloc VJ59 et blocs suivants VJ60 et VJ63
 - . caméras ultrarapides pour le CEA/DAM: caméras CF4, CF3, CI2, CF1 etc. (voir chapitre III Service E).

II.2.4- Etudes de métrologie générale

De nombreuses études, d'importances inégales, peu spectaculaires et souvent méconnues ont été effectuées, améliorant la précision ou facilitant les mesures, ce qui nécessitait une main-d'oeuvre moins qualifiée et améliorait le rendement. On ne citera que quelques exemples ; dans le domaine des filetages :

- . équipements de contrôle de l'erreur de forme des flancs de filets avec enregistrement du profil,
- . dispositifs de contrôle aux limites des demi-angles de flancs de filet (extérieurs),
- . mesure du déversement du pas des tampons filetés,
- . comparateurs portatifs pour la mesure du diamètre sur flancs des filetages extérieurs.

En ce qui concerne la précision, on a obtenu couramment la précision du centième de micron, lorsque l'état de surface le permet, en créant une salle spéciale avec des matériels adéquats et une ambiance spéciale (température et hygrométrie constante, atmosphère dépoussiérée). L'interféromètre a été poussée à ses possibilités extrêmes.

L'ensemble, que l'on doit à l'ICETA Lebourhis, chef du laboratoire de Métrologie, servait d'étalon primaire.

Plus tard, on a utilisé des lampes krypton et des sources lasers stabilisées sur des raies d'absorption moléculaire.

Le potentiel réalisé et la compétence du personnel faisaient que le laboratoire se plaçait en tête des laboratoires de précision existants et était le conseiller des autres laboratoires.

Le constat des précisions obtenues a fait que le LCA a été choisi comme centre agréé du BNM pour la métrologie des longueurs et des angles (VII-4).

En dehors des travaux courants, de nombreuses mesures, dans des cas difficiles ou très précis, ont été demandées par les établissements, et l'industrie privée, car la qualité du travail était bien connue ; c'est ainsi que l'on a contrôlé, à huit jours d'intervalle, les premiers disques mémoires d'IBM puis BULL.

Parallèlement, le Bureau d'Etudes mettait au point les tracés des I.V. les plus difficiles étant les vérificateurs totaux et étudiait de nouveaux appareils de contrôle, sous la direction de M. Pelé, à qui on doit de nombreux matériels et brevets.

Les chefs du service Précision ont été les ingénieurs de l'armement ou ingénieurs de travaux suivants : Eugène (1940), Cain (1945), Cavé (1956), Meynier (1961), Pffifner (1963), Leboucher (1968), ISC Leclerc (1971).

Les activités du laboratoire de Métrologie ont décliné progressivement dès 1971 mais surtout à partir de 1977, c'est-à-dire après l'affectation de l'établissement à la DRET, Direction dont la motivation de base concerne les Recherches et Etudes.

Plus précisément la conception et la fabrication des I.V. a disparu au début de la décennie 1980 (dernière expédition du stock d'I.V. en 1988). Il faut reconnaître qu'il existe de nouveaux capteurs dimensionnels fiables, performants permettant des mesures multicotes d'utilisation facile par les Etablissements et les services de réception.

Il reste cependant, avec effectifs réduits le laboratoire DGA de métrologie dimensionnelle de haute précision, qui effectue des étalonnages pour l'ensemble de la DGA et les industriels de l'Armement.

Actuellement, ce laboratoire fait partie du service Structure des Matériaux (SM) au sein du centre CREA (VIII-5).

II.2.5- Modification de l'organisation et travaux consécutifs

Le service prototype FP a été affecté à DEL (III), pour raison de commodité, car il travaillait essentiellement pour ce département.

De 1975, date de création de l'ETCA à 1983, les bureaux d'études (Pr, FP, MA) ont été fusionnés ainsi que les ateliers et actuellement forment le Service Mécatronique MT du Centre CREA (VIII-5).

Les études d'IV, leur fabrication ont diminué puis disparu et les activités du service MA (11-3) ont été réduites à la CAO/DAO (automatisation des bureaux d'étude, mise au point des logiciels).

Avec cette organisation, cet ensemble a effectué des études et réalisations remarquables pour d'autres départements ou centres de l'ETCA mais aussi pour d'autres établissements, essentiellement de la DTAT. Les appareils mis au point et utilisés étant très nombreux, on ne citera que quelques exemples typiques, qui, s'ils comprennent tous une partie mécanique délicate, font aussi appel à des techniques variées ; les demandeurs, (cités entre parenthèses) mettant au point certaines parties relevant de leur spécialité (électronique par exemple).

- Métrologie Balistique

- 1972 - Radar de mesure de vitesse de projectile embarquable sur matériels (Radar MIRADOP), de 60 à 2000 m/s ; précision $\pm 0,1$ m/s (EM et ETBS).
- 1972 - Turbine électrique pour cible laser des champs de tir, les turbines utilisées pour les caméras ultrarapides fonctionnant à air comprimé étant exclues (ETBS).
- 1975 - Réalisation d'une ciblure laser, constituée par deux faisceaux laser tournants, réfléchis par turbines (ETBS).

- Appareils de détection NBC

- 1972 -1975 - Appareil DETALAC.
- 1975 -1977 - Prélévateur d'air.
- 1979 - Appareil ADEPTE.

Ces appareils ont pour but d'effectuer sur le terrain des prélèvements d'air contaminé pour donner des mesures et alerter la présence d'agents chimiques (ETCA - SEBC puis CEB).

- Appareillages Spéciaux

- 1972 - Appareils CALIFE, permettant de numériser des images, de les traiter et les visionner (LCA -DEL).
- 1973 - Machine d'étalonnage de capteurs de forces, anneaux dynamométriques en traction et compression jusqu'à 500 Dan (LCA) n'existant pas dans le commerce.
- 1975 - Appareils de contrôle des fusées de 20 mm par rayons X (EFAB).
- 1975 - Vérificateur automatique de filetages de fusées 20 mm (EFAB).
- 1976 - Automates de contrôle pour obus de 155 mm à culot creux après chaque phase d'usinage (EFAB).
- 1978 - Simulateur SIVA (ETCA - CEG). Grande cage Faraday pour étude IEM.
- 1979 - Appareillage (réalisé par un sous-traitant) améliorant les contrastes d'images par traitement électronique (ETCA -CEG).

II. 3. MECANIQUE APPLIQUEE (1960)

(Fusion du LABORATOIRE de MECANIQUE INDUSTRIELLE - LMI -avec la STATION de MACHINES-OUTILS - SEMO).

II.3.1 - Origine

Nous traiterons des activités de deux services en parallèle, ces activités étant complémentaires, et ces services ayant fusionné en 1960.

Avant 1940, l'industrie française n'avait pas à sa disposition de laboratoire spécialisé dans les études d'usinage et les essais de machines-outils alors qu'il en existait à l'étranger :

- Allemagne : Physikalische Technische Reichsanstalt de Charlottenburg.
- Angleterre : National Physical Laboratory de Teddington,
- U.S.A. : National Bureau of Standards, Washington.

Pour combler ce vide :

- l'ingénieur en chef Nicolau créa, en Septembre 1939 au LCA le Laboratoire de Mécanique Industrielle (LMI) pour "remplacer l'empirisme et le tour de main". Sa mission de base était l'étude scientifique de l'usinage. Replié à Caussade en 1940, il travailla avec des moyens réduits, et fut mis en sommeil en 1945, par manque de local disponible à Paris. En Février 1947, il s'installa avec des moyens beaucoup plus puissants dans les locaux de l'ancienne cartoucherie de Vincennes.

Les chefs du LMI ont été ISC Le Bailif (1940), IA Cavé (1943), IPA Eugène (1947).

- l'ingénieur en chef Salmon, auteur des conditions de vérifications et de réception des machines-outils (Normes SALMON 1937), étant chef du service machines-outils au Ministère de la Production Industrielle créa, en Septembre 1940 la Station d'Essais des machines-outils (SEMO) qui s'installa en 1941 à Courbevoie, et en 1951 dans les locaux vacants de l'AMX à Issy-les-Moulineaux.

La SEMO avait la responsabilité des essais des machines-outils, et ces contrôles étaient obligatoires pour avoir l'autorisation de fabriquer une machine nouvelle et étaient proposés aux utilisateurs comme moyen de contrôle de qualité et de réception de machines-outils.

Son directeur a été à partir de 1943 l'IMP Champetier.

Ces deux organismes avaient donc des activités complémentaires, mais aussi quelques-unes communes, par exemple usinages à grande vitesse, usinage à chaud, influence des vibrations des M.O. sur l'usinage.

La SEMO a fonctionné dès 1945 au sein de la DEFA, en tant qu'établissement rattaché à l'APX puis l'AMX, jusqu'à son affectation au LCA en 1954.

Le rattachement de la SEMO s'est effectué en deux temps :

- lorsque le chef du LMI a pris sa retraite en 1957, par limite d'âge, le chef de la SEMO a pris aussi la direction du LMI avec la contrainte de la dispersion géographique, le LMI étant à Vincennes, et la SEMO à Issy-les-Moulineaux,
- ensuite, en 1960, lorsqu'un bâtiment particulier a été construit à Arcueil, le LMI et la SEMO ont fusionné pour constituer le service de Mécanique Appliquée MA.

II.3.2- Activités du LMI et de la SEMO

Les principales activités de cet ensemble ont été les suivantes :

LMI

- Etude scientifique de l'usinage par enlèvements de copeaux. Les essais effectués ont montré que les temps d'usinage préconisés (méthodes Taylor, Cdt Denis, Schlesinger, Kronenberg...) étaient trop imprécis. Des progrès importants ont été réalisés, en prenant en compte l'outil, le matériau usiné et son traitement thermique, la machine utilisée. Ces études générales ont été complétées par la résolution de cas plus concrets pour les établissements : tournage, rabotage, fraisage, meulage, formage, perçage, rodage ; en particulier les études suivantes ont permis de trouver des solutions voisines de l'optimum en durée d'usinage, usure d'outils :

- . aciers au soufre et au plomb,
- . aciers à obus,
- . aciers à canon,
- . aciers à blindage, notamment les plus durs,
- . aciers de décolletage,
- . matériaux spéciaux tels que : magnésium, titane, césium, zirconium,
- . perçage des évents de cartouche,
- . lubrifiants de coupe,
- . mise au point de l'affûtage d'outils carbure (en particulier par étincelage) et début des études d'utilisation de plaquettes outils en céramiques.

- Etude de procédés nouveaux de mise en oeuvre, les procédés physico-chimiques ¹⁹

- . électrolyse,
- . électroérosion,
- . fluotournage,
- . faisceaux d'électrons,
- . formage par explosion,
- . faisceaux laser.

Les applications les plus importantes dans les établissements ont concerné le fluotournage (particulièrement ATS) et l'électroérosion (ATS, ATE, APX, MAC, LRBA, RUELLE, CEA, ONERA) pour des opérations de perçage, des fabrications de tuyères, aubes, ogives, matrices de cartouche, ainsi que des cannelures diverses.

- premiers travaux préliminaires en vue, ultérieurement, d'effectuer des études plus importantes dans le domaine de la commande numérique des machines-outils et de la programmation automatique.

SEMO

- essais de prototypes de machines-outils, pour les constructeurs (mission d'origine) mais aussi pour les établissements de la DEFA, pour faciliter leur choix notamment lors du lancement d'une fabrication ou la conception d'une nouvelle chaîne,

¹⁹ : A noter qu'une part notable des crédits provenaient de la DRME et de la DGRST (contrats spéciaux) de 1964 à 1968

- établissement d'un nouveau code d'essai de machines-outils, participation à l'élaboration du Code ISO d'essais de machines-outils (ISO R 230) base de toutes les recommandations ISO, meneur pour la mise au point des normes AFNOR relatives au contrôle de la précision des machines-outils (tours, fraiseuses, rectifieuses, aléseuses-fraiseuses),
- contrôle de la précision des machines-outils pour les établissements de la DEFA (machines en service) et pour l'industrie,
- étude des états de surface des pièces usinées,
- évaluation des rendements et des vibrations et leur influence sur l'usinage (états de surface notamment).

A l'occasion de ces travaux, de nombreux appareils originaux ont été conçus et réalisés au laboratoire, par exemple :

- appareils de mesures d'angles d'outils, plus commodes que les appareils existants,
- plusieurs porte-outils dynamométriques (améliorant les premières réalisations effectuées à Caussade) pour la mesure des efforts de coupe, utilisant, après les dynamomètres pneumatiques, ne donnant que la valeur moyenne, d'autres capteurs : dynamomètres piézo-électriques à quartz, dynamomètres à fils résistants,
- machine d'essai des limes,
- frictiomètres, etc.

Ces appareils, conçus a priori par le service parce qu'ils étaient jugés nécessaires ont effectivement permis de résoudre divers problèmes d'établissement.

Pendant de longues années la SEMO et le LMI, puis le service MA ont été pratiquement les seuls à effectuer en France des travaux efficaces dans les deux domaines : contrôle des M.O. et mise en oeuvre de la matière.

Ulérieurement, ont été créés :

- en 1961 le CERMO, Centre d'Essais et de Recherches de la machine-outil, par les constructeurs français,
- en 1965 (décision), 1971 (inauguration) le CETIM à Senlis, Centre d'Essais Technique des Industries Mécaniques par la FIMTM, Fédération des Industries Mécaniques et Transformatrices des Métaux. Il a absorbé le CERMO en 1987.

Le CETIM est un grand laboratoire dont les crédits importants proviennent d'un versement obligatoire des industriels mécaniciens, mais pendant 30 ans, l'Armement a supporté la charge des travaux en ce domaine, comblé un vide regrettable et rendu de grands services à l'industrie mécanique française. Dès la création du CETIM, le Directeur de la DTAT ou un de ses adjoints était, es qualité, membre de son conseil d'administration.

A noter que l'IMP Weil, a été le premier titulaire de la médaille F.W. Taylor du CIRP en 1958 (VIII-4).

II.3.3- Missions du service MA à partir de 1961

Les chefs de service¹⁸ ont été ICA Weill (1961), ISC. Sauvaire (1968) , IPA. Richez (1971), IPETA. Authié (1972), ISC. Gillet (1975).

Le service MA a continué un certain temps les activités précédentes, avec une certaine décroissance, jusqu'à disparition après l'affectation du LCA-ETCA à la DRET :

- étude analytique de la coupe,
- contrôle des machines-outils,
- nouveaux procédés de mise en oeuvre de la matière.

Ces activités ont été remplacées par des études et recherches nouvelles dans le domaine de la Commande Numérique des machines-outils et l'automatisation des bureaux d'études et de fabrication.

De 1960 à 1964, le service MA a commencé l'étude de la Commande Numérique (CN) et a créé un atelier pilote en ce domaine en achetant ou commandant des machines prototypes à l'industrie française ; on peut citer Forest dont les premiers prototypes étaient, pour l'époque, très valables pour la C.N. mais ... avaient des glissières défectueuses !! (défectuosités corrigées rapidement). Il a fait des démonstrations d'usinage, créé des stages de formation pour les établissements de la DEFA et les ESAT.

L'importance des études du service MA avait été confirmée par la DEFA qui avait créé par décision 43 804 C/DEFA/OG du 28/12/1964 un comité consultatif auprès de MA pour mieux faire connaître les activités du service et faciliter les retombées sur les établissements producteurs, notamment pour la Commande Numérique.

La création de cet atelier pilote en CN et les activités correspondantes interdirections ont été confirmées par note 50 319 DMA/DPAL/AI du 23 Mai 1966. Cette note créait un groupe de travail animé par DTAT/BEO (ICA Capion), comprenant des représentants des directions techniques, de la DPAI et des industries nationalisées de l'Armement et s'appuyant sur cet atelier pilote pour mieux faire connaître la CN et développer son utilisation dans l'armement. C'est une mission interdirections (VIII).

Le service a testé les différents prototypes reçus, a proposé des modifications nécessaires. Il a généralisé les stages de formation d'ingénieurs, techniciens, programmeurs, contrôleurs à l'ensemble de l'Armement.

La plupart des établissements se sont équipés en machines à C.N. en suivant les conseils de MA.

Le service a, en grande partie de 1965 à 1976 effectué des études comparatives des langages à commande numérique ou mis au point lui-même des logiciels :

APT - IFAPT - MINIFAPT - PROMO - PAN - VULCAIN qu'il a fait connaître aux utilisateurs potentiels.

Il a en particulier élaboré le cahier des charges du logiciel IFAPT, développé ensuite par Cii, enfin transféré dans l'industrie par l'ADEPA (Agence nationale pour le Développement de la Production Automatisée) créée en 1970, notamment sous l'impulsion de la DTAT, et qui a depuis, pour Directeur un ancien chef de service de MA (M. Sauvaire).

¹⁸ : 2 ingénieurs sur contrats chefs de service.

Le logiciel est utilisé dans de nombreuses entreprises avec succès et, à partir de 1976 l'action du service s'est limitée à la diffusion de l'IFAPT et à l'écriture ou l'étude de divers processeurs.

A partir de 1968 a débuté le problème de l'automatisation des bureaux d'études :

- automatisation des calculs techniques. Une bibliothèque des programmes écrits et mis au point par le service ou d'autres établissements a été établie (programmathèque), tenue à jour et diffusée. Certains programmes ont été utilisés en mode conversationnel, à partir de consoles reliées à l'ordinateur du CCSA. L'emploi de programmes de calculs par éléments finis, méthode nouvelle particulièrement efficace, a été généralisé. A titre d'exemple d'application, on peut citer la travure du pont AMX30, des rotors, les portières du moyen léger de franchissement, etc.,
- dessin automatique de profils. A l'aide d'une des premières tables à dessiner automatiques CONTRAVES munie d'un mini-ordinateur, le service a permis des économies considérables pour les travaux répétitifs du bureau d'études et formé des spécialistes pour divers établissements,
- DAO : Dessin Assisté par Ordinateur
- CAO : Conception Assistée par Ordinateur.

Le début en ces domaines se situe en 1974, et cette orientation, à l'initiative du LCA, a été confirmée par note 11.546 DMAVD du 05/09/1975 précisant une nouvelle mission interdirections de l'établissement en matière de CAO DAO.

On a effectué de 1977 à 1981 des travaux de recherche et d'application du logiciel de conception par ordinateur, en 3 dimensions EUCLID conçu par le LIMS1 du CNRS et utilisé par diverses entreprises.

Parallèlement, à partir de 1974, des études, en coopération avec l'INRIA et l'appui de l'ADEPA sont effectuées et ont abouti à la mise au point du logiciel CONDOR 2D (Conception et Dessins par Ordinateur). Ce matériel ayant particulièrement intéressé le CISI, un contrat a été passé avec cette société lui accordant une licence non exclusive de commercialisation de CONDOR version II (1982) sous le nouveau nom de STRIM.

Ce modèle d'usinage interactif est implanté dans les établissements du GIAT et en 1987 le nombre de produits vendus ou loués dépasse la centaine.

C'est un très beau succès dans le domaine mécanique.

A noter que l'établissement a participé de façon très efficace aux discussions de différents groupes de travail nationaux :

- groupe de travail "MECANIQUE" créé par la Délégation à l'informatique,
- groupe de travail "CAO" créé par l'ADEPA,
- comité "MECANIQUE" (Matériaux et Usinage) de la DGRST pour les actions concertées, pour lequel l'ETCA a de plus effectué des travaux concernant les états de surface, le formage par décharge, le fluotournage, l'usinage par faisceaux d'électrons, les alliages réfractaires.

Le service a été affecté à PCM en 1973, ses activités ont diminué mais elles continuent actuellement dans le domaine CAO / DAO, logiciels, au sein du service Mécatronique MT (voir IV-1) du centre CMCM (1980) devenu depuis le CREA (1988) (VIII).

II.4- METALLURGIE (M) (MN)¹⁷

II.4.1- Origine Mission de Base

Le "Laboratoire des Essais Mécaniques" avait été créé en 1894 pour "remédier à l'insuffisance de contrôle des essais mécaniques dans le service de l'Artillerie".

C'est une généralisation de cette mission qui lui a été attribuée par l'instruction 27.812 C/DEFA du 31 Juillet 1946 (X Annexe 3).

L'accent était particulièrement mis sur les matières premières et le service était chargé d'étudier les propriétés d'emploi des matériaux, de rechercher des paramètres facilement mesurables permettant de les caractériser et les contrôler, d'étudier les perfectionnements à apporter aux modes d'élaboration et des traitements des matériaux.

Il devait effectuer les tarages des machines d'essais des services de réception ou aider les établissements à s'équiper en moyens de contrôle.

Enfin, il devait procéder aux essais demandés par les établissements ou services, ainsi qu'à toutes recherches, expertises demandées par l'administration centrale ; il était l'expert en cas de litige avec les fournisseurs ou en cas de rupture de pièces.

Pour cela, le service Métallurgie comprenait des laboratoires :

- d'essais mécaniques et physiques,
- radiométagraphie, - traitements thermiques,
- métallurgie des poudres,
- ainsi qu'un atelier de prélèvements et fabrications.

Il a absorbé en 1964 les essais mécaniques du Laboratoire Central de l'Artillerie Navale, par accord entre les Directions Techniques.

Les chefs de service ont été les Ingénieurs de l'Armement Girschig (1940), Cavé (1946), Bertin (1956), Marie (1961), Morhange (1965) et lors de l'affectation du service à PCM (IV) Udole (1969).

II.4.2- Travaux

Nous donnons ci-après, parmi les nombreux travaux effectués, quelques exemples :

- a. Agréments, réceptions, contrôles de matériaux par essais appropriés¹⁸ (1) essais mécaniques, physiques, métallographiques, radiographiques pour le compte de la DEFA, puis du SIAR ou d'autres organismes d'état ou privés.

¹⁷ : MN lorsque le service Normalisation a été fusionné avec M.

¹⁸ : Les analyses chimiques et physico-chimiques étaient sous-traitées aux services compétents (IV) ; à noter que le service métallurgie a pesé de tout son poids pour l'adoption des procédés physico-chimiques, mais il a fallu près de 10 ans d'efforts.

- b. Expertises sur éléments rompus en service, et études de fabrication défectueuses, en vue de déterminer les causes et proposer des remèdes ou des modifications de fabrications. Exemple :
- . Plomb au sodium en remplacement du plomb à l'antimoine pour la fabrication de balles de fusil (hétérogénéité du produit : fabrication aisée au laboratoire, très difficile en quantité industrielle).
 - . Rupture de douilles (corrosion sous tension) recuit insuffisant, maintien de phase fragile ; c'est le seul cas où un établissement n'a pas voulu accepter le verdict du LCA : le service a fait confirmer son avis par examen à la microsonde Castaing, encore à l'état de prototype
 - . Cassures de pièces d'armes automatiques : ébauchés non conformes traitements thermiques défectueux...
 - . Explosions des premiers engins autopropulsés : alliage léger légèrement différent des livraisons lors des études, proposition (adoptée) d'utiliser le nouvel alliage léger le zircal
 - . Véhicule militaire, proposé par un industriel et pratiquement adopté par l'armée (rompu en marche normale !) : nombreux défauts alliages, soudures, traitements et même conception !
- c. Nombreux essais, pour litiges entre fournisseurs et établissements (alliages, pièces...)
- d. Etalonnages de machines d'essais des établissements de la DEFA et de l'industrie privée. Ces étalonnages étaient vraiment nécessaires, car les établissements n'étaient pas suffisamment équipés et on a même constaté le cas d'un établissement qui, ayant mesuré assez correctement l'erreur d'étalonnage, l'a doublée en effectuant la correction dans le sens opposé ! Les fournisseurs ayant repéré cet état de fait envoyaient à cette cartoucherie des laitons non conformes ! et qui étaient acceptés, d'où incidents de fabrications !
- e. Participation de spécialiste ou réalisation personnelle de cahiers des charges
- Laitons (70/30)
 - Aciers à canons,
 - Aciers à obus,
 - Aciers à blindages,
 - Aciers de décolletage,
 - Zircal.
- f. Etudes diverses, à la demande des établissements ou de la DEFA. Ex :
- . Etudes à l'initiative du service, pour prouver que, sous un effort donné, les fissures s'amorcent aux impuretés, alors que des métallurgistes éminents soutenaient le contraire. (En fait, les fournisseurs voulaient réduire les conditions des Cahiers des Charges, principalement la condition concernant les impuretés dans les aciers à canon).
 - . Etude métallurgique d'évaluation d'obus perforants. Le service a établi un classement contraire à ce qui était d'ordinaire admis, mais confirmé au tir : on préférait des alliages sophistiqués en produits d'addition, alors que l'élaboration correcte était la caractéristique essentielle.
 - . Evaluation métallurgique des ébauchés de canons obtenus par centrifugation, montrant de nombreux défauts internes (au moins 20 % d'ébauchés défectueux), évaluation permettant à la DEFA de prendre la décision de ne pas utiliser ce procédé, donc de ne pas dépenser une somme considérable dans des

investissements inutiles. A noter cependant qu'il a fallu, pour obtenir cette décision, attendre confirmation du point de vue du LCA lors d'une mission OTAN en 1953 du Chef de service, (confirmation obtenue au cours d'une réception... et non en séance officielle).

Mise au point de traitements thermiques pour les établissements et, notamment, étude, utilisation et diffusion des nouvelles méthodes de traitement TTT (courbes en S).
Mise au point de systèmes de tri pour mélanges divers, en alliages différents (aciers, baguettes de soudure, etc.).

- g. Etude, fabrication d'appareils de laboratoire divers, ou de traitements, et surtout évaluation de matériels du commerce pour mieux conseiller les établissements : (appareils de mesure de dureté, machines de traction, radiographie) et contrôle non destructif (les appareils du commerce, à prix équivalents, présentaient des qualités très différentes).

Un appareil remarquable, mis au point à Caussade, est le microscéléromètre Girschig, effectuant des mesures de dureté, au microscope, avec pyramide Vickers, sous faible charge (10 à 100 g). Il a permis au successeur de l'inventeur à la Direction du service, d'établir des abaques donnant les conditions simples à respecter pour déterminer correctement la dureté des dépôts de chrome dur, abaques adoptés par les industries françaises et américaines.

- h. Nombreux stages pour techniciens de laboratoire, pour leur apprendre à effectuer correctement les essais, et à les interpréter, particulièrement en ce qui concerne les micrographies et les macrographies.

- i. Création d'un laboratoire de Contrôle Non Destructif (CND) permettant d'aider les établissements : radiographie, gammagraphie, ultrasons, ressuage, méthodes électromagnétiques, courants de Foucault, contrôle géométrique indirect.

- j. Etude particulière : la Métallurgie des Poudres (frittage). Le service a eu pour mission d'évaluer ce procédé de mise en oeuvre de la matière : compression de poudres métalliques dans une matrice et frittage, c'est-à-dire élévation du comprimé à une température convenable, dans une atmosphère déterminée, pour obtenir un objet possédant des caractéristiques géométriques, mécaniques ou physiques conformes aux spécifications.

Ce procédé de mise en oeuvre de la matière a tout d'abord fait l'objet d'études générales qui ont été suivies d'applications dont les principales (en dehors d'essais de fabrication de balles frittées pour l'ETVS) ont été les suivantes :

- des ceintures en fer fritté pour différentes munitions ont été mises au point et fabriquées en série au LCA. Les résultats ont été analogues à ceux obtenus dans d'autres pays, mais avec des effectifs en personnel au LCA ridiculement plus faibles.
- les recherches principales ont été effectuées en vue de la fabrication en série de pièces d'armes, avec un prix de revient considérablement diminué. Le service a été le premier à obtenir des pièces correctes en acier fritté, par cémentation gazeuse à coeur, pendant le frittage de comprimés de poudre de fer en 1947.

Après mise au point du procédé, des pièces en acier fritté (gâchettes, guidons, cames, plaquettes, ect.) ont été fabriquées en série pour convaincre les manufactures de la valeur des produits obtenus, avec des économies de prix pouvant

atteindre 70%. On a produit quelques centaines de milliers de pièces diverses pour arriver à ce résultat, ce qui a permis de trouver un procédé de traitement des matrices permettant de doubler à tripler leur durée de vie. Une came pour autopropulsé a été produite pratiquement sans défaut alors que par les procédés d'usinage classique on en refusait 95 % (tolérance $\pm 0,01$ mm). Ces études de frittage ont été terminées vers 1965, mission remplie, les établissements commandant alors les produits dans l'industrie privée, mais en sachant réceptionner ces pièces.

k. Etudes diverses (aide à la fabrication, études d'amélioration)

- . Douilles en alliage léger,
- . Chromage de tubes d'armes automatiques (amélioration de la durée de vie),
- . Contrôle des soudures (mise au point),
- . Frittage d'oxydes (pour autopropulsés LRBA), . Frittage produits céramiques,
- . Polissage électrolytique (amélioration).

I. Conseil auprès des Etablissements de la DEFA pour la création ou l'amélioration de laboratoire de contrôles et d'essais. Il était normal d'aider les établissements dans leur recherche d'obtention de mesures correctes, au moindre prix, sans avoir à passer par le LCA. Cette action a été aussi bénéfique plus tard : un établissement (ATS) a en fait créé des laboratoires de contrôle et de recherche très compétents, ce qui a été particulièrement utile à DTAT, lorsque de nouvelles missions ont été attribuées au LCA-ETCA, et là surtout lorsque ce dernier a été affecté en 1977 à la DRET avec diminution des activités du domaine mécanique.

II.4.3- Mission Analyse et Contrôle Statistique¹⁹

Le chef de service IICA Cavé a été chargé du Cours d'Analyse et de Contrôle Statistique à l'ENSAR, alors qu'il n'y connaissait rien (Méthode IG Nicolau très valable, pour avoir à la DEFA, des ingénieurs compétents dans des domaines d'avenir). Il devait aussi être à la disposition des établissements pour interpréter de façon correcte des ensembles de résultats et leur diffuser des méthodes statistiques utiles et leur éviter des erreurs d'interprétation.

Il a été amené à effectuer des études personnelles en ce domaine dont les principales, utilisées pour les fabrications d'Armement sont les suivantes, non spécifiques de la métallurgie.

a. Contrôle de réception

- . Mise au point d'un abaque simple, permettant de déterminer simplement les conditions de réception à partir des risques du client et du fournisseur et résumant des livres entiers de conditions. Cet abaque est aussi utilisable pour les réceptions du point de vue fiabilité, avec la même facilité,
- . Critiques sévères des normes américaines MIL-STD-105 A puis B, la B ayant été adoptée - hélas - par la DEFA sans demander l'avis du LCA. L'OECC (Organisation Européenne du Contrôle de Qualité, où il était représentant de la France) a adopté ses critiques, les américains les ont reconnues (en fait, ils avaient fait, a-t-il semblé, à peu près les mêmes remarques sans le dire) et après des calculs longs et coûteux ont produit en 1963 une nouvelle norme militaire MIL-STD-105D (désignation

¹⁹ : Les statistiques ont suivi le chef de service lors de sa mutation au service Précision en 1966, mais pour simplifier sont exposés seulement dans le texte relatif au service Métallurgie où elles avaient débuté.

internationale ABC-STD-105) rectifiant les défauts des normes précédentes et respectant les modifications demandées par l'OECD (dont les 3/4 provenaient du LCA).

Le LCA a fait de gros efforts pour l'utilisation de cette norme : cours ENSAR et ETS, informations auprès des établissements dont certains d'entre eux l'ont utilisée pour les commandes à leur fournisseur, mais il a fallu attendre son adoption par l'AFNOR en 1967 (Normes NF-X0621, 22 et 23) et en 1969 par l'OTAN, (après mission OTAN de l'ICA Cavé) pour que la DTAT accepte ces nouvelles conditions plus efficaces et moins coûteuses. (A noter que les forces militaires du pacte de Varsovie ont adopté ces normes trois ans avant l'OTAN !).

b. Contrôle en cours de fabrication

Diverses études ont abouti à des résultats positifs et deux d'entre elles ont fait l'objet de Comptes Rendus à l'Académie des Sciences, par ex. :

- contrôle par limites modifiées
- contrôle par calibres modifiés (30 à 70 % d'économie du coût)
- fréquence des prélèvements
- détermination statistique optimale des intervalles de confiance dont une minimisant le prix de revient de la fabrication
- minimisation des pertes de matières
- étude statistique des appariements.

Elles ont été appliquées par divers établissements de la DEFA, et dans l'industrie automobile surtout.

c. Tests, Plans d'Expérience et Mise au point des méthodes nouvelles

Le service a effectué pour les établissements divers travaux d'analyse statistique et a établi des plans d'expérience classiques.

Parmi les méthodes nouvelles mises au point par le service, la principale est la méthode des séries différences, qui a notamment permis de démontrer que l'appareil étalon de mesures de V_0 , le chronographe Le Boulanger-Bréger, était le plus dispersé des appareils de mesure !

Action continue pour remplacer pour les essais et études le H + L par l'écart-type, beaucoup plus efficace.

d. Les ESAT

ayant quelques difficultés à produire le cours d'Analyse et Contrôle Statistique, ce dernier a été édité en librairie sous le nom de "Le Contrôle Statistique des Fabrications", ce qui a permis une bonne édition à coût très réduit pour les ESAT.

- Hors armement, il faut signaler la participation aux activités suivantes dans le domaine statistique, ayant des retombées dans l'Armement :
 - . Etablissement de plus d'une vingtaine de normes statistiques (Qualité, Tests) en coopération avec d'autres spécialistes.
 - . Fondation de l'AFCIQ (Association Française du Contrôle Industriel de la Qualité en 1957) membre de l'EOQC (voir VII.4).

Participation à la création en 1952 du Centre de Formation aux Applications Industrielles de l'ISUP (Institut de Statistiques des Universités de Paris). De nombreux ingénieurs et techniciens de la DEFA n'ayant pas suivi les cours des ESAT ont suivi des stages de ce centre dont le nom actuel est le CERESTA.

L'ensemble des travaux a valu au chef de service d'être élu à l'IS (Institut International de la Statistique) et de recevoir, le premier, le prix G. BOREL sur la qualité.

II.4.4- Activités à partir de 1970

Le service ayant été affecté au département PCM en 1989, avec des missions nouvelles, ces activités sont exposées en IV.3.

CHAPITRE III

DOMAINE ELECTROMECHANIQUE

(SERVICE ELECTROMECHANIQUE ET
DEPARTEMENT ELECTRONIQUE DEL)

III.1- ORIGINE

Le service électromécanique (E) créé fin 1940, a eu comme chef de service l'IM Fayolle de 1940 jusqu'en Novembre 1956, date de sa nomination au poste de sous-directeur du LCA.

Il a été constitué par la fusion du service Electricité du LCFA, du service des inventions de ST/ DEFA et du laboratoire de Balistique Intérieure de Satory. Ont été ensuite affectés au service, l'IM Naslin, (1943) à sa sortie de l'Ecole Supérieure d'Electricité, les IM Sestier (1947) et Bonnet à leur sortie de l'ENSAR.

Dès sa création, le Service électromécanique ainsi constitué orienta son activité²⁰ vers celle qu'avait eue son Chef auprès de l'IMC Libessart, à savoir: développement de moyens expérimentaux appliqués à la balistique, c'est-à-dire à la métrologie de phénomènes se déroulant dans des temps très courts et mettant en jeu des forces, vitesses, accélérations ou pressions élevées. Les études théoriques de balistique intérieure et extérieure, par contre, ne furent pas poursuivies.

A la fin des hostilités, au sein du LCA reconstitué le Service Electromécanique formait un laboratoire bien structuré, doté d'un personnel d'une haute valeur technique, très au fait des technologies les plus avancées de l'époque et disposant d'un matériel moderne il était ainsi prêt à aborder les problèmes nouveaux qui se présenteraient à la DEFA dans les domaines vers lesquels il s'était orienté et notamment, mais non exclusivement, pour le rééquipement métrologique des établissements d'expériences et des centres d'essais et d'études.

C'est à cette époque, en Mai 1945, que l'IM Fayolle, en mission en Allemagne, y rencontra le Professeur Shardin à Biberach. Ayant pu apprécier le capital scientifique et le potentiel Expérimental du laboratoire de l'institut de Balistique de la Luftkriegsakademie de Berlin-Gatow, replié dans cette région sous la conduite du Prof. Schardin, il procéda au transfert en France de ce laboratoire, puis à son installation à St-Louis. Toute l'opération fut conduite dans le cadre du LCA et soutenue par l'G.Nicolau son Directeur. Le LRSL prenait naissance à St-Louis le 16 Août 1945 comme Annexe du LCA, nombreuses furent les missions d'ingénieurs à St-Louis, souvent en liaison avec des visites de représentants des puissances alliées.

Une collaboration fructueuse s'établit ensuite pour tout ce qui concernait les moyens expérimentaux développés au LRSL²¹.

Le Service réintégra Paris en Juin 1945 à Saint-Thomas d'Aquin dans des conditions assez précaires. Il procéda aussitôt au recrutement de nouveaux cadres, Mlle Wietzel Ingénieur de l'Institut d'Optique, puis M.Devaux Ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electronique et d'Electrotechnique de Toulouse. En 1948, il fut transféré et installé très convenablement à Vincennes dans l'ancienne cartoucherie où

²⁰ : Voir Introduction, le LCIM - Caussade § B3

²¹ : Voir document de Laboratoire de Recherches de Saint-Louis par l'G. Fayolle(VOLUME 3.2)

le LCA devait en principe, s'implanter en totalité. C'est à cette époque que l'IM Bonnet fut affecté au Service à sa sortie de l'ENSAR, ainsi que Monsieur Ceschino, Docteur en Sciences (Mathématiques).

M. Devaux prenait en charge le laboratoire de photographie instantanée et cinématographie ultra-rapide, cependant qu'un laboratoire d'optique était créé par l'IMC Sestier en 1948 et confié en 1954 à Mlle Wetzal et que l'IM Bonnet prenait la direction d'un laboratoire d'étude de servomécanismes (1949).

L'ensemble du Service s'installa définitivement au Fort de Montrouge à Arcueil en 1954 dans des locaux fonctionnels nouvellement construits où le renforcement des effectifs s'opéra progressivement.

III.2 - ORGANISATION ET PRINCIPAUX AXES D'ACTIVITE

Le service E, qui comprenait des laboratoires de photographie et cinématographie ultrarapides, d'électricité, de radioélectricité, de piézo-électricité, a renforcé son potentiel en personnel ainsi qu'en matériel. Son chef de service depuis 1957 a été l'ISC Devaux.

Lors de la réorganisation de l'Etablissement en 1964, en tenant compte de l'expansion de ses activités, il devint le Département Electronique DEL, toujours sous la Direction de Monsieur Devaux, comprenant les services suivants :

- Métrologie Balistique MB (IPA Schwebel) chargé de résoudre les problèmes concernant l'acquisition, l'enregistrement et le traitement des mesures,
- Fabrications de Prototypes FP (IPA Bouheret) responsable de l'étude et de la fabrication de partie mécanique des études et réalisations du département,
- Calcul et Traitement de l'Information CT (ICA Sestier),
- Optique Physique OP (IPA Chabannes).

Le service CT a succédé au service MC (Machines à Calculer) après la création du CCSA en 1966 (III.2 Informatique).

D'autre part le service FP créé à partir du service Précision Pr en 1957 (voir II.1 Précision) comportant un bureau d'Etudes et un atelier, travaillait beaucoup pour E (caméras ultra-rapides, blocs piézo-électrique, etc.) : il a été rattaché à DEL en 1966.

Plus tard en 1975, en raison de la régression des activités dans le domaine mécanique, on a fusionné les bureaux d'étude et les ateliers mécaniques de l'ETCA, donc fusionné FP avec les restes de Pr et MA (voir II.1).

A la même époque, lors de la création de l'ETCA, (décision 11 320 DMA/D du 24/07/75) le SECT (Service des Equipements des Champs de Tir) a fusionné avec DEL pour devenir le CTME (Centre Technique de Mesures et d'Essais), (le deuxième centre de l'Etablissement avec le CEG), actuellement sous le même sigle en 1988, en ayant perdu le service OP (essentiellement lasers) muté dans un autre centre le CMCM devenu CREA (voir VIII et X Annexe).

L'activité du Département "ELECTRONIQUE", a été progressivement centrée sur la mesure autour des Armes et des Engins, avec comme voies d'études principales :

- l'acquisition et le stockage des données sous différentes formes (support magnétique photosensible, diélectrique, électronique, en particulier) ;
- le traitement et l'exploitation des données sous forme automatique ;
- l'évaluation des nouveaux moyens de mesure, avec en particulier les essais et la comparaison de tous les matériels de pointe dans le domaine des mesures "soi".

Ce département a été appelé à faire des études fondamentales conduisant à des réalisations dans des domaines aussi variés que :

- la physique et l'optique, où les réalisations en cinématographie ultra-rapide sont à la pointe des réalisations françaises ;
- l'ultra-vide (pressions inférieures à 10^{-10} Torr) ;
- la conception des appareillages embarquables sur fusées ou satellites, par exemple spectromètres de masse, pointeurs de soleil, enregistreurs ;
- l'électronique, où les réalisations vont de la conception d'appareillages de mesure de paramètres divers (vitesses, temps, pression, température, déplacements, accélération au sol) jusqu'aux systèmes de télémesures en passant par les appareillages de traitement automatique de mesures ou télémesures pour exploitation sur ordinateurs ;
- la programmation, ou la mise en forme des éléments de mesures et télémesures en fonction des exigences de l'acquisition constitue une des activités de base.

La politique générale et les axes principaux d'études et travaux sont précisés ci-après.

Politique générale

La politique de E et DEL a toujours été de se tenir à l'avant-garde de la technique intéressant son domaine d'activité, caractérisée par l'apparition de l'électronique, puis de l'ordinateur. Cet effort s'est exercé, d'une part par les travaux propres au Service, d'autre part par une veille technologique active visant à ne laisser échapper aucune innovation prometteuse. Dans bien des cas, le Service a dû créer des matériels doués de performances supérieures à celles des produits industriels, afin de satisfaire les besoins exprimés par les utilisateurs travaillant pour la Défense. Il a ainsi réalisé les premiers compteurs électroniques à la microseconde. Dans d'autres cas, il a construit des matériels qui existaient bien sur le marché international, mais dont l'achat était impossible en raison de l'utilisation dans des domaines sensibles. Tel fut le cas pour les caméras ultra-rapides qui ont équipé les champs de tir nucléaires.

Il fallait en outre faire connaître les capacités du Service aux personnels de la Défense. C'est pourquoi les Ingénieurs, et notamment les Ingénieurs Militaires, se sont efforcés de communiquer leur savoir aux Ingénieurs-Élèves et aux Officiers stagiaires de l'École nationale supérieure de l'Armement, ainsi qu'aux élèves des Ecoles techniques. Cet effort a porté principalement sur la métrologie balistique et sur l'automatique, ainsi que sur les travaux pratiques d'électrotechnique et d'électronique.

Certains cours sont devenus des ouvrages de librairie, qui ont été souvent les premiers de leur espèce en langue française tel fut le cas pour "Photographie instantanée et cinématographie ultra - rapide", par les IM Fayolle et Naslin (1950), qui n'a pas eu de concurrent français jusqu'en 1987, et "Les systèmes asservis", par l'IM Naslin (1951), "la Mesure des Courtes Durées" par les IM Fayolle et Naslin (1953).

Le rayonnement extérieur du Service E a été marqué par un grand nombre de publications en librairie et dans les revues techniques, de conférences aux Sociétés savantes et de communications aux Congrès internationaux de cinématographie ultra-rapide, de chronométrie et d'automatique. Dans le domaine de la cinématographie ultra-rapide, le LCA a été l'initiateur du premier Congrès international, qui s'est tenu à Paris en 1954, et le chef de file pendant 20 ans de la représentation française aux Congrès suivants. De même, le Service E était considéré par les services de la DEFA comme leur correspondant auprès du Laboratoire de Recherche de St-Louis pour l'instrumentation.

Enfin de 1945 à 1960, les IM Fayolle et Naslin ont effectué de nombreuses missions techniques au Royaume-Uni et aux Etats-Unis, dont ils ont visité les laboratoires de recherche militaire, les installations d'essais et les champs de tir. Ces missions leur ont permis, grâce aux travaux poursuivis pendant les hostilités, d'assimiler rapidement les progrès importants accomplis pendant la guerre, aussi bien en métrologie balistique que dans les domaines naissants de l'automatique et de l'informatique.

En conclusion, le service a fourni la plupart des équipements en métrologie balistique des établissements de la DEFA, d'autres Directions Techniques et des industriels tels que Luchaire.

Métrologie balistique

L'objectif en ce domaine était de rééquiper en matériels modernes les laboratoires de recherche, les centres d'essais et les champs de tir de la DEFA et des Armées. L'introduction de l'électronique a permis d'en améliorer les performances en réduisant sans cesse l'échelle des temps, qui est passée de la milliseconde des appareils électromécaniques à la nanoseconde des matériels récents les plus perfectionnés. Ainsi, la résolution des compteurs électroniques utilisés comme chronomètres est passée en 25 ans de dix microsecondes au dixième de microseconde. Ce progrès a permis de réduire la longueur des bases optiques utilisées pour la mesure des vitesses initiales des projectiles de 2 m en 1955 à 10 cm pour la microbase de 1978, tout en conservant la même précision relative de 1 pour 1000. Les compteurs électroniques, associés à divers types de capteurs, ont également été utilisés pour mesurer les durées de trajet des projectiles et missiles, ainsi que d'autres durées intéressant les balisticiens.

Des progrès semblables ont été accomplis dans le domaine de la mesure des pressions dans les bouches à feu, où l'on est passé des "crushers" aux enregistreurs électroniques associés à des manomètres piézo-électriques, les VJ60 - 61 et 63 en coopération avec le service Pr (partie mécanique), qui ont succédé aux matériels assez primitifs utilisés à Caussade. Le détecteur de crête fournit même une indication immédiate de la pression maximale. Des manomètres piézo-électriques et capacitifs ont aussi été mis au point pour la mesure des pressions dans les ondes de choc et de souffle, notamment dans le cas des détonations simulées ou réelles des charges nucléaires dans l'air et sous terre.

On a utilisé des capteurs diversifiés :

- d'une part quant au choix des matériaux :
 - . céramique pour les pressions faibles (tubes à choc),
 - . quartz pour les pressions élevées (pressions dans les armes),
- d'autre part, quant à la conception de la prise de pression :
 - . capteurs à piston,
 - . capteurs à membrane.

Photographie instantanée et cinématographique ultra-rapide

Les techniques de photographie instantanée et de cinématographie ultra-rapides concernaient à l'origine les problèmes de balistique terminale. Les études et mises au point par le service E, puis DEL, ont extrapolé et perfectionné les possibilités en ce domaine et ont abouti à des appareils ou ensembles pouvant être mis en oeuvre à l'occasion de tests de recherches exigeant des prises de vues à cadence élevée :

- détonique,
- aérodynamique,
- expérimentations nucléaires,
- études de plasma.

On atteint en effet des temps de pose compris entre la microseconde et quelques dizaines de picosecondes et des cadences de prise de vue pouvant aller de quelques milliers d'images par seconde (pour l'étude des phénomènes mécaniques) à 15 millions d'images par seconde (pour l'analyse des tout premiers instants de la détonation des charges nucléaires). Le Service E a donc mis au point toute une gamme de sources lumineuses brèves, d'obturateurs ultra-rapides et de caméras ultra-rapides.

Les sources-éclair ont permis d'équiper un certain nombre de tunnels et de stands de tir afin d'observer l'évolution de maquettes ou de projectiles en vraie grandeur. Ces prises de vues par ombres, par striescopie ou par réflexion ont accéléré la mise au point de projectiles nouveaux, tels que les projectiles-flèches anti-char. La source-éclair la plus puissante étant le Défatron, qui utilisait une étincelle glissante d'une puissance de 200 joules et d'une durée d'une microseconde (M. Devaux).

Dans le domaine de la cinématographie ultra-rapide, les caméras striescopiques du type Cranz-Schardin à éclateurs et objectifs multiples ont été utilisées pour des études de laboratoire dans divers domaines allant de la rupture des verres à la balistique médico-légale, en passant par la perforation des blindages. Mais ce sont surtout les caméras à miroir tournant et couronne d'objectifs qui ont fait le renom du LCA, fournisseur de la Division des Applications militaires du CEA depuis 1957.

Ce sont ces caméras, ainsi que des caméras à fente et des obturateurs ultra-rapides à cellules de Kerr et de Pockels qui ont équipé le Centre de Recherche de Vaujours et les centres d'essais de la DAM à Reggane²², In Amquel et Mururoa. Ces matériels ont joué un rôle de premier plan dans la mise au point des armes nucléaires françaises.

En particulier, pour la toute première explosion nucléaire française, qui a eu lieu à Reggane le 13 Février 1960, le LCA a eu l'entière responsabilité de l'instrumentation optique (Mlle Wetzel) : construction des appareils, équipement du blockhaus

²² : S'écrit aussi Reggan.

d'observation et service des matériels qui comprenaient notamment 4 caméras à miroir tournant et 36 obturateurs à cellule de Kerr synchronisés sur la lueur. Le LCA a été également chargé de l'équipement et du service des deux tours d'observation en caméras à déroulement continu Acmade, Debrie et Fastax. Enfin, le générateur d'impulsion de mise à feu de l'explosif du premier engin nucléaire est d'origine LCA, qui avait déjà fourni un certain nombre de générateurs analogues au Centre de Vaujours (M. Blanchet).

Informatique et traitement de signaux et d'images

Ces deux domaines sont inséparables, car les signaux et les images doivent d'abord être numérisés et mémorisés avant d'être soumis à un traitement numérique.

Dans les années 50, le Service E a fait construire par la Société d'Electronique et d'Automatisme (SEA) la première calculatrice numérique universelle française, CUBA (Calculatrice Universelle Binaire de l'Armement) qui, malgré une fiabilité médiocre, a joué un rôle de pionnier dans notre pays. En même temps, les rudiments du calcul numérique automatique et de l'informatique étaient enseignés à l'ENSAr au moyen d'une calculatrice électromécanique de démonstration, CODA. D'autre part, le Service E a joué auprès du LRBA le rôle de conseil pour la conception et la fabrication de SABA, Simulateur Analogique Balistique de l'Armement. Cette machine présentait l'innovation de confier à des circuits de calcul numérique le soin d'effectuer les changements de coordonnées du référentiel du missile au référentiel terrestre, qui requièrent une précision que ne pouvait assurer le calcul analogique.

Le Laboratoire de Calcul MC, dirigé par l'ICA Sestier et équipé d'abord de CUBA, de divers matériels notamment Gamma 3 de BULL, IBM 650, IBM 7040, a effectué de nombreux travaux pour la DEFA, les services de la Défense et certains services extérieurs, dont la DAM du CA, jusqu'à la création du Centre de Calcul Scientifique de l'Armement (CCSA) en 1965 et son affectation au SCTI, en 1966, à partir d'éléments importants de ce laboratoire de calcul (DM n°. 6451 DMA, BDT du 31/12/1965).

Ainsi, le Service E, puis Le Département DEL du LCA, puis de l'ETCA, étaient prêts à concevoir et à fournir aux centres de recherche de la DEFA, ou de la DTAT, puis de l'ensemble de l'Armement, ainsi qu'à des services extérieurs tels que le CNES, des ensembles d'acquisition et de traitement de signaux et d'images préalablement numérisés ou provenant directement de capteurs numériques.

Automatique

Le Service E a également joué le rôle de pionnier dans ce domaine, puisque l'IM Naslin dispensait dès 1947 le premier cours de servomécanismes à l'ENSAr et publiait en 1951, sous le titre "Les systèmes asservis", le premier ouvrage en langue française de ce domaine. Ce livre a été suivi de nombreux autres sur les systèmes asservis, les automatismes séquentiels, les systèmes linéaires et non-linéaires et la commande optimale. Leur auteur a de plus créé une nouvelle méthode de calcul des systèmes asservis utilisée entre autres à l'EDF et à l'Aérospatiale et fondée sur une nouvelle famille de polynômes normaux qui portent son nom, et, avec P. Girard, une nouvelle méthode de calcul des systèmes séquentiels industriels, précurseur du GRAFCET devenu norme internationale.

Sur le plan des applications, a été créé le Transféromètre, appareil de mesure des fonctions de transfert, ainsi que divers matériels automatiques dans les domaines de l'instrumentation de la machine outil. Une étude de l'opérateur humain a aussi été effectuée et a abouti à une thèse de doctorat d'Etat (J.C. Raout).

Centre DMA de qualification des composants et chaînes de mesures

Le service E et surtout le département DEL ont constamment effectué, avec succès total de nombreux travaux, non seulement pour la DTAT, mais aussi pour d'autres Directions de la DMA, par exemple en 1968 :

- étude d'une chaîne d'essais moteurs pour l'ETAS,
- étude de deux chaînes d'automatisation d'essais pour les H.I.A. de Bordeaux et Croix-d'Hins,
- étude et réalisation d'un ensemble d'acquisition pour le CAEPE,
- étude et réalisation d'un ensemble d'acquisition pour l'ETBS,
- achèvement du projet SYLVIE (visualisation des mesures pour le CEV),
- enquête sur les moyens de calcul de la DMA dans le Sud-Ouest,
- organisation de stages mesures au LCA pour les spécialistes DMA.

En considération des travaux effectués, le LCA a été désigné, par décision n° 52 369 DMA / DPAI du 29 Octobre 1968 comme Centre de qualification de composants ou d'ensemble de chaînes de mesures pour essai au sol ou sur engins, et comme organisme pilote, chargé d'assurer une homogénéisation des techniques d'acquisition et de traitement des mesures dans les Etablissements de la DMA.

On voit se concrétiser en ce domaine comme en d'autres (Mécanique II.2, Nucléaire V) une mission interdirections du LCA (voir VIII).

Cette mission a consisté en :

- la définition des méthodes d'évaluation et d'emploi,
- la tenue de listes préférentielles de matériels,
- la qualification d'équipements, et la fourniture d'avis techniques,
- l'exécution de travaux d'études pour la DRME et les Directions Techniques,
- la diffusion des travaux du LCA et de la documentation.

Les appareils soumis aux essais sont :

- capteurs pour mesures de pression, températures, déplacements, forces,
- amplificateurs de tension de tous types utiles pour les chaînes de mesures,
- commutateurs (mécaniques, électroniques, hybrides),
- enregistreurs graphiques, magnétiques,
- alimentations.

Métrologie des basses pressions

A la demande de la DRME, le Département Electronique a lancé, en 1965, la création d'un laboratoire de Métrologie des basses pressions qui pouvait effectuer en parallèle des études de techniques appliquées et des travaux de métrologie fondamentale.

Ses moyens importants lui permettent, par exemple, d'effectuer des mesures allant suivant les appareils jusqu'à 10^{-9} torr (pompe à diffusion) et 10^{-11} torr (pompe ionique), de plus un banc d'étalonnage absolu a été mis au point.

Cet ensemble a apporté son concours à diverses études du domaine spatial (appareils scientifiques de bord pour satellites ou fusées).

III.3-REALISATIONS MARQUANTES

Dans cette troisième partie, des détails sont donnés sur les réalisations les plus marquantes dont les grandes lignes ont été mises en lumière dans la partie précédente. L'ordre des matières n'est pas toujours le même, car le point de vue stratégique cède ici la place aux aspects techniques.

PHOTOGRAPHIE INSTANTANEE (Section de M. Devaux)

Sources lumineuses brèves

L'éclateur ponctuel Libessart, pour photographie par transparence par la méthode des ombres, a été modernisé par une commande électronique par thyatron (Devaux).

L'étincelle glissante mise au point à St-Louis a été appliquée au Défatron, source lumineuse d'une durée de 1 microseconde et d'énergie 200 Joules pour photographie par réflexion. A l'ETBS, un stand de tir a été équipé d'une douzaine de postes comportant chacun un Défatron, une barrière optique de déclenchement et deux appareils photographiques formant couple stéréoscopique. Des installations ont également été fournies à Hotchkiss-Brandt et au LRBA ; cette dernière installation comprenait 13 postes de prise de vues et des dispositifs de mesure de vitesse à compteurs-chronomètres à la microseconde (1953-55).

Des prises de vue ont été effectuées au moyen de tubes d'images Vidicon, iconoscope, super-iconoscope et "image orthicon" en mode impulsionnel (1955-58).

Des impulsions lumineuses ultracourtes (quelques nanosecondes) ont été extraites de cavités laser au moyen d'un extracteur électro-optique (1968) pour les besoins du LCT. La compression d'impulsions laser a été réalisée pour le Laboratoire d'Optique appliquée de l'école Polytechnique et de l'ENSTA au moyen d'un déviateur angulaire ultra-rapide (1° par nanoseconde). Les techniques électro-optiques impulsionnelles ultra-brèves (50-100 picosecondes) ont été appliquées aux techniques laser (déclenchés, modes bloqués), aux diagnostics laser et à la cinétique chimique rapide.

Enfin, la radiographie éclair a été appliquée à la balistique et à la médecine (radiographie cardiaque pour le Dr Marchall à l'Hôpital St Antoine).

Obturbateurs ultra-rapides à cellules de Kerr

Les premières cellules de Kerr au nitrobenzène ont été construites par le laboratoire de M. Tawil autour de 1950. Le temps de pose, initialement de 1 microseconde, est descendu à 0,2 microseconde pour les besoins du CEA (Reggane) (1957-60), puis est entré dans le domaine de la nanoseconde par le développement de techniques impulsionnelles brèves par M. Blanchet (1960-62). Des chambres à cellules de Kerr

équipées avec des objectifs de différentes focales et un même transport d'images ont été construites à l'APX suivant un brevet ICA Déramond (1957-60). Une batterie de 6 cellules de Kerr associées à un même objectif de grande focale permettait de prendre 6 images consécutives (1961-64).

En 1963-64, une recherche menée par M. Blanchet en collaboration avec le service Chimie Physique du LCA visait à l'obtention de nouveaux liquides électro-optiques présentant un effet Kerr important : furonitrile, N-éthylacétamide, N-méthylacétamide ; la purification de la N-éthylacétamide par électrodialyse et le remplissage de cellules étanches étaient mis au point. Des cellules remplies avec ce liquide et ayant un temps d'ouverture de 50 nanosecondes ont été fournies en 1964-65 au Centre d'Essais du Pacifique avec leur électronique d'accompagnement²³.

Pour augmenter le champ d'une caméra à cellules de Kerr dont l'axe optique était distant de 4,73 m de l'axe de visée, un système périscopique de transport d'image de champ objet 24° x 20° et de grossissement 1 / 2,57 a été construit (1972).

Obturbateurs divers

Plusieurs dizaines d'obturbateurs électromagnétiques à volet, donnant une vitesse d'obturation de 1 mm par microseconde associée à un retard de 40 microsecondes ont été fournis au CEA pour équiper ses caméras à fentes (voir plus loin). Une vingtaine d'obturbateurs à explosifs à 4 détonateurs (vitesse d'obturation : 1,5 mm par microseconde) ont été construits pour le Centre de Vaujourn (1957-60). Des obturbateurs utilisant la constriction de tubes sous l'effet d'un champ magnétique ont également été réalisés (1961-64).

Des obturbateurs sub-nanoseconde (50 à 100 picosecondes) utilisant l'effet Pockels ou un tube convertisseur biplanar ont été fournis au Centre de Limeil du CEA pour le diagnostic de plasmas laser (1970-74).

CINEMATOGRAFIE ULTRA-RAPIDE

Cinématographie par éclairs lumineux

Pendant la guerre, à Caussade, une caméra à éclateur tournant type Seguin et une caméra à étincelles et tambour tournant avaient fourni des cadences de quelques dizaines de milliers d'images par seconde. Une version électronique atteignant 100 000 i / s a été construite ultérieurement.

Le principe de l'ultra-cinéma de Cranz et Schardin à éclateurs et objectifs multiples permettant d'atteindre une cadence d'un million d'images par seconde, a été appliqué de 1953 à 1968 à un grand nombre d'appareils, d'abord à commande purement électrique, puis à commande électronique, ce qui permet de connaître exactement l'instant de chaque éclair (chronométrie interne) : 15 appareils de ce type ont été construits pour la Bell Téléphone, les Facultés d'Orsay et de Marseille, St Gobain, Sud-Aviation, l'ECF, etc. Le tout premier appareil de 1953 a servi à des études de

²³ : Thèse de Doctorat CNAM de M. Blanchet sur les cellules de Kerr.

ballistique anatomique pour l'Institut de Médecine Légale (Professeur Lelièvre et Dr Michon).

Une caméra à générateur d'éclairs à tube "flying spot" et enregistrement des images sur film fixe par l'intermédiaire d'un miroir tournant, de cadence maximale 1 000 000 i/s, a été utilisée au LCA pour l'étude de la rupture des éprouvettes de résilience et au Centre d'Etude des Moteurs de Saclay.

Caméras à images

La Société Merlin-Gérin a fourni juste après la guerre une caméra à 3000 i/s comportant 80 objectifs portés par une couronne entraînant un film de 16 mm.

A partir de 1957, les besoins du CEA pour ses essais d'armes nucléaires, d'abord au Sahara, puis dans le Pacifique, et l'impossibilité de se procurer le matériel nécessaire à l'étranger, ont conduit le LCA à étudier et à construire un certain nombre de caméras ultra-rapides à images et à fentes. Toutes ces caméras ont nécessité la mise au point de miroirs tournant à très grande vitesse, entraînés par turbine pneumatique (les premières étudiées et mises au point par le service FP à la Précision - Chap. II) jet portés par des paliers lisses ou à roulements. Deux types de turbines ont été construits : la turbine standard T 15 entraînant un miroir de $17,2 \times 31,75 \text{ mm}^2$ à la vitesse maximale de 9 000 tours par seconde et la turbine rapide T 12 de vitesse maximale 12 000 i/s, munie d'un miroir de $12,7 \times 24 \text{ mm}^2$.

Toutes ces caméras fonctionnent selon le même principe. Un objectif principal forme l'image du phénomène à étudier dans un plan passant par l'axe d'un miroir tournant ; cette image primaire est reprise par une couronne d'objectifs secondaires qui forment les images définitives sur un film porté dans un secteur cylindrique centrée sur l'axe de rotation du miroir tournant. Un dispositif électro-optique permet de synchroniser le début du phénomène à étudier avec la première image et un obturateur magnétique à constriction interrompt le faisceau lumineux à la sortie de l'objectif primaire lorsque toutes les images ont été enregistrées. L'objectif d'entrée est un zoom de focale variable entre 700 et 1200 mm. Trois types de caméras - C I 4, C I 5 et C I 6 - ont été construites en de nombreux exemplaires de 1961 à 1964 ; leurs cadences maximales sont respectivement de 3,5 et 14 millions d'images par seconde. Les caméras C I 4 et C I 5 fournissaient 50 images de $8 \times 17,5 \text{ mm}^2$ à la cadence maximale ou 25 images de $15 \times 24 \text{ mm}^2$ à cadence moitié ; la caméra C I 6 donnait 120 images de $8 \times 17,5 \text{ mm}^2$. C'est grâce à ces caméras que les physiciens du CEA ont pu procéder à l'analyse fine des tout premiers instants des explosions nucléaires, dont la connaissance est essentielle pour l'amélioration du rendement des engins.

Deux caméras spéciales ont été construites en 1972 pour le Centre d'Essais du Pacifique : CIAT, caméra à activité totale (sans angle mort) avec double réflexion sur le miroir pour augmenter la cadence, fournissant 144 images de $6 \times 6 \text{ mm}^2$ à la cadence de 10 000 000 i/s ; CIAS, caméra synchronisée stéréoscopique fournissant 25 images de $40 \times 50 \text{ mm}^2$ à 900 000 i/s ou $25 \times 50 \text{ mm}^2$ à 1 500 000 i/s.

Il est intéressant de signaler que pour ces caméras ultra-rapides, le LCA a atteint les limites possibles de la technique ; on peut certes atteindre des cadences de plus en plus élevées, mais en acceptant des images de tailles plus petites, voire trop petites ; un choix optimal a été effectué et a satisfait les utilisateurs.

Caméras à fente

Déjà à Caussade, un dispositif à lampe à arc électrique et tambour tournant utilisait le principe de la caméra à fente pour enregistrer des petits mouvements rapides au cours de phénomènes de chocs ou de vibration. Le principe consiste à enregistrer en continu l'image d'une tranche fine du phénomène à étudier sur un film animé d'un mouvement relatif perpendiculairement à la tranche en question.

Les caméras à fente étudiées et construites à partir de 1957 (sous la responsabilité de Mlle Wietzel) pour le CEA nécessitent des vitesses de balayage que ne saurait fournir un tambour tournant ; aussi le film est-il fixe, le mouvement relatif étant assuré au moyen d'un miroir tournant entraîné par une turbine pneumatique. De 1957 à 1964 ont été construites successivement les caméras CF4, caméra de laboratoire construite en 25 exemplaires et ayant une vitesse de balayage de 13 mm/microseconde ; CF1 et CF1 UV, caméras à activité totale balayant à 25 mm/microseconde ; CF6, caméra à synchronisation donnant un enregistrement de 600 mm de long sur film de 140 mm de large à la vitesse de balayage de 25 mm/microseconde (6 exemplaires). Ce programme a culminé en 1969 avec la caméra CFTA, construite pour les Centres du Pacifique et de Vaujours, caméra à activité totale avec miroir triangulaire en béryllium tournant dans le vide à 3 000 t/s, donnant un enregistrement de 2 100 mm de long sur film de 70 mm de large avec balayage à 20 mm/microseconde et en 1972 avec la caméra CHR, caméra à synchronisation de très haute résolution spatiale et temporelle. Bien entendu, toutes ces caméras sont équipées de dispositifs électroniques de haute précision pour le marquage du temps et de l'espace. Grâce à cette précision, les caméras à fente constituent du point de vue quantitatif le complément indispensable des caméras à images.

Il faut signaler encore le spectrographe ultra-rapide SPAT (1972) à miroir tournant et à deux réseaux interchangeable. Son domaine spectral s'étend de 0,3 à 0,9 micromètres et sa vitesse de balayage est de 13,5 mm/microseconde sur un film de 70 mm de large et de 1 500 mm de long.

CHRONOMETRIE (section de M. Rudolph)

Compteurs chronomètres

L'électronique a révolutionné la mesure des courtes durées rencontrées en métrologie balistique, par exemple pour la mesure des durées de trajet et des vitesses initiales des projectiles.

Là encore, le Service E du LCA sous la responsabilité de M. Rudolph a joué un rôle de pionnier en construisant les premiers compteurs électroniques français, d'abord à 100 kHz, puis à 1 MHz ; les éléments actifs de ces compteurs on

Mesure des durées de trajet

Divers types de chronoscopes ont été fournis aux établissements d'essais de la DEFA, puis de la DTAT et de la DGA : pour l'ETBS un chronoscope de jour de champ $38^\circ \times 6^\circ$, et de portée 1500 m, détectant l'éclatement au sol de projectiles armés de fusées instantanées (1952) ; pour l'ETTN un chronoscope de jour type VEGA de champ $3,5^\circ \times 1,75^\circ$, capable de détecter la lueur d'un obus fusant de 155 mm à une distance de 21 km (1954) ; pour l'ETBS, 10 bases de mesure équipées de "pots optiques", appareils à très grand champ (angle de 110°) fonctionnant sur la lumière du ciel, permettant de mesurer les durées de trajet et, avec une base de 10 m de long, la vitesse des projectiles (1958) ; ce matériel a été remis à hauteur en 1983.

Mesure des vitesses de projectiles sur base

Deux méthodes peuvent être utilisées pour mesurer la vitesse des projectiles : la mesure de la durée de parcours d'une base de longueur connue et la mesure continue par effet Doppler-Fizeau (voir paragraphe suivant).

Avant l'apparition des compteurs électroniques, les cadres à fils associés au chronographe Le Boulanger-Breger ont été remplacés par des cadres solénoïdes avec dispositif électronique provoquant le déclenchement du chronographe. Les cadres solénoïdes ont été remplacés par des cadres monospires L.C.A. constitués par un rectangle en tube d'aluminium, puis par des barrières optiques.

Ainsi, la base optique RD (MOVIC) de 2 m de long, comprenant deux ensembles optiques séparés dont les faisceaux sont réunis sur un même photomultiplicateur, a été construite en 20 exemplaires par la société O.P.L. pour les besoins des Armées et de la DEFA (1953-56). Des bases optiques comportant deux tranches de lentilles sphériques et deux miroirs ont été fournies notamment à la Yougoslavie. La base BOMECA 1 500 (Base Optique de Mesure de l'ECA devenu ETCA) est spécialement adaptée aux mesures en tunnel de tir. L'avènement du compteur à 10 MHz a permis la construction d'une microbase dont la longueur peut être réduite à 10 cm (1975-77).

Mesure des vitesses de projectiles par effet Doppler-Fizeau

S'appuyant sur des travaux effectués au Laboratoire de St-Louis, le LCA a construit dès 1961 le Vézérographe pour la mesure des vitesses initiales des obus d'artillerie ; l'oscillateur de cet appareil utilisait un klystron en bande X. Plus tard sont apparus le Lambda 10 et le Médovic (1976), (15 appareils réalisés pour les Armées) pour la mesure en campagne de la vitesse des projectiles de calibres compris entre 20 et 155 mm, sur une distance égale à 2 000 fois le calibre, avec oscillateurs à semi-conducteurs ; puis le miniradar Miradop, qui peut être monté sur la tourelle d'un char et permet de mesurer des vitesses comprises entre 20 et 2 000 m/s avec une précision de $\pm 0,1$ m/s, dont 250 exemplaires ont été construits.

GENERATEURS D'IMPULSIONS ELECTROMAGNETIQUES ²⁴

On connaît les dangers présentés pour les matériels électriques et électroniques par l'impulsion électromagnétique (IEM) engendrée par la détonation d'une arme nucléaire à haute altitude et, à un moindre degré, à basse altitude, où elle s'associe aux autres effets de l'explosion, notamment ceux des neutrons. Pour étudier à loisir les effets de l'IEM et les moyens de s'en protéger, il est donc nécessaire de disposer de simulateurs.

La première réalisation française dans ce domaine a été le simulateur SIEM 1 construit à l'ETCA en 1973. En 1975 a été effectuée l'ingénierie du simulateur SIEM 2, grosse installation située au Centre d'Essais des Landes. Le simulateur SIVA, installé à l'ETCA en 1979, peut recevoir un char AMX 30. De 1980 à 1988 ont été conçus et réalisés divers moyens d'essais nécessaires au durcissement des matériels et des installations de la Force nucléaire stratégique, dont un amplificateur pulsé de grande puissance.

TRAITEMENT DE SIGNAUX ET D'IMAGES

Les signaux et les images obtenus lors d'essais balistiques ou autres nécessitent souvent une mise en forme pour être facilement utilisables. L'activité dans ce domaine est donc le complément naturel de ses autres activités du domaine de la métrologie balistique.

Il a ainsi été fourni au CNES une armoire de traitement de l'information contenue dans des télémesures reçues sous forme de signaux modulés, soit en amplitude, soit en fréquence.

Le Centre d'Etudes de Gramat a reçu de même un ensemble électronique permettant d'enregistrer les signaux fournis par des capteurs piézo-électriques disposés au voisinage d'une sphère de poudre de diamètre 50 cm ou 1 m disposée un peu au dessus du sol et dont la détonation était censée simuler celle d'une bombe atomique.

L'ETCA a produit en plusieurs exemplaires le système Etamine (Edition de Traitement Automatique Mémorisant les Informations Numériques Enregistrées) conçu autour d'un microprocesseur et destiné au traitement des mesures effectuées sur des armes de tous calibres. Le système permet l'acquisition et le traitement automatique des mesures, puis "l'édition" des résultats.

En 1967, a été mis au point SANDRA (Système de l'Armement pour la Numérisation, la Décommutation et la Restitution Automatique), ayant une organisation qui fait intervenir un ordinateur comme élément central de traitement, d'exploitation et de pilotage. Cet ensemble permet l'acquisition, la numération et le traitement de mesures variées en temps différé. Le premier exemplaire a été installé au LCA, une autre réalisation a été effectuée pour le CNES.

Le LCA a été chargé de la définition et du développement du système de calcul CETAC (Calculateur Electronique de Tir d'Artillerie de Campagne) dont la réalisation a été confiée à IBM-France pour le compte de la DTAT. Il s'agit d'un ordinateur

²⁴ : Voir aussi II-2-5. Appareils spéciaux et V-4-8.

spécialisé qui constitue une solution fiable et peu coûteuse pour la résolution des problèmes de l'Artillerie pouvant se monter sur un grand nombre de véhicules. Les systèmes ont été livrés de 1960 à 1964.

Le Système d'Acquisition de Mesures Balistiques (SAMBA), construit par l'ETCA (1972), permet la mesure des vitesses de projectiles et des pressions de crête dans les armes, en coup par coup et rafale ; l'enregistrement des vitesses et des pressions en lecture directe sur une imprimante ; la mesure des cadences de tir et son enregistrement. Les pressions de crête sont issues des lecteurs de crête PM 70 ou PM 2 000 réalisés à l'ETCA (1965).

A partir de 1968, il a été étudié et réalisé plusieurs systèmes d'analyse appelés CALIFE (Calculateur Lecteur d'Images Fixes) destinés à introduire des informations optiques, d'un cliché photographique, dans un ordinateur, au moyen d'un balayage réalisé à l'aide d'un tube cathodique (système par tube flying spot). Cet appareil est à l'origine de tous les travaux de traitements d'images développés depuis.

La Tireuse à Amélioration de Contraste des Images par Traitement Electronique (TACITE) a été réalisée en 1980 d'après une étude de l'Institut d'Optique. Elle permet aux services de dépouillement des Centres d'Essais de tirer le meilleur parti possible des films de trajectoires à faible contraste.

MESURES DIVERSES POUR CENTRES D'ESSAIS

Dès 1950-57, des travaux de trajectographie (par chambres balistiques, de nuit en montant des ogives éclairantes sur les missiles) ont été effectués (engins PARCA, champs de tir de Bourges, puis de Suippes).

De 1961 à 1964, pour les essais de fusées effectués au Sahara, des sources d'éclairage puissantes (10 kw) et répétitives (1 kHz) ont été mises au point des capteurs de déplacement, des manomètres et des jauges de contrainte ont été utilisés pour apprécier l'impact des explosions nucléaires sur le terrain ; le vent a été mesuré par photographie des nuages ; un pointeur de soleil maintenant orienté vers le soleil un télescope avec appareil photographique placé dans le nez de la fusée et un capteur solaire fournissant l'orientation du soleil par rapport à la fusée ont été mis au point pour le CNES.

Un spectrographe de masse embarqué sur fusée-sonde a été étudié en collaboration avec le Laboratoire de St-Louis et a été utilisé en 1961 à Hamaguir, en 1969 à Kourou et, en 1971, à Kourou sur un bâtiment soviétique en collaboration avec le CNES.

Enfin, un traqueur infrarouge d'une haute précision mécanique et optique a été construit pour enregistrer la trajectoire du corps de rentrée des missiles balistiques stratégiques tirés du Centre d'Essais des Landes. Des traqueurs étaient installés à terre sur l'île de Florès (Açores) et sur le navire réceptacle Henri Poincaré.

AUTOMATIQUE

Théorie

- Enseignement, notamment à l'ENSAR, des méthodes de calcul des systèmes asservis, des automatismes séquentiels et des systèmes de commande optimale (Naslin).
- Création de nouveaux polynômes normaux et d'un nouveau critère d'amortissement, utilisés notamment à l'EDF et à la SNIAS (Naslin).
- Nouvelle méthode de calcul des systèmes séquentiels (Naslin et Girard).

Transféromètre

Premier appareil construit sur le continent européen pour la mesure de la fonction de transfert des systèmes linéaires ou linéarisés ; construit en plusieurs exemplaires (IM BONNET).

Servocathétomètre

Appareil construit pour le LRBA pour enregistrer les variations du niveau du mercure dans un manomètre de soufflerie aérodynamique.

Asservissement de machine à souder à l'arc électrique

Etude effectuée pour la régulation de la distance entre l'électrode et la pièce.

Copieurs pour machines-outils

Collaboration avec la SEA pour la construction de copieurs électroniques pour tours (Ernault Batignoles et fraiseuses Gambin).

Tour automatique sans cames

Machine construite à la demande du Directeur de la DEFA (IG Carougeau) par le LCA pour la partie électrique et électronique et par la MAC pour la partie mécanique, sous la forme d'une machine à commande numérique simplifiée.

Opérateur humain

Thèse de Doctorat d'Etat de J.C. RAOULT, dirigée par l'ICA NASLIN ; résultats présentés dans plusieurs congrès internationaux.

INFORMATIQUE

CODA (Calculatrice Octale de Démonstration de l'Armement)

Machine construite et utilisée pendant une dizaine d'années pour l'enseignement des méthodes de calcul numérique automatique à l'ENSAr (Naslin). Utilisait des relais téléphoniques, des commutateurs "Cross-bars", de mémoires à double triodes et des cartes perforées.

CUBA (Calculatrice Universelle Binaire de l'Armement)

CUBA a été la première calculatrice numérique automatique universelle française - autrement dit le premier véritable ordinateur français - étudiée et construite par la S.E.A. (Société d'Electronique et d'Automatisme dirigée par F.H. Raymond) sur contrats du LCA (début en 1951).

CUBA était une calculatrice binaire manipulant des nombres de 25 chiffres binaires, le calcul en double précision étant possible par sous-programme. Les chiffres des opérands et des instructions étaient traités en série à un rythme de base de 100 KHz. Mettant en oeuvre un code à simple adresse, CUBA possédait un accumulateur dont la capacité était de 32 chiffres binaires pour les besoins de la multiplication. La mémoire interne était constituée par un tambour magnétique fabriqué par Ferranti Ltd, d'une capacité d'un million de chiffres binaires, travaillant au même rythme que le reste de la machine, ce qui était nouveau à l'époque. Cette mémoire était banalisée, aucune distinction n'étant faite entre les nombres et les instructions, ce qui donnait une grande souplesse aux calculs sur les instructions. Seize lignes à retard électriques servaient de mémoires de travail. Les registres étaient constitués de bascules à doubles triodes, tandis que les circuits logiques et les sélecteurs faisaient usage des premières diodes au germanium disponibles sur le marché.

L'une des originalités de CUBA était de posséder un multiplieur série-parallèle, de sorte que le temps de multiplication était voisin du temps d'addition. Ceci permettait une organisation périodique des instructions sur le tambour magnétique.

CUBA était dotée de diverses innovations devenues aujourd'hui monnaie courante, telles que possibilités d'adressage indirect, progression d'indice et instructions symbolisées appelant des sous-programmes et constituant un embryon de langage. Sa bibliothèque de sous-programmes s'est enrichie au fur et à mesure de son utilisation.

Les calculatrices CAB 500 de la S.E.A. peuvent être considérées comme une "retombée" industrielle du programme CUBA, cependant que les lignes à retard électriques conçues initialement par la S.E.A. ont été largement utilisées par la Compagnie des Machines Bull, notamment dans les machines Gamma 30 et Gamma 60. Le programme CUBA a donc joué un rôle important dans le développement de l'informatique française.

Cependant, comme c'est toujours le cas pour les programmes en avance sur la technologie, la mise au point de CUBA a été longue et difficile, en raison notamment des problèmes posés par les diodes au germanium et les lignes à retard. Elle n'a été opérationnelle que de 1958 à 1963 et n'a été utilisée que pour des calculs de trajectoires de projectiles. Sa fiabilité était faible.

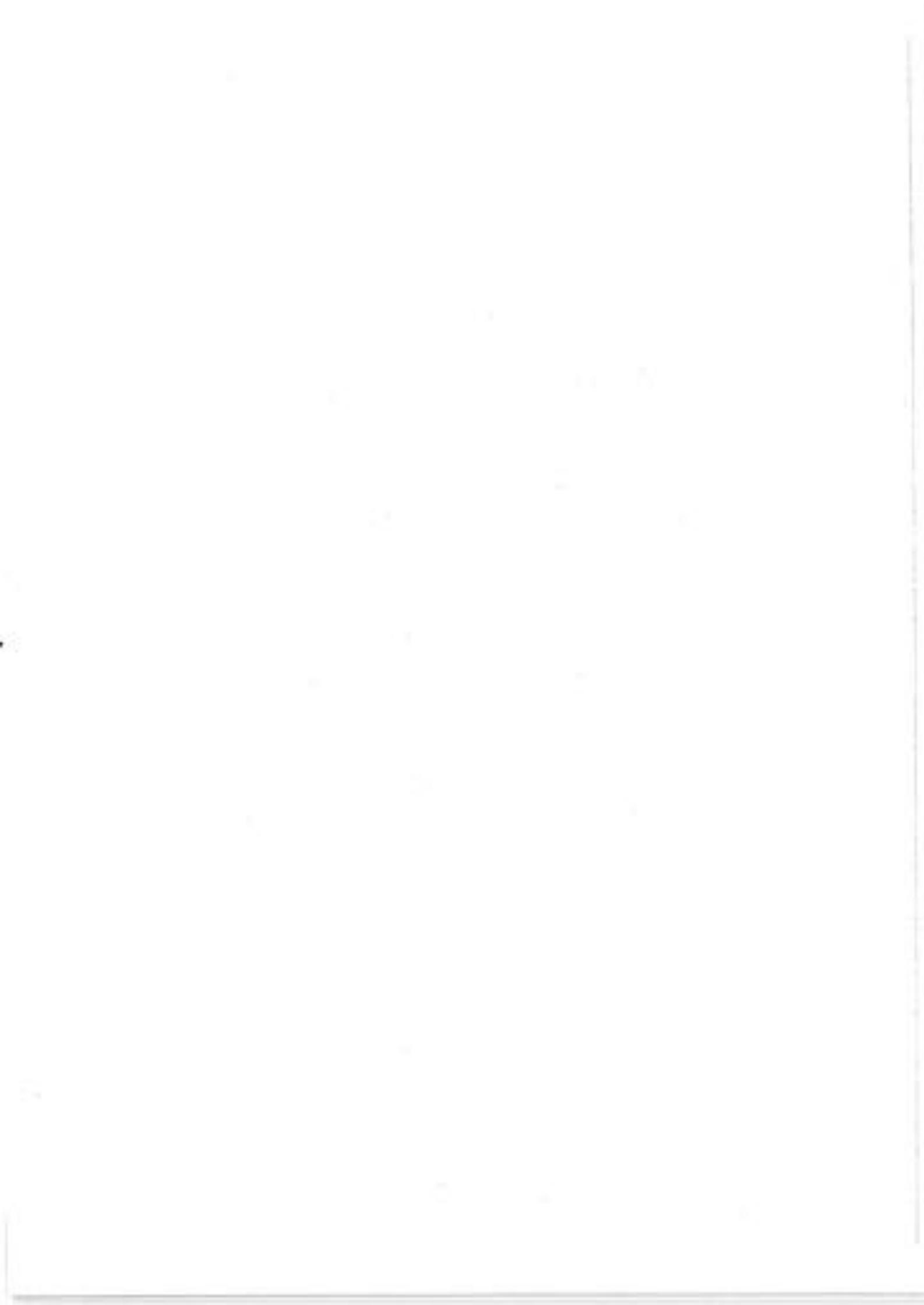
Laboratoire de Calcul

Ce Laboratoire, dirigé par l'IMP Sestier a été équipé successivement, en parallèle avec CUBA, d'une Gamma 3 Bull à programme par cartes perforées (1954), d'une IBM 650 (1957) et enfin d'une IBM 7040 (1963). Il a effectué des calculs techniques ou théoriques (analyse et programmation pour d'autres services du LCA, pour le Service Technique de la DEFA, puis de la DTAT, ainsi que pour diverses organisations travaillant pour la Défense Nationale (Direction Centrale du Génie, Service d'Equiperment des Champs de Tir, Comité d'Action Scientifique de la Défense

Nationale, Section Atomique du Fort de Limeil et, plus tard, Direction des Applications Militaires du CEA, Centre d'Essais du Pacifique). La plupart de ces travaux ont été conduits par M. Ceschino qui acquit une solide renommée dans le domaine Mathématiques Appliquées. On peut citer :

- intégration de trajectoires d'obus et de missiles.,
- prévisions des performances de divers ergols liquides à partir de leurs caractéristiques thermodynamiques,
- optimisation du guidage de missiles antichars,
- dépouillements de télémesures,
- restitution de trajectoires de missiles à partir d'enregistrements de trajectographie électronique,
- classes STANAG des ponts du territoire métropolitain relativement aux divers types de véhicules militaires de l'OTAN,
- propagation et réfraction, à l'interface air-eau, d'ondes kilométriques, pour liaisons à très grandes distances,
- volume critique d'une bombe atomique, par intégration de l'équation de diffusion des neutrons,
- optimisation de cascades de la future usine de séparation isotopique par diffusion gazeuse de Pierrelatte,
- gestion de fabrications de munitions,
- recherches sur les méthodes de démonstration de théorèmes par programmes heuristiques (IPA Pitrat),
- essais d'analyse morphologique et syntaxique de la langue Russe.
- travaux dans le domaine nucléaire, concernant notamment les effets des explosions atomiques par exemple :
 - .volume critique d'une bombe atomique, par la Méthode de Monte Carlo,
 - .optimisation de l'emploi d'un stock donné d'engins thermonucléaires,
 - .début des études des effets des armes.
- dépouillements (notamment par analyse factorielle) d'enquêtes intéressant la Défense Nationale.

Les travaux devenant de plus en plus importants, l'équipe qui en était chargée, dirigée par le lieutenant-colonel Roulin a été renforcée et est devenue le service ET (Etudes Théoriques) rattaché au Département DPN (Détection, Protection Nucléaire) (voir chap V-4-2). Le service ET est devenu ensuite le département DET le 01/09/1973.



CHAPITRE IV DOMAINE PHYSIQUE - CHIMIE MATERIAUX

IV.1- GENERALITES

Peu après la fusion LCA-CERAM en 1964, il a été créé un département Physique Chimie Atome (PCA) représentant plus du tiers du potentiel de l'établissement.

Cette création était provisoire pour faciliter cette fusion, le CERAM s'occupant essentiellement des effets des armes nucléaires : protection nucléaire, études théoriques, radiochimie, effets lumineux et thermiques.

En 1969, le département, comme prévu, a été scindé en deux autres :

- Département Détection Protection Nucléaire DPN (ICA Malardel),
- Département Physique Chimie Matériaux PCM (ICA Meunier).

Le département PCM a été constitué en 1969 à partir,

- d'une part des anciens services du LCA ci-après :
 - . les services Chimie et matériaux non métalliques (CH -CNM) ;
 - . le service Chimie-Physique (CP) qui avait repris vers 1961 un service Physique (Reingold) spécialisé en particulier dans la spectrophotométrie et colorimétrie ;
 - . le service Métallurgie (M) ;
- d'autre part, de certaines parties de l'ex-CERAM :
 - . le service de Radiochimie
 - . le service s'occupant des effets lumineux et thermiques des explosions nucléaires.

Les services Chimie et Chimie-Physique avaient déjà fusionné certaines activités. La création de PCM complétait cette organisation : au démarrage, PCM comprenait avec le centre du Mont-Lachat (Haute-Savoie) puis d'Odeillo (Pyrénées-Orientales), trois services :

- le service Contrôles et Essais (CE) dirigé par l'IPA Jondet, - le service Physique Appliquée (PA) dirigé par l'IPA Closson, - le service Etudes Matériaux (EM) dirigé par l'IPA Udole.

Ce dernier, radiochimiste de formation, a eu le mérite de prendre en charge le service EM totalement nouveau et lui donner une cohésion et une impulsion remarquables.

Se sont par la suite ajoutés à PCM, les services suivants :

- Mécanique Appliquée (MA) en 1973,
- Précision ou Département Mécanique (MPM) en 1980.

Lors de cette dernière modification, l'ensemble a pris le nom de Centre Mécanique Chimie Matériaux (CMCM) devenu en 1988 le Centre de Recherches et d'Etudes d'Arcueil (CREA) (voir VIII 5 et X Annexe 2).

Dans ce chapitre ont été rassemblés les activités des deux premiers services, Chimie, Chimie-Physique, et, à partir de 1970, celles du service Métallurgie ou plutôt Matériaux, dont les activités antérieures sont données au chapitre II (voir IV.2.3).

Par contre, les activités des deux autres services MA et Pr ont été exposées seulement au chapitre II car elles ont considérablement décliné surtout à partir de 1977.

De même, - il faut le souligner - c'est d'abord à CH puis à l'ensemble CH/CP qu'ont débuté les études et les premiers succès qui ont donné au LCA la mission interdirections dans le domaine nucléaire (premiers matériels Radiac notamment), ce qui a amené la création de services spécialisés (chap. V).

Le département PCM a conservé certaines activités en ce domaine, notamment les études relatives à la détection-localisation des explosions nucléaires, les effets lumino-thermiques et la protection contre ces effets, la radiochimie appliquée à la contamination et la décontamination.

Cependant, pour plus de clarté les travaux correspondant sont exposés avec l'ensemble des travaux nucléaires du LCA (voir V.4).

L'organisation de PCM, un certain temps après sa création a été la suivante, approximativement maintenue à ce jour, avec les services :

- Chimie Physique (CP) - Mme Hénoux :
Analyse organique, Analyse minérale, Protection, Conditionnement, Biodétérioration,
- Structures des Matériaux (SM) IIA Dubot puis le 01/09/77, ISC Cantarel :
Analyse structurale, Surfaces, Tribologie, Contrôle non destructif, Métrologie Dimensionnelle,
- Technologie des Matériaux (TM), ISC Rémillieux :
Métallurgie, Plastiques composites, Adhésifs, Blindages,
- Mécatronique (MT) à partir de 1980, ICETA Le Boucher :
CAD/DAO Logiciels Bureau d'Etudes Atelier.

C'est encore la structure actuelle.

Les 2e et 3e services ont formé au début un seul service Etudes des Matériaux sous la direction de IIA Dubot.

La caractéristique du département PCM, réside dans le fait que, s'il est chargé d'études comme les autres départements, il est celui qui effectue le plus -et de loin - des contrôles et essais comprenant :

- des contrôles courants en appliquant les normes ou les cahiers des charges de l'Armement qui ne posent pas beaucoup de problèmes techniques, mais seulement des problèmes de délai : analyses chimiques et physico-chimiques, de métaux et produits non métalliques, mesures de caractéristiques diverses relatives aux peintures, aux matériaux composites ou organiques etc., pour les établissements ou le SIAR,
- des contrôles spéciaux lors de l'application d'une nouvelle instruction, qui ne peut parfois être appliquée immédiatement faute de matériel ou de mise au point des procédures,
- des homologations à l'aide de contrôles détaillés pour la première présentation d'un produit,
- des expertises, à l'occasion d'un accident, d'une rupture, d'un incident, ou à l'occasion d'un litige à propos de la qualité d'une fourniture, des mises au point de modes opératoires pour le contrôle des matériaux.

L'ensemble représente un travail très important, dont la rentabilité a été considérablement améliorée par l'utilisation de méthodes physiques et physico-chimiques d'analyses.

IV.2- ORIGINE ET NATURE DES SERVICES

IV.2.1- Chimie

Le service CHIMIE a été créé le 28/04/1818 et a eu des chefs prestigieux comme : Gay-Lussac (1834-1844), Professeur Urbain (1914-1918) et, en tant qu'attachés scientifiques ou collaborateurs des savants éminents tels que Darcey, Henri Sainte-Claire Deville, de Grammont, Grignard (membres de l'Institut).

Plus récemment, les Ingénieurs de l'Armement, chefs de service de 1931 à 1938 (Wimet) et de 1949 à 1961 (Meyer) étaient maîtres de conférence ou examinateur d'entrée à Polytechnique.

Dès son installation à Paris, en 1945, sous la direction de RICETA Réglade, le service a effectué un très grand nombre d'analyses, notamment de métaux ferreux et non ferreux, et, comme l'Atelier de Précision, il a joué un rôle décisif pour la reprise des Fabrications d'Armement et pour les commandes offshore, malgré un effectif insuffisant.

L'ICA Meyer, peu après son arrivée comme chef de service, a créé fin 1946, une nouvelle section, pour l'étude de l'application à l'armement des matériaux non métalliques, et spécialement des matières plastiques, vernis, laques, colles et adhésifs, la section Chimie, matériaux Non Métalliques, CNM. Cette section a obtenu de nombreux résultats positifs.

Le service a absorbé une partie du Laboratoire Central de l'Artillerie Navale, en 1964, essais d'emballages, en 1966 les peintures.

IV.2.2- Chimie physique

De Septembre 1939 à Avril 1940, avec l'aide de professeurs mobilisés, des Directeurs de l'école de chimie de Strasbourg et de l'école des Pétroles de Strasbourg ont été créés, dans le cadre du laboratoire de chimie, des éléments de laboratoires d'analyse de spectrographie, polarographie, de contrôle et recherches sur les huiles ainsi qu'une installation d'essais au brouillard salin.

L'ingénieur en chef Nicolau, Directeur du LCIM, présentant l'importance future de ces techniques rassembla en 1941, ces activités (sauf la corrosion) en un service : le laboratoire de Chimie-Physique (CP), à Caussade, sous la direction de l'IPA Loeuille. L'existence de ce service a été confirmée par l'Instruction du 31 Juillet 1946.

Dès son arrivée à Paris, en 1945, ce service a effectué des études et analyses par méthodes physiques et physico-chimiques telles que la spectrographie d'émission dans le visible et l'ultraviolet, la calorimétrie, la spectrométrie d'absorption dans le visible et l'ultraviolet, la polarographie et la chromatographie.

Les premiers appareils utilisés et les méthodes n'étant pas toujours au point, il a fallu faire des études pour aboutir à des progrès importants.

De plus, le service CP a eu une activité importante, de 1945 à 1960, dans la caractérisation chimique et balistique des poudres propulsives (IV.3.3). L'ingénieur Principal Loeuille avait effectué de nombreux travaux pour la mise au point d'épreuves de recette par explosion à l'intérieur de bombes fabriquées par le service Précision.

Le GAMS (Groupement pour l'Avancement des Méthodes Spectrographiques) créé en 1944 par l'IG Nicolau (voir VII.4), a été soutenu par le service. Grâce aux travaux de CP et à ce soutien, le CIR (Centre d'Informations infrarouge) a également pu être fondé sous l'égide du GAMS : le CIR a permis de constituer en France très tôt une spectrothèque, base de données indispensable pour l'analyse des produits organiques par absorption infrarouge.

Le GAMS a organisé avec l'aide du service de nombreux stages de formation au profit de l'industrie.

IV.2.3- Matériaux

Les activités du service Métallurgie, jusqu'en 1969, ont été données en II.3.

La raison essentielle de cette présentation séparée est simple, les activités études diminuant au profit des contrôles classiques, le Directeur du LCA, l'IGA Cavé, a décidé d'intégrer le service Métallurgie dans l'ensemble des moyens regroupés pour constituer le département PCM : la nouvelle organisation par sa taille et sa polyvalence permettait alors de prendre en charge des études de matériaux appliquées aux programmes, quels que soient ces matériaux (métaux et alliages, produits inorganiques et céramiques, produits organiques, polymères et composites...). Il est apparu très rapidement que PCM correspondait à un besoin important.

C'est au début de 1970 que l'IGA Déramond dirigeant le Bureau Long Terme de la DTAT, a pu attribuer des crédits suffisants pour développer une activité importante "Etude de Matériaux" au LCA. Cette décision avait pour but de répondre aux besoins des établissements pour le développement de matériaux nouveaux et l'amélioration de l'efficacité des matériels.

Lors de la création de l'ETCA-ETCA en 1975, l'annexe 4 de la décision 11.320 DMA/D précise les missions de coordination technique de l'établissement, notamment dans le domaine des Matériaux pour l'ensemble de l'Armement (Mission Interdirections).

Le Bureau des Méthodes et Techniques Modernes (BMTM) créé en 1969 faisait partie du LCA à la suite de la décision de 1975 ; le LCA avait depuis 1969 coopéré avec le BMTM qui lui apportait ainsi une partie de ses missions, notamment dans le domaine matériaux.

Lors de l'affectation de l'ETCA à la DRET, en 1977, cette Direction et la DTAT ont ensemble maintenu l'effort précédent et l'ont même renforcé en certains points.

En conséquence, une mise à hauteur des moyens d'analyse et d'essais a été effectuée dans les domaines suivants, ainsi que certaines créations : Mise en oeuvre des polymères, Traitements thermiques, Thermomécanique, contrôles non-destructifs, analyse structurale, essais de fatigue et mécanique de rupture (1972), tribologie (1974).

En ce qui concerne les essais de fatigue, il était convenu, jusque là qu'ils s'effectuaient dans les laboratoires de la DCA ou la DCAN, et il y en avait peu.

De même le potentiel en quantité et qualité du personnel a été augmenté : il y avait par exemple seulement quatre ingénieurs au service Métallurgie dans les années 1950-60, l'effectif ingénieurs dans le domaine Matériaux a couramment dépassé la dizaine et a même atteint son maximum de seize, le recrutement s'effectuant souvent parmi les thésards travaillant à l'ETCA.

Il en est résulté un ensemble cohérent, de très haute technicité qui a pu résoudre des problèmes complexes très difficiles, et très importants.

IV.3- TRAVAUX ET RESULTATS

IV.3.1- Chimie

- De très nombreuses analyses chimiques ont été effectuées de tous temps, pour les établissements, le SIAR, ou des industriels travaillant pour l'armement,
- Diverses études ont été effectuées pour obtenir l'amélioration des analyses chimiques, par exemple par séparation des solvants sur colonnes de verre ou des pigments minéraux ou organiques par ultracentrifugation.

- Peintures :

En ce qui concerne les peintures et les revêtements, de nombreux modes opératoires, résultant d'études américaines, ont été expérimentés et mis au point dans les années 1945-1955, ce qui a permis d'aider ou guider les efforts des industriels français, de manière à leur permettre de satisfaire les spécifications françaises et étrangères nouvelles.

Les moyens d'investigation pour tester la qualité des peintures ont été grandement améliorés et des appareillages perfectionnés ont été mis en place pour définir "la couleur" et les capacités de camouflage de revêtement : par exemple, le réflectomètre LCA, surpassant les matériels existants, permettant la détermination des coefficients trichromatiques. On peut y associer la mise au point de formules pigmentaires VERT IR OTAN et celles d'étalons de couleur pour garnitures de filets de camouflage.

Parmi de nombreuses études de peintures, on peut citer l'étude de remplacement des systèmes de peintures glycérophthaliques, par des peintures polyuréthannes (1975) donnant une protection supérieure, mais plus coûteuses.

Ces travaux se sont concrétisés notamment par la rédaction de cahiers des charges très complets pour les peintures, vernis et produits connexes, du document GAM/C (couleur) qui a servi de base au STANAG définissant les couleurs de camouflage et les normes AFNOR.

- Corrosion

Les études de corrosion et les procédés de lutte contre la corrosion par revêtements (peintures, laques, dépôts métalliques, passivation chimique...) ou au moyen d'emballages étanches appropriés ont abouti à de très bons résultats et le service chimie est ainsi devenu un expert en matière de corrosion.

En particulier, le service a effectué avec succès des études de remplacement des tests classiques tels que le brouillard salin, par des tests plus rapides de corrosions électrochimiques en obtenant d'excellentes corrélations entre les résultats.

- Emballages (vieillessement)

Les méthodes de vieillissement artificiel ont été particulièrement étudiées et, en 1967, ont abouti à des résultats particulièrement intéressants, permettant des choix valables. On a, par exemple, montré que le vieillissement artificiel au Xénotest était en corrélation beaucoup plus étroite que d'autres méthodes, avec les essais réels effectués dans des stations d'exposition aux intempéries (Arcueil, Gard).

En conséquence, les procédés de vérification de l'aptitude à résister en climat tropical se sont améliorés, ont été optimisés et ont abouti à la mise au point de normes de réception rapides et très valables.

Il en a été de même pour les contrôles de résistance aux moisissures et les recettes de produits fongicides d'imprégnation des bois de caisses de munitions. Un produit fongicide a été mis au point pour diverses protections, notamment pour certains instruments d'optique.

Des études de biodétérioration ont été ensuite effectuées sur d'autres matériaux tels que composants électroniques, optiques, avec qualification de divers produits (résines polyester, polyamides et époxyques).

Les travaux se sont concrétisés par la rédaction de cahiers des charges concernant les bâches, filets de camouflage et les documents interarmées GAM-HEmb 1 à 3 relatifs à l'emballage et au conditionnement de matériels d'armement.

- Protection des étuis et douilles en acier :

Une laque spéciale a été étudiée et mise au point (ICA Meyer) et adoptée après essais concluants. Diverses machines automatiques ont été conçues, mises au point et livrées aux cartoucheries, notamment pour le 9 mm et le 7,5 mm (1950 -1960).

Une cire particulière a été aussi mise au point pour le même but ainsi que les machines correspondantes.

- Etudes de plastiques divers en vue d'applications à l'armement. La mise au point de certains a nécessité la fabrication de machines spéciales.

Etude de colles et adhésifs de natures diverses pour des applications générales ou particulières.

IV.3.2- Amélioration des procédés d'analyse physicochimique

Des améliorations importantes ont été effectuées successivement, à partir de 1945 pour les différents procédés susceptibles d'être utilisés dans l'Armement.

De nombreuses demandes de modification ont été exigées auprès des fabricants d'appareils, les procédés de mesure et d'interprétation ont été affinés, des étalons mieux élaborés.

Il a cependant fallu attendre 1960-1963 environ malgré les efforts des chefs de service CP et M pour qu'un grand nombre d'analyses chimiques classiques soient remplacées par les différents procédés d'analyse physico-chimiques convenables, équivalents ou meilleurs en précision tout en étant plus rapides et moins coûteux. Il a ainsi été possible d'effectuer près de deux fois plus d'analyse avec un effectif beaucoup plus faible (50 % au moins), le personnel dégagé étant converti dans le domaine nucléaire ou d'étude des matériaux.

Citons :

- la spectrographie d'émission par arc ou étincelles, décharge lumineuse ou torche à plasma, pour les analyses qualitatives et quantitatives de métaux, alliages et produits minéraux ;

- la spectrométrie de flamme pour les alcalins et la spectrométrie d'absorption atomique (alliages légers en particulier le dosage des traces) ;
- la combinaison du chauffage par induction aux techniques de séparation et de détection chromatographiques pour le dosage des éléments fragilisants (H,O,N,) dans les métaux et alliages ;
- la spectrométrie par fluorescence X, puis la spectrométrie d'émission X associée à la microscopie électronique à balayage permettant des analyses ponctuelles ;
 - les spectrométries d'absorption dans le visible et l'infrarouge : la spectrométrie infrarouge a fait des progrès spectaculaires associée aux méthodes fines de séparation (chromatographie) ;
- la chromatographie en phase gazeuse couplée ou non avec la spectrométrie de masse pour les produits organiques complexes ;
- la chromatographie en phase liquide des mélanges (répartition des composants suivant les masses moléculaires) ;
- l'extension des méthodes physiques d'analyse à la caractérisation des produits et matériaux polyédriques (composites ou non) ;
- la spectrométrie de résonance magnétique nucléaire (RMN) utilisée initialement comme support analytique des études de synthèse de produits, puis comme moyen d'étude des mécanismes des réactions de polymérisation ;
- la polarographie permettant en particulier l'analyse d'éléments lourds (par ex. Cd, Pb, Cu dans zincs presque purs).

IV.3.3 - Poudres et Explosifs-Physique

Les principales études dans le domaine Poudres et Explosifs ont été les suivantes :

- . Mise au point de nouveaux appareils de balistique expérimentale (bombes, joints, appareils de tarage, manomètres)
- . Mesure des chaleurs de formation des poudres
- . Etalonnage de divers types de crushers et bloc-crushers
- . Comparaison avec les manomètres piézo-électriques
- . Mesure de la force, de la vivacité et détermination de l'équation d'état des gaz de combustion
- . Etudes sur les lois de combustion des poudres.

Elles ont été effectuées sous la direction de l'IPA Loeuille.

Ces études ont particulièrement intéressé les fabricants et les utilisateurs de poudres propulsives. Elles ont été arrêtées au début des années 1960 pour être appliquées et poursuivies dans des centres plus directement concernés (Laboratoire des Poudres et ETBS).

L'expérience acquise dans le domaine des mesures dans des enceintes sous pression a permis de réaliser un travail important et difficile sur l'étude de l'isolement thermique de la pile atomique EL4 au profit du CEA (installations transférées ensuite à Cadarache).

Un effort important a été consenti dans le domaine de la physique des rayonnements non nucléaires. Les travaux ont porté en particulier sur :

- l'instrumentation et les mesures (spectrographe à réseau grande ouverture susceptible d'être monté devant une caméra à fente LCA ; détecteur de flux thermique pour l'étude de l'effet thermique des explosions nucléaires, mise au point de mesure de température dans des plasmas ; aide à l'évaluation des traceurs ²³⁵ infrarouges des missiles antichars, ...) ;
- la transmission spectrale fine de l'atmosphère dans l'infrarouge (utilisation du spectromètre à grille Girard ;
- le camouflage et le décamouflage (quelques premiers montages de caméras thermiques et thermographiques ont été réalisés ainsi que de filtres opérant dans le proche infrarouge) ;
- la détection-localisation des explosions nucléaires utilisant les effets lumino-thermiques et notamment la protection oculaire, ayant conduit à des travaux sur des filtres permanents efficaces, des montages utilisant des substances phototropes et des cellules à cristaux liquides synthétisés dans un laboratoire du service Chimie (voir V-4-6).
- les études de protection contre l'effet thermique des explosions nucléaires ; à cet effet le Centre d'Odeillo, utilisé également pour les études de matériaux au choc thermique, a été créé en remplacement des installations utilisées auparavant au Mont-Lachat dans le massif du Mont-Blanc (voir V.4.6).

IV.3.4- MATERIAUX

- Matériaux composites

- . Etudes permettant des réceptions correctes, avec des résultats peu dispersés (par ex. fibres de haut module, carbone et kevlar)
- . Mise au point du contrôle des matières premières
- . Etude de la fractographie des composites (lois générales).

²³⁵ : Le LCA était représenté à la Commission franco-allemande VOIR (Vision Optique et Infra-Rouge) créée dans le cadre des programmes de missiles antichars vers la fin des années 1960.

Matériaux organiques, plastiques

- . Etude des caractéristiques de divers produits
- . Mise au point de contrôles de thermoplastiques
- . Matières plastiques pour le fusil FAMAS
- . Blindages transparents pour épiscopes de char ou verrière d'hélicoptères
- . Etablissement de cahiers des charges
- . Création d'un fichier matériaux organiques pour la DTAT puis la DGA.

Matériaux Métalliques

- . Matériaux pour munitions, par exemple produits lourds pour projectiles sous calibrés, afin, entre autres, d'améliorer la balistique terminale, en collaboration avec l'EFAB et l'industrie privée
- . Matériaux pour engins, et matériaux spéciaux pour accéléromètres, réservoirs (DTEN) (étude métallurgique)
- . Etuis de 5,56, obus (expertise de défauts et solutions proposées). Analyse des causes de fissuration d'étuis en laiton de 7,5 mm (ATE, ALM)
- . Usure de canons de moyen calibre à tir rapide afin de déterminer les actions de différents paramètres, tels que : érosivité de la poudre, traitement de surface, température (pour EFAB)
- . Matériaux pour blindages : début des études en 1973, sur le comportement des matériaux sous impulsions importantes (voir paragraphe ci-après Etudes Générales) pour aboutir une douzaine d'années après, à des solutions excellentes.

IV.3.5- Etudes Générales ou diverses

- Développement des méthodes de contrôles non destructifs, par exemple neutrographies, ultra-sons, tomographie ultrasonore, électrochimie appliquée aux études de corrosion et de durée de vie des revêtements, essais d'application aux composites, amélioration des mesures de contrainte par diffractométrie aux rayons X (résultats cohérents, sans les anomalies trouvées dans d'autres laboratoires).

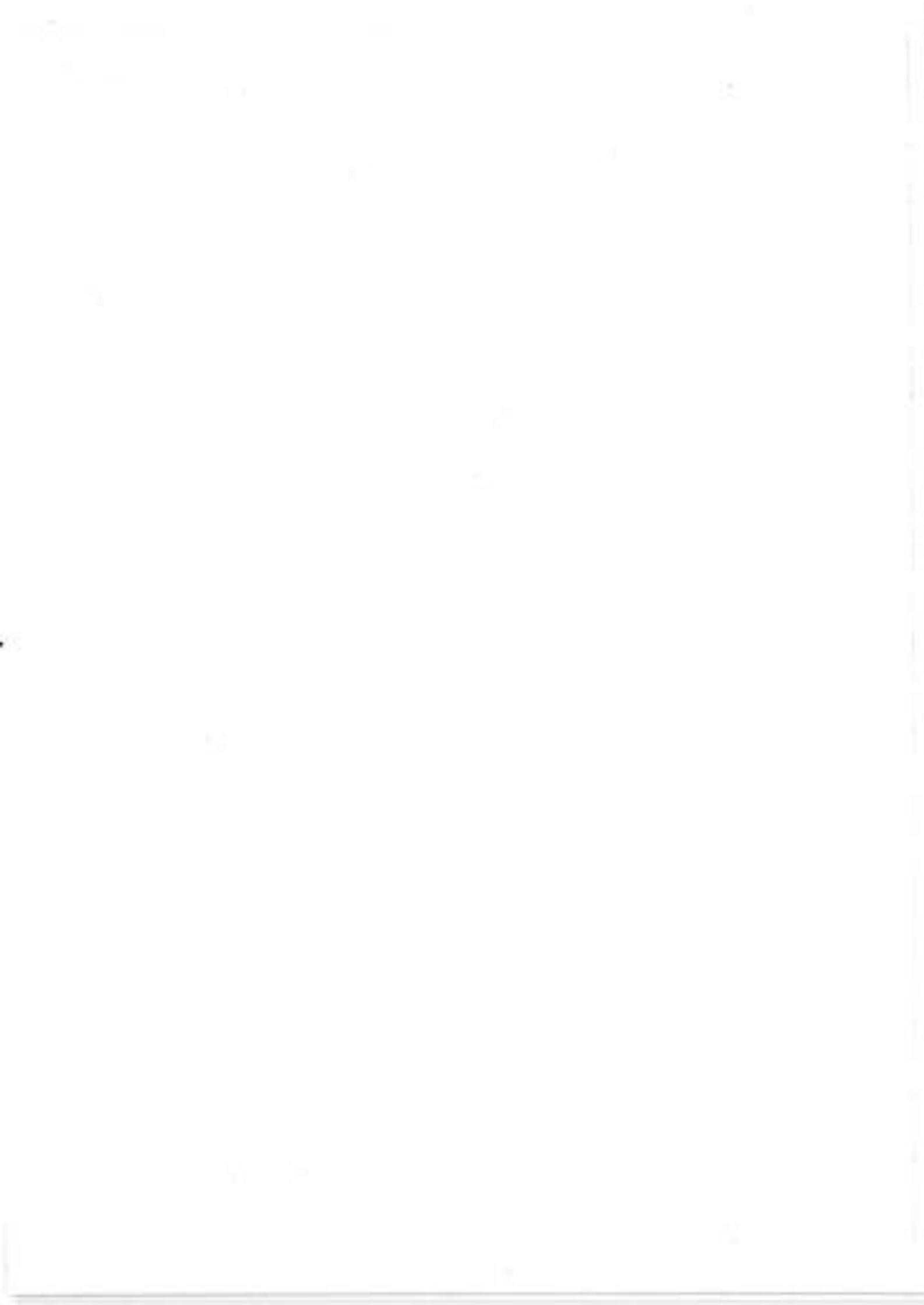
- Ruptures, Fractographie

Etude du comportement des matériaux existants aux sollicitations mécaniques ou tribologiques d'emploi. On a été amené à développer des méthodes nouvelles de caractérisation, notamment dans le domaine de la rupture (Exemples : rupture d'alliages légers, réservoirs de propulseurs M10). L'ETCA est devenu dans le domaine de la rupture le meilleur, sinon un des meilleurs laboratoires en la matière, alors que dans les années 1950-1960, le laboratoire de référence dans l'armement, était celui du STCN (sous la direction de l'I.G.A. de Leiris).

Une méthode assez récente a été mise au point et utilisée : exploitation de l'émission acoustique pour l'étude de la rupture (le CETIM, fin II.3.2. a effectué des études analogues pour l'ensemble de la mécanique en France).

- **Etude du comportement des matériaux en sollicitations impulsionnelles** Après des études théoriques et essais préliminaires des machines d'essais²⁸ ont été construites, complétant les moyens détoniques du CEG. Des nombreux travaux effectués on a déduit des modélisations du comportement des cibles sous impact, qui ont servi à l'étude de blindages.

²⁸ : A noter qu'en 1962 (soit près d'un quart de siècle auparavant), le chef du service Métallurgie avait proposé pour résoudre un problème du même genre de construire un appareil spécial utilisant principalement des éléments mis au point par les service E et CP I, proposition non acceptée par manque de crédits.



CHAPITRE V DOMAINE NUCLEAIRE

V.1- GENERALITES

Ce chapitre rassemble les activités diverses effectuées au L.C.A. dans le domaine nucléaire.

Plus précisément, il s'agit de travaux concernant la mission nucléaire attribuée au LCA par le Délégué Ministériel à l'Armement, et confirmée par l'instruction 7661/DMA/D du 17 Mai 1962 (et Instructions suivantes), travaux effectués par le Département DPN, mais aussi par le département PCM (effets luminothérmiques) non exposés au chapitre IV.

D'autre part quelques travaux effectués par le CEG, qui complètent ceux du LCA, sont donnés en V.4.7.

Les travaux effectués pour le CEA/DAM, en sous-traitance (caméras ultra-rapides, mesureurs de déplacement, de pression etc.), pour les centres d'Essais Nucléaires, ne relevant pas de la mission LCA, sont exposés au chapitre III, Domaine Electromécanique.

Il a semblé utile de donner, en début de chapitre, un raccourci de l'origine des travaux et de l'organisation des activités.

C'est au service Chimie Physique CP (dont les travaux non nucléaires sont donnés en IV.2) qu'ont été effectués les premiers travaux de détection (V.2). Mais, comme cela a été dit en IV.1, pour faciliter la fusion avec le CERAM en 1964, il a été créé un département Physique Chimie Atome PCA, qui en 1969, comme prévu, a été scindé en deux autres :

- Département Détection Protection Nucléaire DPN (ICA Malardel)
- Département Physique Chimie Matériaux PCA (ICA Meunier).

Les détails de l'organisation sont précisés ci-après en V.3.2 (Fusion du CERAM au sein du LCA) et, en ce qui concerne la création du département DET, à partir du service ET de DPN en V.4.2 (Etude théorique des effets des armes).

V.2- PREMIERS TRAVAUX DU LCA DANS LE DOMAINE NUCLEAIRE : LE SERVICE CHIMIE PHYSIQUE DE 1961 A 1965

V.2-1- Le contexte nucléaire en 1957

De même qu'elle a été le pionnier en matière de missiles antichars (étude de l'ACRA par l'APX), la DEFA a été à l'origine de l'armement nucléaire français, les premières études ayant été lancées à la "Batterie de Limeil", rattachée à la SEFT, par l'ingénieur en chef Chanson.

Un site d'essais de détonique avait été également reconnu en 1955 à Gramat dans une région peu habitée des Causses et son aménagement était prévu par la DEFA dès 1956.

L'un des adjoints de l'ICA Chanson, l'ingénieur principal Bonnet était notamment chargé de mettre au point et de faire fabriquer par l'industrie, en s'appuyant sur les services de contrôle de matériels électroniques de la SEFT, des détecteurs de radioactivité utilisables en zone de retombée consécutive à une explosion nucléaire. Une première génération de dosimètres et de radiamètres (mesure des débits de dose) à chambres d'ionisation avait vu le jour vers 1954. Des études de tubes Geiger Muller adaptés aux besoins des armées avait été lancées et les études d'électroniques associées se poursuivaient depuis 1954 dans deux petites sociétés parisiennes : la CERE et la SRAT, sous le contrôle de Limeil.

Mais le développement des engins nucléaires demandait une collaboration étroite avec le CEA, et surtout exigeait un très fort potentiel d'ingénieurs et de techniciens, que la DEFA, enfermée dans le carcan des tableaux d'effectifs budgétaires d'un service d'état, était incapable de fournir rapidement.

Le gouvernement avait donc décidé en 1957 de rassembler les études d'armes nucléaires au sein d'un organisme nouveau : la Direction des Applications Militaires du CEA²⁷ le CEA/DAM. La batterie de Limeil devait lui être rattachée au 01.01.59. Un calendrier d'essais nucléaires au Sahara, à Reggane, était décidé pour le printemps 1960²⁸. Les armées étaient chargées d'en préparer la logistique, et plus particulièrement le "Groupement Y" de la Section Technique de l'armée de Terre, dirigé par le Colonel Bastin reçut la mission d'une part d'assurer la sécurité rapprochée et éloignée du site de Reggane²⁹, en ce concerne les retombées radioactives, et d'autre part de mettre sur pied des expérimentations techniques et militaires destinées à compléter par des essais en vraie grandeur et des mesures "françaises", les renseignements exclusivement américains.

Cet organisme sera donc amené à se développer et comprendra plusieurs centaines de militaires au moment des premières explosions nucléaires françaises.

V.2.2- Travaux préliminaires du LCA dans le domaine nucléaire

L'ingénieur Général Sorlet, alors directeur du LCA, visionnaire très perspicace à long terme, considérant que les armées étaient concernées au tout premier plan par le fait nucléaire, puisqu'elles auraient à mettre en oeuvre les engins et à se protéger contre ceux de l'adversaire, prévoyait qu'il y aurait tôt ou tard un rôle à jouer pour des ingénieurs de l'armement dans ce domaine.

²⁷ : créé en septembre 1958

²⁸ : première explosion 13 février 1960 60 KT

²⁹ : s'écrit aussi Reggan

Il arriva à convaincre le directeur de la DEFA et les autorités ministérielles de conserver en son sein deux entités :

- le site de Gramat qui se consacrerait à des études de détonique, certaines d'entre elles étant faites au profit de la DAM,
- la mission "détection-protection nucléaire" des armées qui serait reprise par le LCA.

Il fit affecter un jeune ingénieur en 1957 (RIA Malardel) au service "Chimie Matériaux Non Métalliques" (CNM IV.2.1) et dès 1958 le chargea de cette mission, avec comme objectif l'étude et la mise en place de tous les appareillages de détection de rayonnements nucléaires nécessaires à la sécurité et aux expérimentations prévues au Sahara en 1960. Plusieurs centaines de matériels devaient être livrés fin 1959.

Cet objectif fut atteint et lors des explosions de Reggane en 1960-61 le LCA fut présent à plusieurs titres :

- les services Electronique (E) et Précision (Pr) qui réalisèrent les caméras ultra-rapides filmant l'explosion au profit de la DAM (voir chapitre III),
- le service de Physique Appliquée, renforcé par une petite équipe du Professeur Lenouvel, qui contribua à la mesure du flux lumino-thermique et de l'onde de choc consécutifs à l'explosion,
- le service Chimie Matériaux Non Métalliques en appui de la STAY, pour fournir les matériels de détection de rayonnement, et expérimenter de nouveaux matériels destinés aux armées françaises.

V.2.3- Le transfert à Arcueil en 1961 - Le nouveau service CP de 1961 à 1965

En 1961, le service Chimie Matériaux Non Métalliques est transféré de Saint Thomas d'Aquin à Arcueil.

Il lui faut d'une part dégager du potentiel humain pour le consacrer aux études nucléaires, et d'autre part réaliser des moyens d'irradiation pour essayer les matériels correspondants.

L'Ingénieur Général Sorlet, au départ en retraite de l'Ingénieur en Chef Louille, fusionne les deux services CP (Chimie-Physique) et CNM (Chimie matériaux Non Métalliques) sous le nom de Chimie Physique (CP). Une meilleure organisation des essais est réalisée mais surtout, la preuve ayant été faite que les procédés physico-chimiques d'analyse peuvent concurrencer en précision les procédés chimiques classiques tout en étant beaucoup plus rapides et moins coûteux, l'utilisation progressive de 1962 à 1970 de ces procédés a permis d'effectuer plus d'analyses avec un effectif beaucoup plus faible (IV.3.2), le personnel dégagé étant converti dans le domaine nucléaire.

L'effectif du service a ainsi été renforcé d'une dizaine de techniciens et ouvriers, mais aussi d'ingénieurs dont un IETA et deux jeunes filles (les rares femmes qui ont participé aux essais de Reggane).

Ce nouveau service CP comprend alors :

- une section analytique "métaux et métalloïdes" qui poursuit toutes les études de modes opératoires, et effectue les contrôles de matières premières utilisées par la DEFA ou les industriels d'Armement Terrestre,
- une section d'analyse organique, études de corrosion, peintures et vernis, colorimétrie et problèmes de camouflage,
- une section emballages et matières plastiques. En 1964, ces sections absorberont une partie du Laboratoire Central de l'Artillerie Navale : essais de rayons X et d'emballages ; en 1966 essais des peintures : le matériel d'essais et de mesure sera repris ; les missions transférées - seuls trois personnels seront mutés,
- une section nucléaire, qui s'équipe de deux premières salles d'irradiation, pour des essais de dosimètres et de radiamètres en profitant des deux casemates du fort aux murs épais de 2 mètres, qui assuraient une excellente protection contre les rayonnements sur le plan de la sécurité des manipulations.

Rassemblant ainsi quelques physiciens, électroniciens, mécaniciens, et ayant les moyens nécessaires de mesure et d'essais, cette équipe est prête en 1962 à mener à bien les études de protection nucléaires des armées conformément à l'Instruction 7661 DMAVD du 17 Mai 1962. Cette instruction précise que les tâches incombant à la Délégation Ministérielle pour l'Armement en matière de mise en condition atomique des armées dans le domaine de la protection sont conduites :

- par la DRME pour ce qui concerne les recherches,
- par la DEFA pour ce qui concerne les études et réalisations.

V.2.4 - Une réussite : le détecteur DOM 410

Contrairement à ce qui existe pour les autres types de matériels, les officiers des armées n'ont aucune expérience d'une guerre nucléaire.

Les ingénieurs du LCA ont participé aux essais de Reggane aux côtés des officiers des armes et ont donc la même expérience qu'eux.

Ils ont pu constater, sur le terrain, les défauts de fiabilité ou d'ergonomie des matériels français qu'ils ont développés, et ceux de matériels étrangers essayés. Ils ont assimilé l'emploi militaire en ambiance nucléaire.

Ils ont notamment pris conscience de la difficulté d'utiliser deux appareils différents pour les opérations de décontamination (qui nécessitent la détection de très faibles débits de dose) et pour celles de reconnaissance (pour lesquelles les débits de doses sont élevés).

De même ils se rendent compte de l'importance de la reconnaissance à bord de véhicules ou d'hélicoptères. Ils ont essayé des montages sur ces véhicules, fait utiliser des maquettes de radiamètres pour déterminer avec les utilisateurs, sur le terrain, la meilleure ergonomie d'emploi.

Une difficulté technique existe : les tubes Geiger-Muller fonctionnent mal aux débits de dose élevés ; ils vieillissent vite, et ont une mauvaise réponse aux températures extrêmes.

Par chance deux ingénieurs d'une petite société, la Société de Recherche et d'Application Technique (SRAT), ont une idée de génie, rendue possible par l'apparition des premiers transistors pouvant être employés industriellement à bas prix au lieu d'alimenter par une tension continue les électrodes d'un tube Geiger, on l'alimentera aux débits de doses élevés par une tension pulsée, divisant ainsi par 10, 100 ou 1000 le courant qui le traverse. Le tube ainsi ne vieillira plus, et sa réponse sera corrigée aux débits de dose élevés.

Les conditions de la réussite sont réunies : une innovation technique, une bonne connaissance du but à atteindre et des conditions d'emploi, des moyens d'étude et d'essais performants, une équipe soudée et passionnée, mixte : LCA et industriel.

Ainsi va naître le radiamètre DOM 410, là où les américains piétinent depuis 5 ans. Cela rendra possible des mesures dans une gamme de débits de dose de 1 à 10^5 , permettant les opérations de décontamination, de reconnaissance à pied, en véhicule, en hélicoptère ainsi que la veille et l'alerte à poste fixe dans un abri, à un niveau choisi par l'opérateur.

Cet appareil connaîtra un succès important et sera construit à plus de 10 000 exemplaires entre 1963 et 1970 pour les trois armées de terre, de l'air et la marine ; il sera également vendu à d'autres nations européennes.

Le LCA avait conquis droit de cité dans le domaine de la mission "détection protection nucléaire", non seulement auprès de l'armée française, mais encore dans les milieux internationaux (FINABEL, OTAN).

De nombreux accessoires au DOM 410 ont été successivement mis au point : accessoires d'alimentation, appareils de contrôle, conteneur d'étalonnage multigamme, sonde à liquide, enregistreur portatif, système spécial de télémesures, atelier mobile de soutien (pour vérifier, réparer et étalonner les matériels Radiac sur le terrain).

V.3- L'EXPANSION DE LA MISSION NUCLEAIRE DU LCA (1965-1975)

- ORGANISATION MISE EN PLACE

(début de la mission interdirections du LCA)

V.3.1- Transformations de l'environnement nucléaire du LCA

Des transformations importantes se sont produites dans l'environnement nucléaire du LCA entre 1962 et 1965.

- a. De 1958 à 1961, l'équipe chargée au LCA de la mission "détection-protection nucléaire" a été en prise directe avec l'Etat-Major de l'Armée de Terre pour la discussion des programmes d'études et de fabrication, et des crédits correspondants. En 1961, la Délégation Ministérielle pour l'Armement est instituée et crée en son sein un "Bureau Atome" qui deviendra ensuite la "Mission Atome". Il contrôle les travaux de la DAM, mais prendra dès lors également le financement et

le contrôle à haut niveau des travaux nucléaires du LCA sur les crédits de la "section commune".

b. En 1959, le bureau "Etudes et Recherches Techniques de la DEFA avait été remplacé par le bureau "Recherches et Armes Nouvelles", chargé notamment de suivre les études de missiles et de charges creuses. A partir de 1962, le LCA prend en charge lui-même, sans l'aide de la SEFT (dont il dépendait jusque-là en ce domaine), le contrôle des fabrications dans l'industrie des appareils de détection-protection nucléaire. Les crédits correspondants ne transiteront plus par le bureau TELEC de l'administration Centrale, mais par le bureau RAN et l'Ingénieur Général Defrance contrôle ces travaux. En 1963, l'Ingénieur Général Meyer, ancien chef du service CNM, est nommé à la direction du bureau RAN à la place de l'IGA Taveau. En 1965, RAN devient la Sous-Direction NBC, (décret n° 65-707 du 16 Août 1965) dont l'IG Defrance prend la direction puis en 1971 l'IGA Cavé.

c. Aux essais nucléaires en plein air de 1960-61 succèdent des essais souterrains à In Arque, près de Tamnassat. Une pause étant décidée en 1962, une grande partie du travail de la STAY disparaît et son potentiel risque d'être inutilisé.

Le Ministre décide alors de le transférer à la DMA en créant le Centre de Recherche Atomique Militaire d'Aubervilliers (CERAM), sera rattaché au bureau RAN de la DEFA.

Il est chargé des études de protection nucléaire des armées et il est fortement question de lui donner la mission de détection et protection du LCA. Heureusement l'Ingénieur Général Sorlet alors directeur de la DEFA, veille sur le "poulain" qu'il a créé. Un compromis est obtenu au niveau de la DMA :

Le CERAM sera chargé des recherches et études "amont" de dosimétrie et de protection nucléaire des Armées. Le LCA conservera les missions "aval" : développement de matériels de détection, de décontamination, fabrication des matériels de série, le CERAM continuant à assumer dans le domaine nucléaire le rôle d'homologateur des matériels dévolu à la STA.

d. Une autre transformation importante interviendra fin 1966 dans cet environnement, bien que sans conséquence immédiate pour le LCA.

Par décision n° 10.580 DMA/D du 27/12/66, le Délégué Ministériel pour l'Armement charge la DEFA (devenue DTAT par Décret n° 65.707 du 16/08/65) de la mission "Biologie et Chimie", dévolue à la Direction des Poudres qui disparaît, ses établissements étant transformés en Société Nationale des Poudres et Explosifs (SNPE).

La partie de l'Etablissement de recherche du Bouchet qui s'occupait des études B et C, la Section d'Etude de Biologie et de Chimie (SEBC) est rattachée à la DTAT. Sa mission est d'étudier les systèmes d'armes chimiques, et surtout les problèmes de détection, protection, décontamination chimiques et biologiques, qui ont à certains points de vue une certaine parenté avec le nucléaire correspondant.

Pour le moment le LCA³⁰ est simplement chargé d'assurer le soutien logistique et l'administration du nouveau Centre B et C du Bouchet, qui reçoit directement ses ordres de travail de l'ex-bureau RAN, devenu "Sous Direction NBC".

³⁰ : Le domaine B et C n'est pas traité dans cette monographie, la SEBC n'ayant été fusionnée avec le LCA qu'en 1975 (création ECA-ETCA, VIII.2 et tome 14 Défense NBC).

V.3.2- Fusion du CERAM au sein du LCA en 1964-1965 et conséquence pour l'organisation des services

C'est un tournant très important pour la mission nucléaire du LCA.

a. Les raisons de cette fusion

La situation du CERAM était ambiguë et difficile.

En ce qui concerne sa principale mission antérieure, les essais nucléaires en vraie grandeur, les sites de Reggane et d'InAmquel avaient été abandonnés, suite à l'indépendance de l'Algérie.

Les essais devaient reprendre sur les nouveaux sites du Pacifique, mais avec une dominante "Marine". Le gouvernement avait décidé de confier la mise sur pied de ce centre d'expérimentation, et la conduite des essais nucléaires au CEA. Un nouvel organisme avait été créé en 1964 : la Direction des Centres d'Expérimentation Nucléaire (DIRCEN). Le CERAM perdait donc définitivement cette mission.

L'armée de Terre, de son côté, considérait que le CERAM ne pouvait jouer le rôle de Section Technique de l'armée, puisque rattaché à la DMA, et elle demandait la remise sur pied d'une STAY indépendante, pour assurer les missions d'homologation et de recette des matériels.

La frontière avec le service Chimie Physique de l'ETCA était difficile à définir : où commence le développement et où s'achève la recherche

Enfin le fort d'Aubervilliers devait être vendu à la ville pour construire sur cet emplacement des logements, toute la STA devant être rassemblée sur le plateau de Satory. C'est pourquoi le Délégué Ministériel pour l'Armement décida en Août 1964 de fusionner sur le site d'Arrouel les services du LCA s'occupant du nucléaire et le CERAM, et un programme important de construction de bâtiments était lancé pour accueillir les nouveaux services : deux baraquements provisoires permettent des déménagements rapides au début de l'année 1965 (construction, pour une fois exceptionnelle terminée deux mois avant la date contractuelle !!).

b. Le renforcement des moyens

Cette fusion va permettre de mettre sur pied une équipe ayant une masse critique suffisante, organisée rationnellement par type d'activité.

Dix officiers extrêmement qualifiés de l'ancienne STAY sont intégrés comme ingénieurs de l'Armement, de jeunes ingénieurs de l'Armement et IETA seront affectés aux nouveaux services, et le LCA utilisera au mieux le tableau d'effectif de l'ex-CERAM pour recruter ingénieurs et techniciens contractuels (remplacement des personnels non mutés).

C'est ainsi que la partie nucléaire du LCA représentera désormais environ 200 personnes : ingénieurs, techniciens, ouvriers.

En outre elle conserve une certaine de scientifiques du contingent qui représentaient un appoint très important de matière grise, ingénieurs, et qui venaient chaque année apporter leur contribution aux études pendant seize mois de leur service militaire.

A noter que la DTAT, hors LCA n'avait que 20 scientifiques, effectif antérieur des ingénieurs de réserve !

Les deux parties fusionnées étaient très complémentaires :

Le CERAM apportait ses missions, ses moyens importants en personnel, sa connaissance du besoin militaire et son expérience des essais nucléaires.

Le LCA avait les laboratoires de chimie et de physique, les ateliers de mécanique et d'électronique, l'habitude des études et fabrication en liaison avec l'industrie.

Enfin la Mission Atome avait prévu des crédits de construction de bâtiments et d'équipement en matériels très conséquents, qui allaient permettre de réaliser un centre d'études et d'essais tout à fait moderne, manne dont bénéficieront indirectement les missions de chimie et de physique du LCA, puisqu'elles étaient intimement mêlées au nucléaire.

c. L'organisation mise en place

- l'ensemble de la mission NBC de la DTAT est contrôlée par le bureau RAN, puis par la Sous-Direction NBC. Elle est renforcée au premier Janvier 1965 par les Colonels Bastin et Payen, en provenance du CERAM nommés ICA, et qui viendront assurer le contrôle des travaux nucléaires. Sur le plan nucléaire, la "Mission Atome" de la DMA suit aussi de près les travaux du LCA et deux autres officiers sont également intégrés dans son équipe : les commandants Bongrain et Durand,

- au LCA, l'ensemble de la mission nucléaire est rassemblé sous l'autorité du lieutenant-colonel Lataste, promu ICA, sous la forme d'un "département Physique Chimie Atome" (PCA) qui représentera 35 % du potentiel de l'établissement. Cette fusion a entraîné une réorganisation des autres services, avec la création d'un département "Mécanique" et d'un département "Electromécanique" (voir chapitres II et III).

Ce département PCA, outre un petit groupe logistique, comprend trois services :

Un service "Etudes Théoriques" dirigé par le lieutenant-colonel Roulin, en provenance du CERAM. Ce service est à l'origine équipé d'un petit ordinateur (une CAB 500), moins puissant qu'un micro d'aujourd'hui, mais outil cependant pour l'époque, très précieux³¹. En 1966, il sera doté d'un matériel IBM 800 et pourra se servir de l'ordinateur UNIVAC 1100 du CC-SA créé le 31/12/1965 à partir du service Machines à Calculer du LCA, dirigé par l'ICA Sestier - ainsi le service ET sera au LCA l'un des pôles informatiques.

³¹ : En 1964-70 il utilise l'ordinateur IBM 7040 du Service des Machines à calculer du LCA (Sn II-3).

Sa mission sera de rassembler toutes les données sur les effets des explosions nucléaires, données américaines, données provenant des expériences et essais français, les compléter par des calculs et études théoriques pour modéliser les phénomènes physiques, leur propagation dans l'atmosphère, leurs effets sur l'environnement : onde de choc, flux thermique, rayonnement initiaux et résiduels d'origine nucléaire.

Un ingénieur, ancien collaborateur du physicien de Broglie, M. Hillion va mettre sur pied une équipe de mathématiciens et physiciens pour réaliser ces études.

Un service "Détection Protection Nucléaire" rassemblera les moyens du LCA et du CERAM, concernant la détection des rayonnements nucléaires et la protection contre ces rayonnements.

Dirigé par l'ICA Malardel, ancien chef du service Chimie Physique du LCA, il est renforcé par les ex-Commandants et maintenant IPA Bovagne, Amat, Piquemal qui avec trois jeunes IA et deux IETA, constitueront l'ossature de "matière grise" du service.

L'ancien service Chimie Physique, qui sera désormais dirigé par l'IPA Meunier aidé par le Commandant Hervouet devenu IPA. Outre les missions classiques du LCA dans le domaine physico-chimique, il rassemble les moyens du CERAM en matière de flux thermique (notamment le four solaire du Mont Lachat), d'onde de choc, de décontamination, et de dosimétrie chimique.

Une certaine osmose a lieu par exemple entre les équipes qui étudient le flux thermique et ceux qui étudiaient au LCA infrarouge et la colorimétrie, entre ceux chargés de la décontamination et les experts en matière de plastiques et d'emballages, entre les ingénieurs chargés des études de dosimétrie chimique et les spécialistes en analyse ou en chimie organique (chap. IV).

Cette solution provisoire, avait pour but de faciliter la fusion avec le CERAM. En 1969, comme prévu, le département PCA a été scindé en deux :

- **Département Physique Chimie Matériaux PCM**, sous la direction de l'ICA Meunier : les travaux de ce département sont précisés au chapitre IV, à l'exception du domaine nucléaire, donnés ci-après dans le chapitre V (V.4.5 et V.4.6).
- **Département Détection Protection Nucléaire DPN**, sous la direction de l'ICA Malardel (remplacé en 1970 par l'ICA Amat, après mutation de l'ICA Malardel à la Sous-Direction NBC). L'organisation de DPN est revue et comprendra quatre services (organigramme du chapitre I).
- **Matériels RADIAC (MR)** dirigé par l'ICA Piquemal responsable de l'étude, l'évaluation et la réalisation des différents matériels nécessaires, radiamètres, dosimètres etc. (V.4.4).
- **Rayonnements Ionisants (RI)** dirigé par l'ICA Lévy chargé des études physiques de base de radioprotection. Sa mission est de réaliser en laboratoire des rayonnements ionisants, tranches de ce qui se produit lors d'une explosion nucléaire. L'ensemble est nécessaire pour effectuer les études de dosimétrie, radioprotection, radiopathologie et radiobiologie (ces deux dernières pour le service de Santé des Armées) (V-4-3).

- **Etudes Théoriques (ET)** dirigé par l'ICA Remandet (V.4.2, 8 et 9).
- **Médecine et Sécurité (MS)** dirigé par le Médecin en chef Girardot, ayant un rôle de conseil d'expertise et de surveillance en matière de sécurité radiologique pour le Ministère de la Défense, en appui du SPRA ou pour le Service National de la Protection Civile (V.4.10).

V-4- LES TRAVAUX MENES DE 1965 A 1975 DANS LE DOMAINE NUCLEAIRE

V.4.1- Généralités

Dès l'été 1965, les personnels de l'ancien CERAM ont rejoint Arcueil et les nouveaux services sont opérationnels dans des locaux provisoires.

De 1965 à 1975, le LCA va connaître une période d'expansion importante, pendant laquelle ses équipes vont se développer, créer des "outils" de travail et réaliser l'équipement progressif des armées. Détailler tous ces travaux serait fastidieux ; on en trouve une trace fidèle dans les comptes rendus adressés deux fois par an aux états-majors, Directions Techniques et à la Mission Atome de la DMA, bailleur de fond, via la sous-direction NBC de la DTAT.

On se contentera ci-après de résumer les grandes lignes de ce développement et de ces réalisations de 1965 à 1975. Plutôt qu'un exposé chronologique (il n'y a pas de date cruciale dans cette période), il a semblé préférable de résumer ces activités par "domaine technique".

Ce qu'il faut souligner sur le plan général, c'est l'extrême diversité des techniques nécessaires à ces études de défense nucléaire :

- les études de détection et de protection contre les rayonnements nucléaires demandent certes des connaissances de physique et de chimie "nucléaire", mais aussi des spécialistes de biologie pour comprendre les effets sur l'homme .
Les appareillages de détection utilisent les connaissances de pointe de la physique et de l'électronique ; mais ces matériels doivent fonctionner avec l'énergie très faible de deux piles de poche, entre - 40°C et + 70°C, résister aux chocs, chutes, secousses du service en campagne et du transport tout terrain.
Des solutions mécaniques et électriques très pointues sont indispensables pour pouvoir réaliser de telles performances. Ces matériels doivent résister également aux opérations de décontamination, des matériaux nouveaux et des revêtements spéciaux sont nécessaires.
Les mesures faites par ces appareils doivent être transmises à distance. Des simulateurs d'entraînement utilisent des techniques de radiocommunication. Des spécialistes des transmissions sont donc également indispensables à ces études.
- les études de protection contre le flux thermique et l'onde de choc exigent des physiciens de haut niveau, des électroniciens spécialistes de mesure, des mécaniciens pour les montages, des spécialistes de matériaux et de calculs de structures lorsqu'il s'agit d'effets sur le matériel, des biologistes pour les études d'effets sur l'homme,

- La propagation dans l'atmosphère demande une connaissance des lois de propagation et une simulation par calculs numériques complexes, que l'on ne pourra bientôt mener que par programmation sur ordinateur.
- les études de contaminations sont confiées à des physiciens et des chimistes, associés à des biologistes, mais les connaissances, en météorologie sont indispensables pour prévoir le devenir du nuage radioactif.

Cette pluridisciplinarité sera la grande difficulté de cette mission, mais l'intérêt scientifique et technique de ces travaux passionnera les ingénieurs qui en étaient chargés et la maîtrise de ces diverses techniques sera à l'origine de la réussite du LCA en ce domaine. Les résultats obtenus dans la décennie 1965 -1975 supportent avantageusement la comparaison avec les résultats américains, bien que les moyens consacrés par le LCA aux travaux d'étude et de réalisation soient environ le dixième de ceux mis en oeuvre par les Américains.

V.4.2- Etudes théoriques d'effets des armes

Un service Etudes Théoriques (ET) a été créé sous la direction de l'ICA Roulin, auquel a succédé en 1968 l'ICA Remandet pour effectuer sur ordinateur certains travaux théoriques concernant les armes nucléaires.

Les travaux devenant de plus en plus importants, le service est devenu le Département Etudes Théoriques (DET) le 01/09/1973, comportant trois services :

- effets des armes,
- physique expérimentale (interprétations),
- physique mathématique,

dont les trois premiers chefs de service ont été respectivement IA Gaurand, IPA Lemonnier, ISC Hillion.

En 1979, DET fusionnera avec le CIRO, leurs activités étant complémentaires, pour former le CAS puis en 1980 le CAD (Centre d'Analyse de Défense (voir VIII et X Annexe 2).

Le service a créé des modèles mathématiques de plus en plus élaborés, soit pour calculer les phénomènes physiques résultant d'une explosion nucléaire, soit pour simuler les effets opérationnels sur des hommes, des matériels, des constructions, dans un environnement civil ou militaire.

Leur efficacité a été considérablement accrue lorsque le LCA a pu utiliser l'ordinateur du CCSA, capable de mener des calculs longs et complexes à l'aide d'un terminal UNIVAC 1004.

L'équipe du LCA a été avec le CIRO la première à faire, en France, des simulations opérationnelles militaires, études de recherche opérationnelle et d'analyse système, qui sont monnaie courante aujourd'hui.

Parmi les réalisations importantes de cette période, on peut citer :

- a. L'étude de modèles mathématiques de propagation de l'onde de choc et du flux lumino-thermique, ou de génération de l'impulsion électromagnétique résultant d'une explosion dans l'atmosphère.
Ce dernier modèle, ainsi que celui permettant de calculer la diffusion à grande distance du flux lumineux, ont été notamment utilisés pour étudier les possibilités de détection opérationnelle des explosions et la mesure de leur énergie.
Les risques d'aveuglement et d'éblouissement de personnels à terre ou en aéronefs ont pu également être ainsi déterminés.
- b. L'étude de modèles mathématiques de diffusion des rayonnements gamma et neutroniques issus de l'explosion, afin de connaître les spectres énergétiques (pourcentage de la dose par intervalle d'énergie) et la répartition géométrique (pourcentage de la dose provenant des diverses directions), à diverses distances de l'explosion.
Ces modèles ont permis par la suite de calculer la réponse de dosimètres à l'éclair initial, selon leur place sur le corps humain, et en fonction de l'environnement.
Des calculs analogues en zone de retombées, ont été utilisés pour déterminer la réponse d'un appareil embarqué sur hélicoptère ou avion (facteur de restitution) et de mettre au point les scénarios de reconnaissance aérienne ou terrestre.
- c. L'étude de la diffusion de rayonnements gammas et neutroniques à travers des blindages, et la diffusion dans des enceintes géométriques de forme simple (cube, sphère, cylindre) ; les calculs, menés en collaboration avec le CEA, et recalés sur l'expérience, ont facilité les études de protection des chars de combat, ainsi que celles d'abris contre les retombées.
Des méthodes simplifiées de calcul ont été en particulier mises au point pour la Sécurité Civile, afin de déterminer la protection offerte par des caves, ou dans les différents étages d'immeubles, à partir de la connaissance des plans et de la nature des matériaux de construction.
Ces études ont permis d'orienter les investigations de la Sécurité Civile en matière d'abris anti-retombées.
- d. Des programmes de simulation des effets d'explosion nucléaire ont été élaborés au profit des états-majors ou de la Sécurité Civile, pour évaluer, dans diverses circonstances, les "rayons d'efficacité" des engins nucléaires, les pertes en hommes et en matériels, ou les dégâts aux agglomérations, et mettre sur pied les "tables" militaires de critères de perte et de sécurité.
- e. Des modèles mathématiques de diffusion du nuage radioactif sont également devenus des outils courants pour prévoir les conséquences lointaines de l'explosion, et déterminer les mesures à prendre pour protéger la population, dans diverses hypothèses d'attaque nucléaire.
- f. Lors des premières études, les résultats étaient simplifiés, par exemple en ce qui concerne les conditions météorologiques. Les modèles mathématiques ont été perfectionnés au fur et à mesure que les connaissances physiques ont pu être précisées. Ils tiendront peu à peu compte de l'environnement : altitude et

paramètres de l'explosion, relief, constructions et obstacles ; conditions météorologiques, albédo du sol et des nuages, etc...

- g. Utilisés initialement par l'armée de terre, les moyens d'études théoriques vont peu à peu servir aux trois états-majors, ainsi qu'à l'Etat-major des Armées. C'est ainsi que le LCA étudiera l'échauffement des avions sous l'effet du flux thermique, la création de vagues et la résistance de navires, d'avions et d'hélicoptères sous l'effet de l'onde de choc. De même il collaborera au durcissement d'ouvrages enterrés de la FNS : silos, postes de commandement, ainsi qu'à celui des sous-marins nucléaires.

V.4.3 - Réalisation d'installations d'irradiation à des fins d'études et d'essais

Le LCA avait besoin d'installations de simulation des rayonnements produits par les explosions nucléaires, soit à des fins de mesures pour la mise au point de détecteurs, soit pour essayer des matériels prototypes ou de série, dans les conditions normales, aux températures extrêmes et sous sollicitations mécaniques, enfin pour permettre des études biologiques sur mannequins ou sur animaux.

Dans ce but, les deux premières salles d'irradiation réalisées en 1961 furent spécialisées pour la recette des radiamètres et des dosimètres. Il n'était pas logique ni rentable de faire effectuer ces réceptions par le SIAR qui aurait dû former des spécialistes et créer des installations analogues avec un taux d'utilisation extrêmement faible. Deux nouvelles casemates furent équipées avec des sources de cobalt 60 et de caesium 137, pour les essais d'études. Deux autres furent équipées d'appareils de rayons X permettant d'étudier la réponse spectrale des matériels entre 40 et 250 Kev, et un accélérateur de 600 KV fut installé dans une troisième pour tester la réponse entre 250 et 500 Kev.

Une autre casemate reçut deux accélérateurs de 150 et 400 KV, permettant d'accélérer des ions deutérium et de bombarder une cible frittée ayant absorbé du tritium, afin de produire des neutrons de 14 Mev.

Enfin, un ensemble de salles d'irradiation fut réalisé, sous la direction de IPA Lévy, et abrita un béta-tron de 6 MV et deux accélérateurs linéaires de 4 MV et 16 MV pour simuler les éclairs de rayonnements gamma de haute énergie de l'éclair initial, et un accélérateur Van de Graff de 2 MV permettant d'étudier les réponses spectrales des dosimètres neutroniques.

Un effort très important de métrologie accompagna la création de ces outils d'irradiation : métrologie des doses et débits de doses gammas et neutroniques, mesure des spectres d'énergie correspondants. La précision des mesures fut améliorée d'un facteur 10 à 100. Dans certains domaines, comme les doses et énergies de rayons X, le LCA obtint même du Bureau National de Mesures (BNM), le label de laboratoire de référence (étalons secondaires de rayonnement) (voir VII.4).

V.4.4- Etudes²² de détection de rayonnements nucléaires et matériels réalisés

Les sens humains ne perçoivent pas les rayonnements nucléaires. Il est donc indispensable de les détecter et de les mesurer, afin d'en apprécier le danger.

a. Les fonctions à assurer dans ce domaine tant pour les Armées que pour la Protection Civile sont les suivantes :

- lors de l'éclair nucléaire initial, des rayonnements gamma et neutronique de haute énergie se propagent à quelques kilomètres de l'explosion. Leur spectre d'énergie est très étendu et les diverses énergies n'ont ni la même pénétration, ni le même danger pour l'homme.
Il faut déterminer la "dose" dangereuse reçue, en quelques fractions de secondes. Les débits de dose sont très élevés (d'où le nom d'éclair nucléaire) et il faut donc des dosimètres répondant très rapidement sans saturation.
Les appareillages électroniques sont trop lents et seules des transformations de structure dans des solides sont utilisables.
- en zone de retombée, une personne doit pouvoir connaître en permanence la dose qu'elle a reçue, afin de savoir quand elle doit interrompre la mission et revenir hors de la zone sans avoir reçu une dose mortelle. Il faut donc alors des dosimètres gamma à lecture directe.
- mais cette dose peut être prévue si l'on dispose de "radiamètres" qui mesurent le "débit de dose".
Ce type d'appareil permet aussi de faire la cartographie des zones rendues dangereuses par la retombée.
- pour permettre les opérations de décontamination, des détecteurs doivent permettre de localiser les produits de fission et d'activation provenant des retombées et souillant les individus, les matériels et l'environnement.
Ces matériels détectent les très faibles niveaux de rayonnements alpha bêta et gamma émis par ces produits.
- les personnels d'installations fixes (abris, terrains d'aviation...), les brigades de gendarmerie en appui de la Protection Civile, doivent pouvoir être alertés lorsqu'arrive la retombée. De même les équipes de reconnaissance doivent savoir qu'elles pénètrent dans une zone de retombées.
Des appareils doivent donc donner l'alerte correspondante.
Ils doivent enfin être très simples d'emploi et ergonomiques pour être servis par du personnel non spécialisé.

²² : En dehors des études, de très nombreux essais FINABEL de radiamètres et dosimètres ont été effectués.

b. Outre le radiamètre DOM 410 dont on a déjà parlé, en V.2.4, le LCA mettra au point dans les années 70, de nombreux matériels, en particulier :

- un radiamètre simplifié (RS), complémentaire du DOM 410, beaucoup plus petit et pouvant être mis dans une poche, destiné aux unités aéroportées ou aux fantassins,
- un radiamètre-dosimètre de bord qui équipera des véhicules divers et les avions de l'Armée de l'Air,
- un ensemble de reconnaissance ERRA permettant de faire de la cartographie de zone de retombée à partir d'un véhicule ou d'un aéronef.
Après des essais comparatifs au plan Finabel, cet appareil sera construit pour les armées française, allemande et italienne, après adoption dans le cadre d'une coopération tripartite.
- un détecteur d'alerte de la radioactivité ambiante ARA étudié et réalisé pour la Protection Civile.³³ Une équipe itinérante du LCA mettra en place et entretiendra ces installations dans toute la France,
- un détecteur de Plutonium, pour les unités de l'armée de l'Air ou de Terre dotées d'engins nucléaires,
- des stylo-dosimètres, électromètres à lecture directe (type JER) permettant la mesure de la dose en zone de retombée. Plusieurs milliers de ces matériels seront fabriqués pour le compte des Armées et de la Sécurité Civile,
- un complexe dosimétrique de l'éclair initial et le lecteur portable correspondant sera mis au point durant les années 70. Il comprend un dosimètre photoluminescent et un dosimètre thermoluminescent pour la dosimétrie des rayonnements gamma et un dosimètre à semi-conducteur pour les neutrons,
Les américains ne mettront au point un tel dosimètre que dix ans plus tard !
Mais la doctrine d'emploi des armées n'était pas arrêtée en matière de dosimétrie et ce matériel ne sera pas adopté.
Les dosimètres gamma à luminescence seront cependant fabriqués à plusieurs dizaines de milliers d'exemplaires pour les besoins de l'armée de l'Air et les équipages de la FNS.
- enfin le LCA a étudié et fait fabriquer des matériels divers :
 - . simulateurs de radiamètres et de dosimètres et simulation d'une zone de retombée, à partir d'émissions radio-électriques
 - . matériels d'étalonnage et de réparation en campagne des appareillages équipant les armées
 - . lots permettant de signaler et de baliser les zones de retombées (ainsi que les zones contaminées par des agents bactériologiques ou chimiques).

³³ : a été installé principalement dans les brigades de gendarmerie.

- c. En matière de protection contre les rayonnements, le LCA a étudié de façon théorique et expérimentale, en collaboration avec le CEA lorsque des irradiations devant des réacteurs nucléaires seront nécessaires, la diffusion des rayonnements dans des volumes simples (cubes, parallélépipèdes, sphères) et l'influence de matériaux constituant les parois (béton, acier, caoutchouc, ...).

Ces études permettront l'optimisation des blindages de char de combat. Les pays Finabel s'y intéresseront tout particulièrement.

V 4.5- Etudes de décontamination³⁴

- a. L'IPA Remandet et l'IPETA Potet vont installer à Bourges en 1967 une installation de simulation de retombées unique en Europe, qui permettra des essais en vraie grandeur ainsi que l'instruction des personnels des Armées. Ce Centre, géré administrativement par l'ETBS, dépendra techniquement du LCA pour lequel il travaillera.

La technique utilisée est la fixation d'un isotope radioactif à vie très courte³⁵ le lanthane 140 (fabriqué par le CEA) sur du sable, puis l'épandage de ce sable par un véhicule équipé de "Semoir à graines", sur un terrain de 100 m x 100 m.

Sur la zone radioactive ainsi créée, on peut pendant quelques jours, soit faire des mesures comme dans une reconnaissance en zone retombée (à pied, en véhicule, en avion), soit contaminer des véhicules et les décontaminer ensuite.

Ce terrain était complété par une salle permettant une contamination par voie sèche (sable) ou humide (pluie), comme en période de retombée.

Enfin des installations fixes de décontamination des véhicules, des personnels, des bacs de rétention des eaux de lavage, des salles de cours et de travaux pratiques, des laboratoires d'entretien des matériels, de mesures de radioactivité et de chimie complétaient le centre.

- b. En liaison avec les laboratoires d'Arcueil, ce centre permettra la mise au point des méthodes et des appareillages d'analyse et d'identification des produits de fission, des méthodes de décontamination en laboratoire mais surtout "en campagne", pouvant être utilisées par les armées en temps de guerre, sur le terrain.

On testera ainsi l'efficacité pour la décontamination nucléaire des appareillages de décontamination B et C : remorque de 600 L, générateurs de vapeur, bidon de décontamination pour véhicule, ensemble douches de campagne, motopompes, etc...

Un centre de tri et de décontamination mobile sera mis au point pour les unités de bases aériennes de la FNS.

Les équipements individuels (masques, tenues) seront également testés.

³⁴ : Voir aussi Tome 4, L'ETBS page 19.

³⁵ : Période 40 H (intensité divisée par 2ⁿ en 40.n heures).

Enfin les produits décontaminants et leurs emballages seront mis au point en liaison avec l'industrie chimique, notamment ceux devant être utilisés sur des appareillages plus délicats (réacteurs d'avions par exemple) ou pour la décontamination du corps humain.

- c. Ce centre va surtout être utilisé pour l'instruction des personnels de l'armée de Terre, de la DCMAT, de l'armée de l'air, puis de la Bundeswehr allemande et de l'armée hollandaise.

Plusieurs dizaines de milliers d'officiers, sous-officiers et hommes de troupe seront ainsi instruits et entraînés, au cours de stages de 2 à 5 jours.

Tous les matériels des 3 armées seront ainsi testés.

- d. Le Centre servira également de terrain d'expérience pour recalibrer des modèles mathématiques permettant de simuler la diffusion dans l'air des rayonnements, l'albédo du sol, et de déterminer les "facteurs de restitution" du débit de dose au sol, à partir d'une mesure en altitude par un aéronef.

V.4.6 - Protection contre le flux lumino-thermique³⁶

- a. Le CERAM utilisait, dans un fort désaffecté des Alpes (Le "Mont Lachat"), un petit four solaire d'un mètre de diamètre. Malheureusement le site était d'un accès difficile (téléphérique) et pas toujours très utilisable en raison des conditions atmosphériques.

Un site plus propice fut donc recherché, et un four solaire particulièrement adapté à la simulation du flux thermique d'une explosion nucléaire fut construit à Odeillo, dans les Pyrénées-Orientales, (près de Mont-Louis).

Accessible par la route, cette installation est à proximité du grand four solaire du CNRS, dans la région de France qui jouit du plus fort ensoleillement.

Un miroir plan carré de 14 mètres de côté, pivote selon deux axes, un horizontal, l'autre vertical, et suit le soleil dans sa course, de façon à renvoyer le faisceau d'énergie solaire, sur un miroir sphérique de 10 mètres de diamètre situé dans un bâtiment cubique.

A l'entrée du bâtiment, des "stores vénitiens" métalliques verticaux, actionnés par une hydraulique rapide peuvent être progressivement couverts et fermés, afin de moduler le flux selon les mêmes lois que le flux thermique nucléaire considéré.

Le miroir sphérique concentre l'énergie et crée ainsi une "tache" d'une dizaine de centimètres de rayon, où les dépôts d'énergie peuvent atteindre jusqu'à $120 \text{ cal/cm}^2/\text{s}$ et la température de matériaux dépasser 3000 degrés.

Ce four solaire sera opérationnel en 1970 et fera preuve de qualités très supérieures à celles de son homologue américain.

³⁶ : L'ensemble des travaux concernant le flux lumino-thermique est effectué au département PCM service CP (V.1).

- b. L'installation servira d'abord à tester des matériaux : tissus utilisés dans des vêtements, matières plastiques ou matériaux divers utilisés par les armées dans les matériels militaires.
- c. Elle sera par la suite beaucoup utilisée par l'équipe de Biologie Animale pour l'étude des brûlures sur le porc dont la peau est la plus voisine de celle de l'homme (Voir V.4.11).
- d. Ces études nécessitent un effort important de métrologie des flux thermiques et des hautes températures.

La mise au point de méthode et d'appareillage rendra possible les mesures en vraie grandeur qui seront faites au Pacifique, lors des explosions aériennes des années 1970.

- e. Le flux lumino-thermique risque également de provoquer des éblouissements dangereux pour des pilotes, ou des cécités par brûlure rétinienne.

L'énergie lumineuse dangereuse est délivrée en quelques millisecondes tout au début de l'éclair thermique .

Le LCA a réalisé plusieurs simulateurs à Arcueil, permettant d'une part de faire des tests sur animaux, puis sur l'homme, sous l'égide du service de Santé des Armées, ou d'essayer des matériels de protection.

- f. Des lunettes de protection contre la brûlure furent mises au point, par dépôt sur des supports plastiques de couches métalliques très minces. Cette étude aboutit à la réalisation de lunettes pour L'armée de Terre, et de visières intégrées dans les casques des pilotes de l'armée de l'air.
- g. Ces lunettes n'apportaient pas une protection suffisante pour éviter l'éblouissement des pilotes d'hélicoptère volant à basse altitude.

Les filtres nécessaires étaient alors tellement opaques qu'ils empêchaient une vision normale en plein jour. Il fallait donc réaliser des "obturateurs" pouvant intercepter l'éclair lumino-thermique en moins de 200 micro-secondes !

Des systèmes mécaniques et pyrotechniques furent essayés, mais les premiers étaient trop lents, les seconds peu fiables.

Des substances photochromes furent mises au point, qui "noircissaient" lors d'un violent éclairage ultraviolet. Mais il était difficile d'obtenir des produits permettant un assombriement suffisant, dans les délais impartis et ayant une bonne stabilité.

En définitive, ce sont des cristaux électro-polarisants, dont la fabrication fut mise au point avec le LETI de Grenoble. Le plan de polarisation de ces cristaux peut tourner de 90 degrés sous l'effet d'un champ électrique, par exemple dès le début de l'éclair lumino thermique. La lunette devient alors brusquement opaque, en un temps suffisamment faible pour protéger la vue du porteur.

Des prototypes ont été réalisés selon ce principe.

V.4.7- Protection contre l'onde de choc ³⁷

Il n'était pas possible de faire à Arcueil, en pleine ville, des essais de protection contre l'onde de choc et le souffle résultant d'une explosion nucléaire.

Les études correspondantes furent donc confiées au Centre d'étude de Gramat (CEG), dans le Quercy, qui à cette époque était indépendant du LCA. Il ne lui sera rattaché qu'en 1976 (note 11.320 DMA/D du 24/07/1975 X Annexe 5).

Il serait cependant dommage de ne pas parler des travaux émérites des équipes de ce centre qui coopérait beaucoup avec le LCA.

- a. Un premier problème à résoudre est la simulation des phénomènes, qui nécessite la création d'une onde de choc de longue durée (la seconde), ne pouvant pas être obtenue par la simple explosion d'un projectile (quelques millisecondes), ainsi que celle du souffle nucléaire caractérisé par un vent de plusieurs centaines de kilomètres/heure.

Les équipes du CEG, après avoir simulé le phénomène dans des "tubes à choc" classiques de quelques mètres, utilisèrent un tunnel ferroviaire désaffecté, à Saucières dans l'Aveyron.

L'explosion de quelques dizaines de kilogrammes d'explosif, engendrent, au bout d'une centaine de mètres une onde de choc et de souffle de caractéristiques analogues à celles du souffle nucléaire.

- b. Ce tunnel permit des essais sur des matériels militaires divers amplement, véhicules, hélicoptères : les études expérimentales qui y furent menées permirent la mise au point de code de calculs, l'étude de la propagation du choc dans des galeries, ainsi que la mise au point de détecteurs et matériels de mesure électroniques associés.
- c. Le CEG participa aux études de protection de la FNS : durcissement des silos, des postes de commandement et même des missiles stratégiques, entre les ondes de choc et l'exposition aux rayonnements.
- d. Le tunnel de Saucières avait plusieurs inconvénients : l'emploi d'explosifs engendrait une très forte surpression au niveau de l'explosion dégradant les parois du tunnel, il était situé loin de Gramat, son coût d'utilisation était élevé.

L'ICA Crosnier, hydrodynamicien, eut l'idée d'un nouveau moyen de simulation n'utilisant pas d'explosif.

³⁷ : Voir volume 3.2 : Le Centre d'Etudes de Gramat

Cette nouvelle technique est basée sur la génération de l'onde de souffle par piston gazeux moteur. Sa faisabilité a été démontrée avec un simulateur à veine courte (TACP) qui a fonctionné à partir de 1975.

Le CEG a ensuite construit, entre 1976 et 1978, sur le même principe, le Simulateur de Souffle à Grand Gabarit (S.S.G.G.), à veine hémicylindrique d'un diamètre de 12 mètres, réalisé en béton précontraint et dans lequel tout était prévu pour pouvoir instrumenter en permanence les expérimentations.

C'est dans ce tunnel que vont pouvoir être expérimentés presque tous les matériels de l'armée de Terre, des avions, des maquettes de superstructure de navire, et certains matériels étrangers.

Des essais instrumentés furent également réalisés sur des mannequins pour accroître la protection des équipages de chars.

Ce simulateur, unique dans le monde, s'avéra un remarquable instrument permettant de reproduire les effets d'explosions nucléaires tactiques, de 1 à 100 kt, avec des surpressions pouvant aller jusqu'à 2 bars, et des vents de plusieurs centaines de km/heure. Les films réalisés dans le tunnel sont tout à fait impressionnants.

V.4.8- L'impulsion électromagnétique (I.E.M.)

Les explosions nucléaires expérimentales aériennes françaises ont toutes eu lieu dans l'atmosphère, c'est à dire à moins de 30 km d'altitude.

Le rayonnement gamma, émis par l'explosion engendre alors une impulsion électromagnétique (I.E.M.) très forte au voisinage immédiat de l'explosion qui décroît fortement ensuite, mais peut être encore décelable à plusieurs centaines de kilomètres, à condition de la différencier des éclairs d'orage.

Le LCA a étudié de 1965 à 1975 ce phénomène pour trois raisons :

- a. Dans la zone proche de l'explosion, c'est une gêne pour tout appareillage de mesure, en raison des parasites induits dans tout câble électrique. Ce phénomène était encore plus gênant pour le CEA/DAM (mesures au sein de l'engin) et les deux organismes étaient en contact étroit pour adapter les meilleures solutions.
- b. De même, cette I.E.M. est dangereuse pour les matériels électroniques militaires.

En 1970, à l'aide d'un petit simulateur de faible volume, construit par ses soins, le LCA étudia ce danger et montra qu'il était moins important que les autres (souffle thermique, rayonnements) pour les matériels militaires et leurs servants : seules les installations importantes telles que les silos de Provence devaient être protégés et, compte tenu de l'analogie avec certaines installations du CEA/DAM, c'est à cet organisme que fut confiée cette étude spéciale.

c. La mesure des très bas niveaux de Π EM permettait de détecter les explosions nucléaires jusqu'à quelques centaines de kilomètres. Les travaux correspondants du LCA sont exposés au paragraphe ci-après V.4.9.

Pour mener à bien ces travaux, le service Etudes Théoriques (ET) a modélisé les phénomènes physiques de Π .E.M. à basse altitude. Le modèle mathématique a été vérifié et recalé sur les mesures expérimentales au cours des essais au Pacifique et on a constaté que son degré de fidélité de modélisation était très satisfaisant.

En extrapolant et adaptant le modèle au-delà de 30 km, on s'aperçut, avec surprise, que le phénomène prenait une ampleur extraordinaire. Les rayonnements gamma ionisaient une calotte sphérique d'autant plus large que l'altitude de l'explosion était plus grande. L'.E.M. engendrée avait une très forte intensité sur une zone allant de plusieurs centaines à plusieurs milliers de kilomètres, ce que l'on ne pouvait vérifier puisqu'il n'était pas prévu d'explosion française au-delà de 30 km d'altitude.

Le LCA avait donc mis en lumière un phénomène particulièrement important pour la Défense, car une explosion nucléaire à haute altitude, hors de l'atmosphère :

- ne produit aucun effet de souffle, choc ou flux thermique (absence d'air), pas de rayonnement nucléaire au sol, et pas de retombées,
- par contre engendre une très forte I.E.M. pendant quelques centaines de nanosecondes provoquant par exemple dans des câbles des impulsions de plusieurs milliers d'ampères ou aux bornes de pièces électroniques des impulsions de centaines de milliers de volts : les transistors et a fortiori les circuits intégrés modernes ne résistent pas à un tel traitement.

Les conséquences sont donc, pour une explosion qui peut se produire à 100 km d'altitude, et par exemple à 1000 km du territoire national :

- sur le plan militaire

Mise hors service de toute l'électronique, parfois au stockage, des matériels tels que :

- . char de combat (radio, commandes, navigation inertielle, capteurs, C.D.T., etc...)
- . missiles et postes de tir . mines (allumeur)
- . munitions intelligentes (deviennent inopérantes)
- . avions (navigation, C.D.T., régulation...)
- . bateaux (antennes, électricité et électroniques diverses)
- . stations de télécommunications (émetteur, récepteur).

- sur le plan civil

- . disjonction d'une partie du réseau EDF
- . disjonction de l'alimentation SNCF
- . dégâts, mise hors service du réseau téléphonique
- . dégâts analogues par pour les émetteurs et récepteurs de radio ou télévision.
- . mise hors service des avions civils et de l'allumage électronique des voitures
- . etc...

On peut mesurer l'importance et la gravité des conséquences très graves d'une telle attaque, par exemple au-dessus de l'Atlantique : l'I.E.M. engendrée rendrait impossible la Défense du territoire, en mettant hors service, pour quelques heures à plus d'une semaine ou définitivement, selon les cas, la force nucléaire de dissuasion, le corps de bataille, toutes les communications, les transports, l'alimentation électrique.

Face à cet enjeu mis en évidence par le LCA, le Délégué Général à l'Armement lui attribua, début 1974, une mission interdirection d'étude et de défense en ce domaine, sous l'égide de la Mission Atome.

V.4.9- Détection - localisation des explosions nucléaires ³⁸

L'armée de Terre avait demandé au LCA de mettre au point des "détecteurs - localisateurs" d'explosion nucléaire, permettant de détecter une ou plusieurs explosions tactiques, dans un rayon de 50 km, et de les localiser à ± 50 mètres près, et si possible de connaître leur altitude afin de savoir si elles étaient ou non contaminantes.

Ces matériels devaient en outre mesurer à 10 % près l'énergie de l'explosion.

La connaissance de la localisation et de cette énergie devait permettre de déduire les effets de l'explosion soit sur l'environnement (ville, forêts...), soit sur les unités combattantes prises sous le feu nucléaire.

Une équipe du LCA, service Chimie-Physique, dirigée par l'IPA Closson, imagina, étudia, fit fabriquer et mit au point au cours des expérimentations du Pacifique, d'abord des maquettes, puis des prototypes industriels.

Elle s'appuya sur des calculs et sur des modélisations des phénomènes physiques faites par le service Etudes Théoriques. Quatre types de détecteurs étaient associés dans ce matériel :

- a. Un détecteur électromagnétique composé d'une antenne constituée de deux boucles perpendiculaires et d'un analyseur électronique. Il permettait de détecter (avec un taux de fausses alarmes important lors d'éclairs d'orage) et de repérer la direction de l'explosion, la distance pouvait être très grossièrement mesurée. La présence de trois émetteurs permettait, par triangulation de localiser l'explosion, mais avec une précision insuffisante.
- b. Un détecteur de la lueur de l'éclair lumino-thermique. Il analysait la chronologie de cet éclair et en déduisait l'énergie de l'explosion avec une très bonne précision. En outre, corrélé avec le détecteur précédent, il éliminait presque complètement les fausses alarmes dues aux éclairs d'orage.

³⁸ : Les travaux relatifs à la détection, des explosions nucléaires sont effectués essentiellement par le département PCM service CP (chap. IV).

- c. Un sismographe, issu des travaux du Professeur Rocard, qui rendait quasi-certaine la détection de l'explosion, confirmait la triangulation, et affinait la mesure de distance.
- d. Cet ensemble de trois détecteurs ne donnait pas une précision de localisation suffisante à 50 Km de distance mais ne fournissait aucune indication quant à l'altitude de l'explosion. Un localisateur à miroir tournant compléta cet ensemble : analysant l'évolution de la boule de feu, il permit une localisation très précise de l'explosion.

Les prototypes de détecteurs permettaient dès 1974, de fournir des appareillages fiables pour un éventuel réseau de détection stratégique couvrant le territoire français, mais aussi, sous forme d'un ensemble tactique, de répondre au besoin de l'armée de Terre.

Le réseau stratégique utilisant les détecteurs du LCA, au sein d'un réseau de télécommunication, sera étudié entre 1975 et 80 par le Service Technique des Télécommunications de l'Air (STTA), mais sa réalisation ne fut pas décidée, pour des raisons de coût.

Le matériel destiné à l'armée de Terre fut expérimenté par la Section Technique de l'Armée et adopté par l'Etat-Major. Des crédits furent même mis en place pour la fabrication de série. L'appareillage donnait satisfaction, mais pour calculer les effets sur les unités et les pertes correspondantes, il faut pouvoir localiser celles-ci par rapport à l'explosion.

Lors de l'étude d'emploi, l'Etat-major s'aperçut que la précision de localisation des troupes était illusoire et ne permettait pas ce calcul.

Dès lors localiser l'explosion n'était pas d'une utilité justifiant la dépense d'investissement et le matériel ne fut pas fabriqué.

V.4.10- La Sécurité Radiologique

A l'origine le Médecin en Chef Girardot, venant du CERAM, avait pour tâche, d'une part d'assurer la surveillance médicale des personnels militaires de ce Centre, d'assurer la surveillance radiologique de l'ensemble des personnels exposés aux rayonnements ionisants, et en outre de pouvoir intervenir en cas d'accident, de contamination notamment.

Lors de l'affectation d'une partie du CERAM au LCA, ces activités ont été attribuées à un service Médecine-Sécurité (MS) qui fit partie du département PCA puis DPN. De plus il fut chargé de veiller à la sécurité de l'ensemble des personnels du Département PCA en édictant les consignes nécessaires.

Les moyens "physiques" de surveillance lui furent peu à peu rattachés : moyens d'analyses médicales et pharmacologiques, appareillages de radiométrie et de dosimétrie, développement de films de dosimétrie, etc . . .

Il était assisté dans sa tâche par un officier, le Commandant Guichardière, puis plus tard par le Capitaine Louvet.

La compétence des cadres de ce service était grande, et peu à peu ils furent amenés à intervenir en dehors du LCA, comme expert en matière "physique et radiologique", complétés sur le plan de la radiobiologie par les services du Centre de Recherche du Service de Santé des Armées (CRSSA) à l'hôpital Percy.

A l'intérieur de la DEFA-DTAT, cette équipe fut considérée comme l'expert, chargé de l'inspection des établissements utilisant des radioéléments ou des appareils à rayons X, soit à des fins de surveillance médicale, soit surtout pour la radiographie et la gammagraphie industrielle. Cette surveillance s'étendit peu à peu, au niveau des services rendus (étalonnage d'appareils de radioprotection, dosimétrie systématique par films, gestion des sources radioactives, destruction des déchets).

Elle s'étendit progressivement à l'ensemble des unités, formations et établissements :

- 1964-1968 - DGA, Terre, Air,
- 1970 - Mer,
- 1975 - Service de Santé des Armées.

C'est en effet en 1975 que le LCA reprit les installations de dosimétrie du Service de Santé, au Fort de Vanves, à la suite du départ en retraite de leur chef, scientifique éminent, le Médecin Général Chassende Baroz.

Dès lors il était capable d'assurer la mission d'expert radiologique pour l'ensemble du Ministère de la Défense.

Quatre décrets en 1966 -1967-1975 et 1986 remplaçant celui de 1967, réglementent en France la protection de la sécurité et la surveillance radiologique, confiant une mission de mesure et d'inspection au Service Central de Protection contre les Radiations Ionisantes (SCPRI). Les armées ne pouvaient admettre qu'un service civil, non habilité au secret, intervienne dans le fonctionnement de ses unités, ou sur des sites sensibles comme ceux de la FNS.

Le LCA fut donc amené à collaborer à la rédaction d'un arrêté et d'instructions (1971 à 1986) propres au Ministère de la Défense, mettant en place une organisation et des procédures en matière de sécurité radiologique. Pratiquement seuls les arrêtés, décrets, instructions concernant l'ETCA/MS postérieurs à 1978 sont actuellement valables.

Le Directeur du Service de Santé des Armées était responsable de cette sécurité et en son nom un bureau de ce service, le SPRA (Service de Protection Radiologique des Armées) "gère" cette sécurité sur le plan juridique et technico-administratif. Il s'appuyait sur le CRSSA pour la partie médicale et biologique et sur le LCA pour la partie physique et radiologique : le LCA (service Médecine et Sécurité MS) était chargé de la tenue à jour des fichiers d'installations, des fichiers de sources radioactives et appareils ionisants, de la vérification des consignes de sécurité et de l'application des normes, de la dosimétrie des personnels, de l'élimination de déchets radioactifs.

Deux camions d'intervention ont été étudiés et mis au point en 1968-1969, l'un d'eux servant en permanence à l'équipe itinérante pour La Protection Civile.

Actuellement, en tant que service expert physique du S.P.R.A., il exécute **pour l'ensemble du Ministère de la Défense**, à la demande et pour le compte du SPRA, les missions suivantes :

- contrôles réglementaires de sécurité radiologique des installations radiogènes (y compris études préalables des projets),
- dosimétries photographiques réglementaires de sécurité radiologique des personnes,
- détection et surveillance de contamination des sites et locaux du Ministère de la Défense (en cas d'incident ou d'accident nucléaire),
- gestion des sources tritiées et des petits déchets radioactifs.

Parmi les études importantes effectuées, on peut citer celle par l'implantation d'une unité d'irradiation à Odeillo, diverses études pour l'HIA Val-de-Grâce (radiothérapie, radiologie, radioprotection) et l'HIA Bégin (radiographie pulmonaire).

V.4.11 - Le Groupe de Biologie Animale et les études d'effets biologiques des rayonnements ionisants

- a. Dans les années 60, un groupe de quelques chercheurs, dirigé par le Vétérinaire Colonel Legeay, étudiait, au sein d'une équipe du CEA située dans le Centre de Fontenay-aux-Roses (Département de Protection Sanitaire dirigé par le Professeur Jamet), certains effets des rayonnements ionisants, notamment rayonnements gamma et neutrons de moyennes énergies.

Une équipe analogue de médecins du CRSSA travaillait également au CEA et étudiait notamment les tests biologiques caractéristiques des niveaux d'atteinte biologique par des rayonnements nucléaires, ainsi que les modifications électroencéphalographiques entraînées par l'irradiation.

La plupart de ces études étaient évidemment faites sur animaux, principalement rats et lapins, et l'équipe de Vétérinaires avait créé à Fontenay une animalerie particulièrement performante.

Le LCA avait besoin de données en matière de biologie, afin de concevoir la dosimétrie du champ de bataille.

Il était donc tout naturellement en contact avec ces équipes de chercheurs militaires, qui par ailleurs s'intéressaient aux installations d'irradiation d'Arcueil.

- b. La Sous-Direction NBC fut chargée de gérer les vétérinaires qui effectuaient des recherches dans les domaines correspondants.

Elle passa donc annuellement des accords avec le CEA, qui fixaient le programme de recherche des vétérinaires de l'équipe de biologie animale.

Celle-ci fut rattachée au service Médecine et Sécurité (MS) du LCA, qui finançait en partie les recherches correspondantes et collaborait aux recherches en matière d'études théoriques, de dépouillement sur ordinateur des expériences, d'irradiation et de dosimétrie dans ses installations d'Arcueil.

Le CEA fournissait également en financement, certains moyens d'irradiation (réacteurs) et son animalerie.

Le Vétérinaire Colonel Legeay, malheureusement décédé, fut remplacé par le Vétérinaire en Chef Dufour qui s'intéressa d'une part à la caractérisation des substances apparues dans le sang sous l'effet de l'irradiation et qui produisaient, peu de temps après cette irradiation une "incapacitation" (mot de spécialistes) des sujets. Il mit au point des médicaments permettant de lutter contre cette incapacitation.

Son équipe fut aussi chargée d'un programme de recherche de plusieurs années, afin de déterminer :

- d'une part, les "Facteurs d'Efficacité Biologique Relative" (EBR) des neutrons de l'éclair de rayonnement initial par rapport aux rayonnements gamma. L'addition pure et simple des doses "physiques" mesurée par des dosimètres gamma et neutroniques s'avéra fautive aux faibles doses - la détermination de cet EBR fixa les règles d'additivité à appliquer : $Dose\ Totale = (Dose\ gamma) + (Dose\ neutronique \times EBR)$,
- d'autre part la restauration intervenant entre deux irradiations séparées par plusieurs semaines.
Les résultats dans ce domaine furent décevants et l'on se contenta d'une simple addition.

c. A partir de 1972, l'Adjoint du VBC Dufour, le Vétérinaire Principal Lemaire étudia sur des peaux de porcs, à Odeillo, les brûlures résultant du flux thermique et la protection apportée, par exemple par des vêtements de natures diverses.

d. Il faut enfin signaler la contribution à ces études du service Etudes Théoriques (ET), et notamment l'ISC Warne-Jarville, en matière de dépouillement des essais sur ordinateur. Une méthode de numérisation des courants électroencéphalographiques et d'interprétation sur ordinateur de ces données numérisées fut mise au point pour les expérimentations sur des lapins, tant au cours d'irradiations par des rayonnements gamma, qu'au cours d'expériences d'éblouissement de la vue. Par la suite ces méthodes seront adaptées aux examens cliniques sur l'homme et le LCA aidera à leur implantation dans les hôpitaux militaires, notamment au Val-de-Grâce.

CHAPITRE VI AUTRES ACTIVITES

VI.1- BUREAU DES METHODES ET TECHNOLOGIES MODERNES (B.M.T.M.)

Le BMTM a été créé par Décision 11.688 DMA/CM/1 du 7 Août 1969, sous la Direction de l'IMC Thouati. Sa situation était assez particulière : d'après cette décision, il dépendait du Délégué, était rattaché à la DTAT en tant que service extérieur, et était implanté au LCA qui en assurait le soutien administratif comme cela avait été le cas en 1961 pour le SECT.

Par note 12660 DMA/BMTM du 5 Décembre 1969, le LCA est, dans le domaine des Matériaux, l'exécutant du BMTM, et a un rôle d'animateur conduisant par lui-même certaines opérations de caractérisation des matériaux.

La décision n. 11320 DMA/D du 24 Juillet 1975 (IV-2-3 et Annexe 5) créant l'ETCA décide que le BMTM fait partie de cet établissement : son annexe 5 indique que les missions du BMTM sont reprises par l'ETCA, son annexe 4 précise la mission dans le domaine Matériaux.

Cette création avait pour but de promouvoir dans les établissements de la DMA et les entreprises travaillant pour l'armement, un certain nombre de méthodes nouvelles susceptibles de réduire les coûts, tout en améliorant la productivité, la qualité et la fiabilité. Il s'agit d'un organisme de faible effectif, type état-major.

Le LCA ayant contribué aux travaux du BMTM avant sa fusion avec le LCA, il a été jugé utile de préciser les actions effectuées.

- Diffusion de l'information

Il s'agit bien sûr de l'information technique.

Il faut signaler, après une enquête détaillée, au sein de la DMA et des industriels, la parution en 1972 d'un répertoire des Laboratoires de l'Armement, en coopération avec le département PCM, répertoire qui a été particulièrement apprécié, car beaucoup de clients potentiels ignoraient les possibilités de ces différents laboratoires.

- Analyse de la valeur

Il s'agit de la recherche de l'optimisation du rapport qualité/coût d'un produit en cours de conception ou de fabrication.

Des travaux aboutissant à des résultats positifs ont été obtenus, en particulier pour les clients suivants :

- DTAT : ATS, EFAB, MAS.
- DTCN : DCAN de Cherbourg, Brest, Lorient, Toulon et l'ECAN de Ruelle.
- DTCA : AIA Bordeaux et de Clermont-Ferrand,
- Autres : SNIAS, SNECMA, Marcel DASSAULT.

- Productivité

Des résultats ont été obtenus, mais sans la participation du LCA.

- Etudes des technologies d'amont

C'est dans ce domaine que le LCA a le plus coopéré. Des résultats intéressants ont été obtenus pour le travail des métaux, notamment par explosifs (service MA) et pour les études et choix des matériaux, tels que matières plastiques, matériaux composites comportement à grande vitesse de sollicitation (PCM).

- Fiabilité

La fiabilité d'un matériel est définie par la probabilité de ce matériel d'assurer sans défaillance une fonction déterminée, dans des conditions définies, pendant une période de temps fixée.

Il s'agissait de provoquer une sensibilisation des responsables DMA aux aspects qualitatifs et quantitatifs de la fiabilité, notamment par diffusion d'information, élaboration de méthodes et traitements de cas concrets. Le LCA, et plus particulièrement le département DEL ont coopéré à cette action.

A la suite de la création du BMTM, la DTAT, par notes 16.202 DA/DTAT/CT du 18 Mars 1971 et 29.806 CST/DTAT/DCT du 10 Octobre 1972, désignait le LCA pour assurer une mission de coordination dans le domaine Qualité Fiabilité et pour représenter la Direction auprès du BMTM. La deuxième note précisait la mission du LCA (notamment son action auprès des Centres Techniques et des Directeurs de Programme) et lui demandait de créer une équipe Q.-F., de 4 ou 5 ingénieurs et techniciens.

Le LCA a rapidement effectué un certain nombre de travaux concernant l'inventaire des méthodes, l'information, la formation des personnels, la mise au point de divers documents, notamment la norme DTAT Z 7610/X0052 A du 4 Avril 1974.

Le BMTM, après la fusion avec le LCA en 1975, a été un des services dépendant directement du Directeur puis devint le service APA (Amélioration Production de l'Armement) sous la direction de l'ICA Couture. En 1980 ce service a été supprimé, ses activités d'état-major étant reprises par la DRET.

VI.2- NORMALISATION

Les différents services de l'établissement ont depuis longtemps établi leur autorité dans le domaine de la normalisation, par exemple normalisation des ajustements ISA avant 1939.

L'instruction du 7 Juin 1933 demandait à l'ECFA de procéder à des études sur la normalisation des fabrications de l'industrie mécanique (militaire et privée).

L'instruction du 31 Juillet 1946 confirmait, précisait cette mission et prévoyait un bureau de normalisation et un bureau de contrôle des normes et documents.

L'annexe 5 de l'instruction 11.320 DMA/D du 24 Juillet 1975 (création ETCA à vocation interdirections) a généralisé les attributions de l'établissement :

- en matière de codification, détermination de la politique de la DMA en matière de nomenclature interarmées système OTAN et représentation de la DMA auprès du BICM,
- en matière de standardisation, détermination des objectifs de standardisation interarmées et DMA, préparation des décisions du délégué en ce domaine, promulgation de l'application des documents normatifs au niveau interarmées (en liaison avec l'EMA) et au niveau DMA.

Le service Normalisation a été suivant les circonstances un service indépendant ou fusionné avec d'autres (par exemple métallurgie service M devenant MN) ou faisant partie d'un département (par ex DRE en 1966 et PCM en 1975). Il a travaillé soit seul, soit en coopération avec les divers spécialistes des autres services, spécialistes auxquels il donnait une délégation totale pour certaines commissions.

Ses effectifs ont toujours été assez faibles, mais les travaux produits ont été considérables. On ne citera que quelques-uns d'entre eux, avec, entre parenthèses les services coopérants :

1. Travaux Armement (Spécifications, Recommandations, Albums)

- contrôle des documents techniques (établissements, service technique) pour vérification de la conformité aux normes. Aucun document technique DEFA, comportant des clauses et spécifications ne pouvait être approuvé sans avoir reçu le visa du LCA, ce qui a nécessité un effort constant et a permis de rectifier beaucoup d'erreurs, oublis ou inexactitudes,
- participation à l'établissement de nombreux cahiers des charges généraux : aciers, barres ou lopins, feuillets...(service M),
- instruction générale sur la confection des documents techniques,
- cahiers des charges du laiton UZ30, du zircal, des aciers de décolletage au soufre, des aciers de construction (service M),
- spécifications pour tôle laminées, ceintures en fer fritté (service M),
- guide d'emploi des aciers inoxydables et réfractaires,
- spécifications Armement et terminologie pour outils de tour de raboteuse, forets, fraises, tarauds, alésoirs (service MA),
- album de spécification Armement, Outils d'alésage ; alésoirs, fraises, outils d'abrasion (service MA),
- guide d'emploi des aciers à outils (service MA),
- etc.

2. Travaux de coopération avec ISO, AFNOR, CNM

- Mission permanente AFNOR, établissement de normes ou recommandations :

- . filetages, tolérances,
- . montres comparateurs,
- . cotations, tolérancement (cônes, cannelures, etc...),
- . états de surface,
- . code d'essais des machines-outils
- . recommandation ISO : méthode d'essais des aciers, fontes, alliages cuivreux, analyse métaux ferreux,
- . soudure, emballages,
- . dessins techniques
- . normes statistiques (quarante normes de 1948 à 1962 dont la moitié avec coopération LCA, chef du service M, notamment cartes de contrôle et normes d'échantillonnage (ces derniers en opposition avec la DEFA qui avait adopté des normes américaines précédentes nettement moins efficaces !),
- . etc...

L'ensemble des travaux effectués par le service a été d'une grande utilité pour l'Armement et l'Industrie Française ; on n'a pas toujours apprécié ce travail à sa juste valeur.

L'établissement a abandonné ses activités de normalisation lors de la création du BINORM en 1979 sous la direction du Responsable Ministériel à la Normalisation (Premier titulaire IG Lesavre), dépendant du Délégué Général à l'Armement et du Chef d'Etat-Major des Armées.

VL3 - DOCUMENTATION RELATIONS EXTERIEURES

Depuis la création du LCA ou plutôt du LCFA, il a existé dans l'établissement un service Documentation qui aidait les services techniques pour obtenir des informations à partir de revues, de conférences, ou de livres après recherches si nécessaire ; ce service imprimait, reproduisait, et diffusait certaines notes d'études ou travaux.

Assez réduit au début, ce service prit de l'ampleur et augmenta considérablement son efficacité, notamment sous l'impulsion de son chef, M. Wetling dans les années 50.

Lors de l'expansion du domaine nucléaire, il fut même érigé en département DRE (Documentation, Information, Relations Extérieures) comportant trois services :

PE Problèmes Extérieurs, ayant pour mission d'informer les organismes ou industriels susceptibles d'être intéressés par les réalisations de l'aide ou ses possibilités d'aide (notices, visites, expositions).

ID Information, Diffusion, Inventions, offrant une bibliothèque de plus de 12 000 volumes, effectuant toutes recherches bibliographiques, tous services audiovisuels, travaux de propriété industrielle, de diffusion de documents et diffusion.

NA Normalisation Assistance Technique, effectuant les travaux de normalisation pour le LCA, mais aussi la DEFA, et aides aux Services Techniques pour la mise au point des documents.

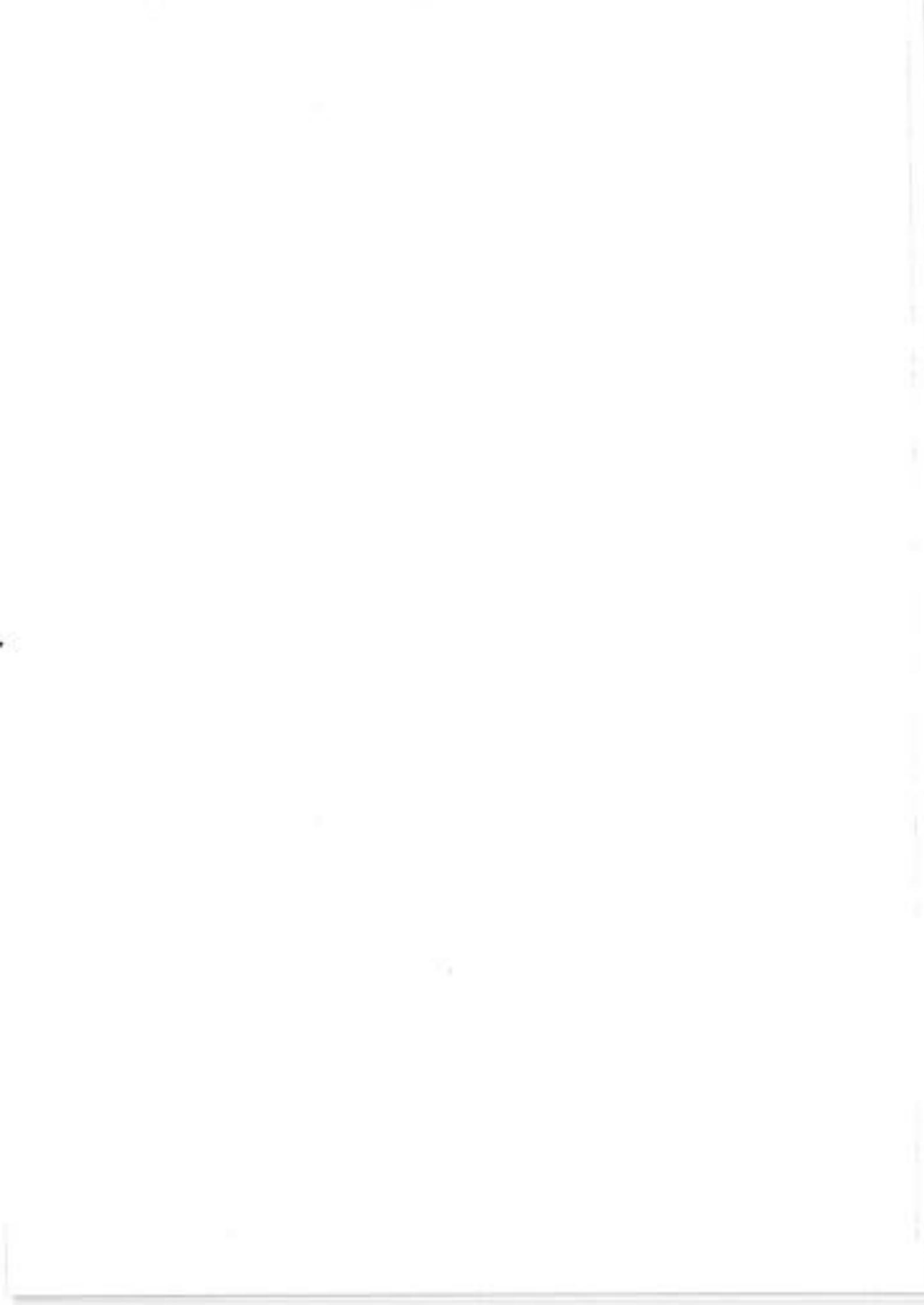
Il convient de préciser que cet ensemble a particulièrement aidé les Services Techniques en effectuant des travaux importants et nécessaires que les responsables n'avaient pas le temps de réaliser ou qu'ils négligeaient.

D'autre part de nombreuses demandes de renseignements des établissements de la DEFA, arrivaient au Service, et étaient satisfaites.

Il faut aussi signaler que le LCA a hérité au siècle dernier du "Dépôt des Archives de l'Artillerie" comportant un fonds de pièces historiques dont l'importance est d'environ 380 000 pièces, et d'une bibliothèque de 30 000 volumes environ qui s'étend de 1500 à nos jours. Il s'agit là d'un ensemble documentaire d'une grande richesse retraçant l'histoire de l'Artillerie, faisant constamment l'objet de demande de recherches (environ 25 % provenant de l'étranger).

Par décision ministérielle, ce dépôt a été transféré au Service Historique de l'armée de Terre, au Fort de Vincennes en 1981.

Actuellement, ces activités sont effectuées par le Service IRP (Information, Relations Publiques).



CHAPITRE VII ACTIVITES COMPLEMENTAIRES

VII.1 - ARMEMENT

Les ingénieurs de l'armement et certains ingénieurs civils affectés au LCA-ETCA ont, en raison de leurs spécialités, participé aux activités armement de certains organismes internationaux en effectuant des travaux importants à l'occasion de réunions ou missions. Des échanges réciproques ont permis d'éviter des dépenses élevées qui se seraient révélées inutiles, de gagner du temps, et de faire connaître certains matériels mis au point par l'établissement, ce qui a facilité leur vente à divers pays :

- OTAN (Aciers pour armes, contrôle statistique de qualité avec le SIAR...)
- FINABEL (Domaine NBC),
- Diverses coopérations bipartites, tripartites...

VII.2 - ENSEIGNEMENT

Les ingénieurs et techniciens ont particulièrement participé aux enseignements (cours et travaux pratiques dans les laboratoires du LCA) des Ecoles, sous l'autorité du Directeur du LCA, et rapidement implantés à Arcueil (ENSAr, ETS, ETN, EPAR) ainsi que les administratifs pour l'EAA, particulièrement dans les premières années de leur création.

Ils ont aussi participé, un certain temps à l'enseignement de diverses écoles d'ingénieurs qui leur ont demandé de diffuser leur savoir. Citons principalement :

ISMCM, CESTI, ESE, ENSAé, etc...

VII.3 - BREVETS

Parmi tous les établissements de la DEFA-DTAT, c'est le LCA qui a pris le plus grand nombre de brevets : 670 brevets de 1940 à 1960, mais après 1970 le nombre annuel de brevets a diminué en valeur absolue, considérablement en pourcentage DEFA, passant de 70 % (1947) à 5 à 10 % dans les années 1960, encore moins ensuite.

VII.4 - ACTIVITES HORS ARMEMENT

Les activités ci-dessus sont spécifiques de l'Armement, il est indispensable d'en signaler d'autres, utiles à l'Industrie Nationale dans son ensemble, donc aussi à l'Armement Français.

Il s'agit essentiellement de créations d'associations ou de sociétés savantes, d'organismes et de participations efficaces à leurs actions à l'échelon national et même international.

L'établissement a été sollicité ou souhaité en raison de sa haute technicité, en différents domaines où il était le meilleur, sinon un des meilleurs de France, mais le plus souvent des spécialistes responsables du LCA ont senti la nécessité de ces créations dont ils ont été les promoteurs (en premier F.G. Nicolau) ou les coopérateurs, les chevilles ouvrières.

Ces activités sont placées dans l'ordre chronologique de leur création.

1944 GAMS : Groupement pour l'Avancement des Méthodes Spectrographiques

Cette association a été créée par FIC Nicolau Directeur du LCIM à Caussade, début 1944. Ses statuts définitifs ont été déposés le 22 Janvier 1947 avant le 7e congrès, son siège social étant au LCA. Depuis cette date, il a étendu son activité à d'autres méthodes d'analyses : photocolorimétrie, polarographie, potentiométrie, réfractrométrie, spectrographie de masse, etc...

Les activités du GAMS ont permis de vulgariser ces méthodes, d'aider les utilisateurs et les fabricants d'appareils. Son utilité a été certaine, par l'organisation de congrès, de stages d'information, et surtout par la diffusion de la documentation : tables de longueurs d'onde, atlas de spectres, et même échantillons d'alliages pouvant servir de référence pour les analyses spectrographiques, etc...

De 15 adhérents au départ, l'effectif 200 a été rapidement atteint, et le groupe est devenu international.

Le secrétariat du GAMS a été assuré par des ingénieurs du service Chimie Physique du LCA (IC Loeuille, Mme Fischgrund, M. Brucelle) jusqu'en 1960, date à laquelle le siège a été transporté au LNE (Laboratoire National d'Essais) ; il se trouve actuellement au 88 Boulevard Malesherbes Paris 8e.

1951 GAMI : Groupement pour l'Avancement de la Mécanique Industrielle

Ce groupement créé par l'Ingénieur Général Nicolau avait pour but de rassembler les anciens élèves et les professeurs de l'ISMCM (Institut Supérieur des Matériaux et de la Construction Mécanique) qu'il avait créé.

En fait, très rapidement, ont adhéré au GAMI des ingénieurs, cadres industriels, directeurs d'entreprises, chercheurs et enseignants, ne répondant pas aux conditions initiales. Le LCA, conscient du grand intérêt des actions du GAMI pour l'Armement et les Industries Mécaniques en France a été membre bienfaiteur du GAMI depuis sa création en 1951, à part une courte période.

La quasi-totalité des ingénieurs du domaine mécanique, c'est-à-dire des services Précision, Métallurgie ou Mécanique Appliquée (chapitre II) a adhéré au GAMI, ce qui a permis de diffuser facilement au moyen des journées d'études, colloques, et la revue de cette association, les travaux réalisés au LCA, notamment en mécanique et contrôle géométrique de haute précision, étude de l'usinage,

nouveaux procédés de mise en oeuvre, machines-outils à commande numérique, contrôles et analyses statistiques, etc...

Son siège actuel est 3 Rue Fernand Hainaut 93407 Saint-Ouen Cedex (où se trouvent les deux Ecoles d'ingénieurs CESTI et ISMCM). Le GAMI continue ses activités avec efficacité et est une des sociétés qui constituent le GCM (Groupe de Concertation de la Mécanique) créé en 1985 qui oeuvre pour le développement de la Mécanique en France.

1951 CIRP : Collège International pour l'Etude Scientifique des Techniques de Production Mécanique²⁸

Créé en 1951 à l'initiative de l'ingénieur Général Nicolau, le bureau du collège était installé au LCA où deux ingénieurs de l'Armement (LMI) apportaient un concours précieux et permettaient à la France de présenter des travaux de haute qualité.

Le CIRP réunissait dès le début l'élite des chercheurs d'un nombre important de 27 pays industrialisés qui ont pu ainsi plus facilement échanger les résultats remarquables obtenus dans le domaine de la Production.

Le CIRP a attribué la première médaille F.W. Taylor en 1958 à l'ICA R. Weil du LCA qui prit le poste de Secrétaire Général du CIRP cette même année à la suite de l'IG Nicolau.

Actuellement le CIRP comprend plus de 300 membres ayant tous de hautes fonctions (professeurs, chefs de laboratoires, etc...) de 40 pays différents.

Son bureau a été transféré en 1960 à l'ISMCM (Saint-Ouen) puis à Paris 10 Rue Mansard 75009.

Si les activités LMI et SEMO ont disparu du LCA, leur action se continue et s'amplifie par le CETIM en France (II.3.2), le CIRP facilitant les échanges entre pays.

1957 AFCIQ : Association Française pour le Contrôle Industriel de la Qualité

On peut rappeler un essai sans suite, la création en 1940 par le Ministère de l'Armement d'un service d'études scientifiques et techniques comprenant une section statistique placée sous l'autorité du Professeur Georges Darmais (éminent statisticien élu à l'Académie des Sciences) mobilisé comme officier d'Artillerie : aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne, les méthodes dites de "Quality Control" étaient déjà utilisées, alors qu'elles étaient pratiquement inconnues en France !

L'AFCIQ a été créée le 3 Mai 1957 avec un conseil d'administration de 12 membres comprenant des représentants de l'INSEE, l'ISUP, l'Armement (IPA Cavé du LCA), le SEITA, diverses associations professionnelles et des Industriels, tous ces membres ayant travaillé plus d'un an pour mettre sur pied cette association dont le nom actuel est le Mouvement Français pour la Qualité (MFQ), siège social 5 Esplanade Charles de Gaulle 92733 Nanterre Cedex.

²⁸ Le sigle CIRP correspond au titre abrégé initial : Collège International pour la Recherche et la Production.

Démarrant avec une centaine de membres, conscients du retard de la France en la matière, elle a atteint, après avoir convaincu, avec difficulté les dirigeants d'entreprises, un effectif de plus de 3000.

Ses moyens d'action ont été les suivants :

- constitution de groupes de travail pour l'étude de problèmes communs à plusieurs entreprises, ou pour établir une normalisation,
- diffusion des applications de la statistique à l'industrie, notamment du contrôle de la qualité, par notes et publication d'un bulletin,
- participation aux travaux de l'OECD (Organisation Européenne du Contrôle de la Qualité) (II.4.2), le délégué AFCIQ étant l'ICA Cavé, pendant 8 ans.
- stages pour ingénieurs ou responsables de Directions (à partir de 1970).

L'origine de la participation du LCA est simple : l'ingénieur Général Nicolau - encore lui - avait été un précurseur car il avait compris l'importance des méthodes statistiques. Il avait exigé l'enseignement de ces méthodes à l'ENSAR, et deux ingénieurs de l'armement (ICA Cain IPA Cavé) ont dû étudier ce domaine, et, particulièrement pour le contrôle, sur des documents anglo-saxons et les ont diffusés aux établissements de la DEFA, par les élèves de l'ENSAR, ou des études particulières ou inventions de nouvelles méthodes (II.4.2). Cet état de fait a été à l'origine de la demande de participation du LCA à la création de l'AFCIQ.

L'AFCIQ a été aidée au début par :

- l'AFAP (Association Française d'Accroissement de la Productivité) qui a fourni la subvention de création,
- le Centre de Formation aux Applications industrielles de la Statistique (ISUP) créé en 1952 avec la coopération du LCA (base de départ le cours ENSAR, en grande partie) ensuite par les associations ou grandes entreprises et le SIAR (subvention annuelle attribuée à l'AFCIQ).

1969 BNM : Bureau National de Métrologie

La France, qui mit au point le Système Métrique et qui est le siège du BIPM (créé en 1875), ne possédait pas d'organisme à l'échelon national analogue à ceux d'autres pays pour assurer le transfert de la précision de mesure depuis l'étalon national jusqu'à l'instrument de mesure de série.

Il aurait été trop onéreux de créer un tel organisme, et il a été jugé préférable d'utiliser les ressources existantes au sein d'une sorte de fédération.

Le décret n° 69.485 du 28 Mai 1969 a créé le BNM en lui rattachant six laboratoires primaires, centres d'étalonnage, services de métrologie habilités, ou centres d'évaluation et de qualification.

Le LCA intervient dans les domaines suivants du BNM :

a. Chaines d'étalonnage

Centre d'étalonnage agréé :

- . Métrologie longueurs, angles, états de surface (MPM) . Forces (PCM)
- . Métrologie Rayonnements Ionisants (RI), qu'il partage avec le CEN de Fontenay-aux-Roses.

b. Centre agréé d'évaluation et de qualification

- . Centre d'évaluation et de qualification d'instruments de Mesurage dimensionnels (MPM).
- . Centre d'évaluation et de qualification des chaînes de mesures (DEL).

c. Centre agréé de Matériaux de référence, pour les essais mécaniques

(Brinell, Rockwell, Vickers, résilience) (MT).

Le Comité de Direction comprend 12 membres dont le Directeur du LCA (puis ETCA) et 8 personnalités associées dont le Directeur de la DRME (puis DRET).

La mission BNM du LCA a été confirmée par la note 15.445 SEM/DTAT/AD du 13/03/70.

(Mission n° 8 de la fiche jointe à cette note, X Annexe 4).

- Normalisation

Participation du Service Normalisation et des spécialistes de différents services aux travaux de l'AFNOR et de l'ISO (voir texte Normalisation VI.2).

CHAPITRE VIII EVOLUTION DE L'ORGANISATION ET DES MISSIONS DE L'ETABLISSEMENT A PARTIR DE 1975 ⁴⁰

VIII.1- RAPPEL DE L'EVOLUTION PROGRESSIVE DES MISSIONS AVANT 1975

Dans les chapitres précédents, on a quelquefois donné volontairement des informations concernant des événements postérieurs à 1975, année limite primitivement fixée : il semblait logique d'indiquer pour certaines missions, leur diminution en biseau voire leur extinction (ch. III) leur expansion (ch. IV) leur reprise (ch. I).

De même il a paru intéressant de donner des indications sur l'évolution de l'organisation générale et des missions nettement au-delà des années 1975 (qui sont en fait l'aboutissement des actions précédentes) sans toutefois entrer dans le détail des travaux effectués, et des résultats obtenus.

L'année 1975 est une année de prise de décisions concrétisant la mission interdirection de l'établissement : mutation LCA => ETCA (fusion avec d'autres organismes) pour aboutir à son affectation à la DRME devenue DRET en 1977 avec mises au point ultérieures de moindre importance.

Il est utile de préciser les origines (pour ne pas dire les raisons) et la chronologie de cette évolution.

Dans les années 1945-1950 le LCA travaillait presque à 100 % pour la DEFA, à l'exception de certains contrôles dimensionnels de haute précision ou des analyses chimiques fines pour d'autres Directions ou l'industrie privée, le plus souvent industries de l'Armement. Progressivement, l'établissement effectua des travaux hors DEFA (Voir chapitres III Précision, IV E) en nombre rapidement croissant, avec l'accord de l'Administration Centrale.

Les raisons principales de cet état de fait sont les suivantes :

- les responsables des services techniques au lieu de se laisser aller, appuyés par les Directeurs successifs, ont cherché des travaux complémentaires dans les domaines où ils se savaient très compétents, lorsque les crédits ont été insuffisants (Service E notamment) : cela permettait d'équilibrer le budget du LCA tout en maintenant le potentiel nécessaire pour la DEFA,

⁴⁰ : Voir X, Annexe III.

- des clients connaissant ou ayant apprécié le haut potentiel en technicité et en matière grise du LCA se sont adressés à lui pour résoudre des problèmes délicats, à la limite souvent des possibilités techniques. Ces clients étaient surtout des services des autres Directions de la future DMA, du CEA civil (II Pr) ou CEA/DAM (III E), ou des industriels travaillant pour l'armement,

- surtout le Délégué Ministériel pour l'Armement a officialisé de 1960 à 1970 certaines activités interdirections importantes comme on peut le constater en consultant les documents suivants, pour lesquels on ne donne qu'un résumé très succinct :

. Instruction IV° 7 661 DMA/AT du 17 mai 1962.

Les tâches des domaines "Détection Protection N de la DMA" sont conduites par :

- la DRME pour ce qui concerne les recherches,
- la DEFA pour ce qui concerne les études et réalisations (donc => LCA).

. Note 50 319 DMA/DPAI/AI/2 du 23 mai 1962 pour le développement des machines à Commande Numérique dans les Etablissements ou Industries de l'Armement. La DEFA animera un groupe de travail interdirections en s'appuyant sur l'Atelier Pilote du C.N. du LCA.

. Décision 50 178 DMA/D du 28 mars 1968 étendant au domaine N la responsabilité B et C de la décision 10 580 DMA/D du 27 décembre 1966.

. Note 010 347 DMA/D du 13 mars 1974 attribuant au LCA la mission de coordination interdirections des travaux de la DMA de durcissement des matériels.

. Décision 52 369 DMA/DPAI du 23 octobre 1968, désignant le LCA comme centre de qualification de composants et d'ensemble de chaînes de mesures et organes pilotes pour l'acquisition et le traitement des mesures pour les établissements de la DMA.

. Note 12 660 DMA/BMTM du 5 décembre 1969 signée par le Délégué, chargeant le LCA d'une mission interdirection dans le domaine matériaux (notamment aéronautique).

. Note 15 445 SEM/DTAT/AD du 16 mars 1970 et sa fiche jointe précisant les missions du LCA dont les n° 1-2-5-6-11 sont interdirections (voir X annexe 4).

. Notes 10 379 à 83 DMA/D du 13 février 1969 (suite à visite du délégué) approuvant l'évolution constatée, par ex :

"Au cours d'une récente visite au LCA j'ai pu constater - et je m'en félicite - que les activités de cet établissement présentent un caractère interdirections de plus en plus marqué. Pour la poursuite de cette évolution" etc...

Ces notes demandent des coopérations plus étroites notamment avec le SECT, confirment les notes précédentes, et décident l'affectation de 5 ingénieurs d'armement d'origines autres que fabrications d'Armement...

Le Directeur du LCA écrivait aussi dans le rapport annuel de 1967 : "le LCA n'est plus un laboratoire au sens strict du terme, mais un établissement interarmes de contrôle, évaluation, recherche, réalisation de prototypes et d'appareils en petites ou moyennes séries".

Parallèlement, divers organismes (voir définition des sigles Annexe 2) effectuaient des travaux en coopération avec le LCA, ou avaient des missions voisines ou complémentaires :

CIRO	SECT	BMTM	SEBC	CEG
< DRME >		< DMA/D >	< DEFA >	
< implantés à Arcueil >				
< soutien logistique du LCA >				

Le CIRO et le département DET (ex-service ET) effectuaient dans certains domaines des études voisines et des résultats de DET étaient utilisés par le CIRO.

Le SECT avait été initialement formé à partir d'équipes du LCA et faisait étudier un certain nombre d'appareils qui lui étaient nécessaires par le LCA (MB-FP puis DEL voir essentiellement III).

Le BMTM créé en 1969, dépendant du Délégué travaillait dans les domaines de la normalisation, de la qualité, de l'analyse de la valeur, des matériaux. Certains services du LCA coopéraient avec lui dans ces domaines (voir notamment services dans chapitres I et VI 1).

La SEBC dans les domaines B et C et le LCA dans le domaine N effectuaient des recherches et développements ayant de grandes similitudes, surtout en matière d'électronique, de détecteurs et appareils de décontaminations. De plus le personnel du LCA était nettement plus expérimenté que celui de la SEBC en matière de réalisation industrielle des matériels (notamment en mécanique et électronique).

Le CEG qui avait travaillé jusqu'en 1969 essentiellement pour le CEA, avait vu ses activités diminuer considérablement. La sous-direction NBC/DTAT et la mission DMA/AT avaient élaboré un plan de reconversion lui confiant des études d'amont concernant la détonique classique et les effets de l'onde de choc nucléaire.

Les premiers résultats obtenus ont abouti à la confirmation officielle de cette mission ; il y avait donc complémentarité, dans le domaine N dès 1970.

Devant cet état de fait, on pouvait penser rassembler ces divers organismes en un établissement unique s'occupant essentiellement de travaux interarmes (et par conséquent ne pas le maintenir au sein de la DTAT) ce qui éviterait les doubles emplois, et procurerait une économie de gestion.

Le Professeur DUBOIS, Directeur de la DRME, demanda au Délégué Ministériel pour l'Armement, M. Delpech d'envisager le rattachement à la DRME du CEG, de la SEBC et de la partie du LCA qui effectuait des recherches. Après études un tel découpage s'avéra irréaliste, car il est difficile de définir les frontières entre recherches, études, développement, surtout lorsque les équipes s'interpénètrent.

En fait la mutation a compris 3 étapes principales de 1975 à 1979, complétées ensuite par quelques réorganisations et actualisations de missions (Voir tableau X Annexe 2).

VIII.2- 1ERE ETAPE CREATION DE L'ETCA - 1975

Par décision 11 320 DMA/D du 19/07/1975, le Délégué rassemble dans un même établissement "Etablissement Central de l'Armement" (ECA), le LCA, le CEG, le SECT, la SEBC, le BMTM. Nous utiliserons le sigle ETCA (Etablissement Technique Central de l'Armement) qui ne lui fut attribué que l'année suivante : cette modification avait pour but de supprimer les difficultés avec la Société ECA Automation, dont les principaux locaux se trouvaient près du LCA, à Montrouge.

L'Annexe 5 du chapitre X reproduit les 4 premières pages de cette décision, qui comprend 35 pages dont 7 annexes. C'est le document de base concernant les activités interdirections de l'établissement, assisté (Annexe 7 de la décision) par la création d'un Conseil de Gestion, proposé vainement quelques années auparavant par un Directeur du LCA. Ce Conseil, présidé par DPA/D comprend les Directeurs (ou leurs représentants) des Directions et services suivants : DPAG, SCTi, SIAR, Mission Atome, DRME, DTCN, DTCA, DTEn, DTAT, ainsi qu'un représentant de l'EMA et du CGA. C'est un conseil DMA qui contrôle et émet des avis notamment en ce qui concerne les programmes techniques, les budgets, les besoins et les moyens.

Les six autres annexes confirment les missions de l'ensemble en les précisant. Nous indiquerons seulement les lignes essentielles :

- Reconnaissance officielle de l'ETCA en tant que Centre d'Etudes et d'Essais de la DMA dans le domaine NBC sur le plan technique, il regroupait des moyens modernes, uniques en Europe (toutefois ces moyens étaient dispersés en raison de la nature des missions) :
 - . Souffle et ondes de choc à GRAMAT
 - . Flux thermique à ODEILLO
 - . Rayonnements nucléaires à ARCUEIL
 - . B et C au BOUCHET
 - . Décontamination à BOURGES (dépendant de l'ETBS).
- Mission approfondie dans le domaine de l'Analyse Système et des Simulations, avec coopération ETCA, CIRO, CELAR.
- Missions de coordinations techniques dans différents domaines :
 - . Détonique (CEG)
 - . Matériaux pour blindages et charges creuses (PCM, CEG)
 - . Matériaux à l'échelon DMA (PCM, BMTM)
 - . Lasers de puissance, traitement de l'information d'images (DEL).
 - Mission Qualité, Fiabilité, Normalisation (BMTM,N)- Mission métrologie, en liaison avec le BNM (voir VII.4) et laboratoire d'essais DMA pour contrôles et expertises.

- Mission, en tant que Centre Technique de la DMA chargé des tâches étatiques de définition, coordination et d'élaboration des moyens, équipements et méthodes de mesures et essais autour des Armes et Systèmes d'Armes. Pour cela on a créé le Centre Technique de Mesures et d'Essais, par fusion du Département Electronique du LCA et du Service d'Equipements des Champs de Tir : CTME = DEL + SECT⁴¹,
- L'organisation en place a été conservée pour le CEG, la SEBC, le BMTM et les autres départements du LCA : DET, DPN, NPM, PCM.

On constate l'existence de deux entités nouvelles, groupes de services, appelées Centres :

- le CEG déjà existant,
- le CTME nouveau.

Les autres départements, créés en 1964-65 deviendront aussi, avec modifications, des Centres, en 1979-1980 (Voir ci-après).

VIII.3- 2EME ETAPE RATTACHEMENT A LA DRET- 1977

L'ETCA a fonctionné deux ans, au sein de la DTAT, le Conseil de Gestion remplissant son rôle de coordinateur interdirections.

Parallèlement, la DMA (devenue DGA en 1976) avait poursuivi une étude de l'évolution de la DRME : il apparaissait que la mission "Moyens d'Essais" concernait surtout le Centre d'Essais des Landes (CEL) et le Centre d'Essais de la Méditerranée (CEM) qui n'effectuant pas des missions interdirections travaillaient pour la Direction Technique des Engins (DTEn) et auraient dû logiquement relever cette Direction.

Cette situation était opposée à celle de l'ETCA, effectuant de nombreuses missions interdirections comprenant même des recherches surtout dans le domaine NBC et affecté à une Direction Technique, la DTAT.

De plus, la DRME était peut-être trop cantonnée dans la recherche et la DGA souhaitait assurer également certaines actions communes plus en aval ainsi qu'une coordination des actions des diverses Directions Techniques.

A la suite de cette étude et de la constatation de cet état de fait, ont paru :

- le décret n° 77-512 du 17.05.77 fixant les attributions de la DRET [Direction des Recherches et Etudes Techniques⁴² nouvelle appellation de la DRME,
- l'arrêté du 01.06.77 JO du 08.07.77 (en application du décret ci-dessus) rattachant le CEL et le CEM à la DTEn et l'ETCA à la DRET.

⁴¹ : Appelé un certain temps à STMME, Service Technique des Moyens de Mesures et d'Essais.

⁴² : S'appelait Direction des Recherches et études Techniques de l'Armement, le mot Armement sera rapidement perdu en route.

En dehors d'une nouvelle confirmation du rôle interdirections, ce transfert a eu les conséquences suivantes :

- possibilité pour l'ETCA, de participer à des travaux de recherche (auparavant il en faisait cependant en certains domaines, mais peu),
- nécessité pour l'ETCA de compter beaucoup sur lui-même sur le plan de la gestion, car il n'y avait pas, à la DRME, un service puissant et efficace comme la sous-direction "Etablissements" de la DTAT pour traiter à fond les questions de gestion,
- la DTAT, moins concernée par le fonctionnement de l'ETCA, limita ses efforts à certains domaines qui la concernaient spécialement, ce qui est logique,
- d'autre part, pour le fonctionnement administratif comptable et financier, l'ETCA a été maintenu au sein du compte de commerce des fabrications d'armement, mais la plus grande partie des crédits provenait de la DRME.

VIII.4- 3EME ETAPE CREATION DU CAD (CENTRE D'ANALYSE DE DEFENSE) - 1979

Parmi les organismes "voisins" du LCA cités en VIII.1, le CIR0 n'a pas été concerné par ces modifications, en raison d'accords difficiles à réaliser entre EMA et DGA. Les deux années 1976-1977 ont vu s'accroître encore les doubles emplois et la complémentarité déjà signalés du CIR0 et du département DET de l'ETCA.

Finalement ces deux organismes ont été fusionnés par décision n° 3148 du 14/05/1979 qui créait le CAS, Centre d'Analyse Système, sous la direction de FICA RABAULT. Le nom de ce centre qui s'ajoute aux deux existants CEG et CTME a été modifié en 1980 pour devenir CAD, Centre d'Analyse de Défense.

VIII.5- ETAT ACTUEL

Les missions de l'ETCA ont été précisées par la décision 10 594 DGA du 03/04/78 et actualisées par décision 10 773 DGA/D du 28/03/88. Un extrait de cette décision donne une idée générale de ses activités.

"L'Etablissement Technique Central de l'Armement :

- apporte son soutien technique aux services de la direction dans leurs actions de recherches, d'études et de coordination technique,
- exécute au profit de toutes les directions et services de la délégation générale pour l'armement et au profit des organismes qui lui sont extérieurs notamment les états-majors, des travaux techniques tels que recherches, études, recherche opérationnelle, expertises, évaluations, essais, ingénierie, réalisation ou assistance technique".

Pour assurer cette mission

d'une part, l'ETCA est le laboratoire de recherche propre de la DRET, et à ce titre :

- il effectue des recherches au profit de la DGA,
- il soutient le Service des Recherches de la DRET dans l'évaluation des programmes confiés aux laboratoires extérieurs,
- il participe aux actions de coordination de la recherche assurées par les services centraux de la DRET,
- il constitue un lieu d'échanges privilégiés dans les actions de coopération internationale (notamment européenne).

d'autre part, l'ETCA est un centre technique chargé d'effectuer des travaux techniques qui nécessitent une coordination en particulier dans les domaines suivants :

- recherche opérationnelle,
- défense nucléaire, biologie, chimie,
- moyens d'essais,
- détonique.

La création du CAD a été l'amorce d'une évolution de l'ETCA dont l'organisation était hétérogène puisqu'il comportait trois centres et quatre départements ne bénéficiant pas des mêmes libertés et responsabilités. La Direction de l'ETCA propose de regrouper les Services Techniques en cinq centres jouissant d'autonomies voisines, ce qui a été réalisé par la Décision 4024 DRET/D du 14/ 03 / 1980 :

3 centres existants :

- CAD : Centre d'Analyse de Défense,
- CEG : Centre d'Etudes de Gramat,
- CTME : Centre Technique de Mesures et d'Essais.

2 nouveaux centres :

- CNBC devenu CEB : Centre d'Etudes du Bouchet qui est un Centre DGA des domaines NBC, par fusion des deux départements PCM + MPM,
- CMCM : Centre Mécanique Chimie Matériaux par fusion des deux départements PCM + MPM.

L'organisation actuelle est assez voisine de celle de 1980, dont elle est déduite avec quelques modifications de missions, changement d'affectation d'un service, un changement de nom (CEB) et responsabilités des chefs de Centre.

Chaque centre est dirigé par un Directeur nommé par le Délégué Général pour l'Armement : le CEG et le CEB sont devenus établissements annexes fin 1982, notamment en raison de leur éloignement d'Arcueil : le CEG est implanté à Gramat et le CEB est assez dispersé, car si la Direction se trouve au Bouchet, avec un certain nombre de laboratoires, une grande partie du CEB est située à Arcueil pour le domaine N, mais aussi à Odeillo, Cazaux et Fontenay aux Roses.

Le Directeur de l'ETCA, en dehors des activités habituelles se consacre particulièrement à la coordination de ces centres entre eux, pour exploiter au mieux la synergie résultant de leurs activités complémentaires et leur procurer les moyens - notamment financiers - pour accomplir leurs missions.

Il est secondé depuis 1981 par un Directeur Scientifique qui conseille, oriente et coordonne les activités scientifiques des Centres, élabore le compte rendu de l'avancement des recherches. La dernière mise à jour des missions et de l'organisation de l'ETCA a été effectuée par la décision 10773 DGA/D du 28 mars 1988. On peut résumer comme suit les missions de ces cinq centres, qui coopèrent souvent entre eux pour certains travaux, car leurs activités sont complémentaires.

- **CAD** : Centre d'Analyse et de Défense

Les missions du CAD sont en gros celles des organismes qui l'ont constitué et les autres centres coopèrent si nécessaire aux recherches effectuées.

- **CEB** : Centre d'Etudes du Bouchet (CNBC jusqu'au 01/11/82)

Le CEB est chargé de mener les recherches et études, et d'assurer le rôle du Centre Technique NBC de la DGA : évolution de la menace, défense NBC des personnels ; il participe au développement des matériels nécessaires (masques, filtres, vêtements, radiamètres, dosimètres spécifiques, etc...). Il coopère pour certaines activités avec le service de Santé des Armées qui l'a chargé de la Sécurité radiologique des Armées.

- **CEG** : Centre d'Etudes de Gramat

Les missions du CEG ressortissent à deux domaines la Détonique et la protection des équipements aux effets des armes nucléaires.

Il est le centre technique DGA pour la détonique classique et effectue des recherches de base pour la détonique fondamentale. En nucléaire il met en oeuvre des puissants moyens de simulation sur les effets de souffle et participe à des études de durcissement.

- **CREA** : Centre de Recherches et d'Etudes d'Arcueil

Il a été constitué (décision 10 394/DGA/D du 28.03.1988) par la fusion du CMCM et la composante recherche OP du CTME. Ses missions ressortissent aux domaines de recherches et études suivantes :

- **Matériaux** : comportement des matériaux, notamment sous choc (blindages) propriétés des surfaces et amélioration des performances.

- **Lasers** : compréhension des phénomènes d'interaction laser matière pour étudier les possibilités d'utilisation du laser.

- **Robotique** : traitement rapide du signal, aide à la décision, assistance technique, expertise, métrologie, normalisation.

- **CTME** : Centre Technique des Moyens d'Essais

Le CTME continue les activités dans les domaines qui ont fait le renom du service puis du département DEL, un quart de siècle auparavant (mais ses activités n'étaient pas officialisées interdirections) :

- . Expert DGA dans le domaine moyens d'essais ou d'observation
- . Soutien aux services DGA dans la conception et l'étude de ces moyens, maître d'oeuvre pour les grands projets
- . Phénomènes électromagnétiques, métrologie balistique
- . Techniques d'acquisition, de traitement, d'interprétation, d'exploitation (notamment dans le domaine spatial).

En définitive, si on compare les missions actuelles (très résumées ci-dessus) aux activités initiales, on peut constater qu'elles ont, sur le plan technique, peu de rapport entre elles et qu'on a abandonné la plupart de celles qui ont fait le renom national et même international de l'établissement dans le domaine mécanique.

Certains le regrettent.

Ce n'est pas une bonne attitude.

En effet, depuis sa création, en 1794, l'établissement a une ligne d'action continue : **de tous temps, il a été à la pointe du progrès, de la technique, dans les missions qui lui ont été confiées.**

Cet état de fait induit un intérêt scientifique et technique considérable qui a maintenu sur place un grand nombre de spécialistes passionnés, alors qu'ils auraient pu trouver ailleurs des situations nettement plus rémunératrices.

Pour appuyer l'affirmation de cette continuité, on peut, en conclusion, considérer schématiquement trois périodes pour l'histoire de l'établissement, en rappelant quelques faits saillants.

1ère Période :

Pendant plus d'un siècle et demi, depuis 1794, les activités ont concerné tout d'abord le domaine mécanique, métrologique et usinage de précision, qui a abouti à l'étude, la fabrication et le contrôle des I.V. permettant l'interchangeabilité des fabrications : l'origine de l'interchangeabilité n'est pas due, comme on le croit souvent, à Taylor, mais au Lieutenant Général J.B. Vaquette de Gribeauval, premier inspecteur de l'Artillerie et aux réalisations de l'Atelier de Précision.

Se sont ensuite ajoutés la chimie, les matériaux (1816-1818), les essais mécaniques (1894) et à partir de 1940-44 l'électronique, la mécanique industrielle et l'informatique.

On peut rappeler quelques faits marquants :

- en mécanique, attribution du prototype n° 17 du mètre étalon (1893), réalisation du premier comparateur automatique de longueur au micron (Hartmann 1894), attribution du contrôle API, du contrôle des filetages coniques pour l'industrie du pétrole pour l'Europe (1946).

- en chimie, Gay-Lussac, dirigea le service et les professeurs Urbain, Sainte-Claire Deville, Grignard ont participé aux travaux du service.

Il était en tête de la technique dans ses deux principales activités, et des savants de renom dirigeaient des services ou coopéraient avec lui.

2ème période 1960-1975 environ :

Il s'agit d'une période de mutations importantes et rapides, d'une véritable explosion d'activités interdirections. Etant donné son haut potentiel technique, scientifique et matière grise, l'établissement a pris, ou s'est vu attribuer des activités nouvelles, en différents domaines précisés en VIII.2 (NBC), mesures, chaînes de mesure et traitements, commande numérique, etc...

Dans tous ces domaines, il a poussé au maximum possible les études et réalisations au bénéfice de l'ensemble de la DGA, par ex. équipement des centres d'essais pour le CEA, la DEFA, la DTEn, appareils du domaine NBC...

Le BNM l'a choisi, en 1969 comme centre d'étalonnage agréé et centre agréé d'évaluation et de qualification en différents domaines (VII.3).

3ème Période :

La création de l'ETCA en 1975 et les aménagements ultérieurs ont officialisé la situation en rassemblant des techniques diverses, complémentaires et interdirections et a contribué au succès de l'ensemble.

Les années à partir de 1975 constituent une période de continuation des activités principales de la 2ème période, en améliorant l'efficacité et les résultats et en prenant en charge des activités nouvelles très prometteuses, certaines de la plus haute importance, et nécessitant presque toutes des recherches et études théoriques, ou techniques de plus en plus pointues.

C'est une période de maturité qui ne peut que se poursuivre. Le déclin de certaines activités traditionnelles et même leur disparition au cours de cette période, en mécanique, est un fait, mais, il n'y avait plus guère d'études ou réalisations de premier plan à effectuer que ce soit pour le contrôle (nouveaux capteurs valables) ou la commande numérique des machines-outils (désormais banalisée).

On doit donc se réjouir de la conversion vers des travaux plus nobles en d'autres domaines et le maintien de la ligne d'action signalée. L'expansion continue d'ailleurs, et la constitution de nouveaux bâtiments a été rendue nécessaire en 1988-89 pour répondre aux besoins.

Le bicentenaire prochain, en 1994, de la création de l'Atelier de Précision ne pourra que confirmer la bonne orientation de l'établissement.

CHAPITRE IX

NOTE SUR LES PERSONNELS

Dans ce document, il a été question surtout de missions, techniques, organisations : il a semblé intéressant de donner quelques informations sur le personnel de l'établissement, complétant les généralités du chapitre I sur la variation des effectifs (300 en 1943, 1460 en 1988 avec une augmentation, importante et justifiée, du niveau I).

Les ouvriers ont toujours été d'une haute qualification, à la recherche du travail bien fait et de la meilleure précision lorsqu'elle est nécessaire. Cette grande conscience professionnelle - qui se rencontre dans l'ensemble du personnel - est une vieille tradition datant pratiquement de la création de l'Atelier de Précision en 1794, transmise de génération en génération au Service Précision, mais aussi dans les autres services. La majorité d'entre eux provenait de l'école d'apprentissage de l'établissement.

Le recrutement des techniciens était bon, quelle que soit l'origine, embauchage direct (surtout sorties ETN) ou promotion sur concours à partir des ouvriers. Ils ont, eux-aussi effectué un excellent travail, leur motivation étant identique à celle des ouvriers.

Le recrutement des ingénieurs civils s'est effectué essentiellement à la sortie des écoles mais aussi parmi les scientifiques du contingent affectés à l'établissement (à partir de 1964) et par promotion interne après obtention de thèses de doctorat dans leurs spécialités, passées brillamment, notamment au service électronique (ceci assurait une certaine continuité).

Ils ont, eux aussi, fait preuve de compétence, en menant à bonne fin des études de pointe dont ils étaient responsables. Certains se sont vu attribuer des postes de chefs de service ou même de départements (E 1957, DEL 1964, MA 1968, Pr 1971) ce qui fut une grande première au sein de la DEFA, mais ces promotions étaient bien méritées.

Un nombre important de réussite est dû aux qualités personnelles de ces ingénieurs, mais cela a été facilité par un équilibre correct entre les départs permettant un renouvellement bénéfique et un maintien de longue durée pour un nombre suffisant d'entre eux. C'est seulement dans les années 1965 -1970 environ qu'a existé une certaine difficulté, la différence trop importante de rémunération par rapport à l'industrie privée ayant amené des départs massifs (jusqu'à 30 % en un an !). La situation s'est rétablie lorsque les propositions du LCA ont été acceptées en haut lieu.

Le recrutement des IA et IETA à la sortie de l'ENSAR et de l'ETS était facilité par les contacts enseignants-élèves : d'une part de nombreux ingénieurs du LCA étaient professeurs aux écoles, d'autre part les élèves effectuaient des travaux pratiques et des travaux de recherche (innovation IGA Nicolau) dans les laboratoires du LCA⁴³. Les autres modes de recrutement des IA ont aussi été très bénéfiques, sur concours ou au choix parmi les IETA, les ingénieurs civils et les officiers des armes, car pratiquement tous étaient de grands spécialistes dans certains domaines d'activité du LCA : le plus gros apport s'est produit lors de la fusion avec le CERAM : neuf ICA ou IPA intégrés à partir des officiers des armes, ayant tous des diplômes valables tels que docteur es sciences, ont grandement facilité les réussites de la nouvelle mission "Atome".

Avec l'accord de l'administration centrale, un certain nombre d'IA a vécu au LCA une très longue carrière, nettement plus longue que la durée normale dans les autres établissements. Ils s'agissait d'une sage décision, car ces maintiens ont permis des relations étroites avec les spécialistes de divers milieux scientifiques (universités, écoles d'ingénieurs, centres de recherches) relations bénéfiques pour bon nombre de travaux, permettant de plus à ces ingénieurs d'acquérir une notoriété rejaillissant sur le LCA et la DTAT.

Il faut souligner l'esprit "maison" de l'ensemble du personnel, fonctionnaires ou contractuels, sa conscience professionnelle, son attachement à la réussite, une coopération fructueuse entre les services ou départements (par ex. Pr - E) l'intérêt LCA passant avant les intérêts personnels ou de service. Comme cela a été dit au chapitre précédent, de tous temps le LCA a été à la pointe du progrès, de la technique, dans les missions qui lui ont été attribuées. Chaque agent ayant conscience de cet état de fait, avait une certaine satisfaction à participer à un travail de pointe que d'autres équipes avaient peu de chances d'assurer avec succès. L'intérêt scientifique et technique a ainsi maintenu sur place la plupart des spécialistes passionnés qui auraient pu trouver ailleurs des situations plus rémunératrices. Il en a résulté une coopération exceptionnelle entre les personnels de niveaux très différents.

Parmi ces personnels, on peut rendre un hommage particulier à l'ingénieur Général Nicolau, souvent cité dans ce document. L'introduction, le LCIM à Caussade (pages 6 à 15) montre notamment son action sous l'occupation : on lui doit la survie de l'établissement, en lui permettant de remplir ses missions, dès la libération.

Parmi ses nombreuses actions, décisions, ou réalisations, citons les principales, dont certaines hors LCA, étaient fort utiles pour l'armement.

- Divers travaux dans le domaine de la Normalisation, principalement l'élaboration de la Recommandation Internationale sur les Tolérances et Ajustements des Axes et Alésages (ISO) encore aujourd'hui base de tout système de normalisation dimensionnelle, ainsi que la fixation de la température d'étalonnage à 20°, beaucoup plus pratique que la température 0° utilisée dans l'artillerie, et cela contre l'avis de spécialistes et supérieurs (année 1930)

⁴³ : Ceci n'est plus valable actuellement.

- Création au LCA de laboratoires ou activités suivantes avec introduction de cours correspondants à l'ENSAR et l'ETS, écoles qu'il a remarquablement organisées :

- Laboratoire de Mécanique Industrielle LMI (1939)
- Laboratoire d'électronique (1940)
- Laboratoire d'Etats de Surface (1942)
- Métallurgie des Poudres pour évaluation (1943)
- Laboratoire de Contrôle Non Destructif (1945)
- Méthodes d'Analyse et Contrôles Statistiques (1945)
- Servomécanismes (1947).

Ces créations ont eu des répercussions importantes pour la réalisation des matériels d'armement et l'obtention d'une meilleure qualité.

- Création de diverses sociétés savantes, citées au chapitre VI : GAMS (1944) GAMI (1951) CIRP (1951). Par ces sociétés, auxquelles adhéraient divers ingénieurs du LCA, l'établissement a bénéficié de retombées bénéfiques pour ses activités et a accru sa notoriété.

- Création de deux écoles d'ingénieurs mécaniciens pour combler le déficit d'ingénieurs en ce domaine : Institut Supérieur de Matériaux et de la Construction Mécanique (ISMCM 1948) et Centre d'Etudes Supérieures de Techniques Industrielles (CESTI 1956), avec l'appui de la Fédération des Industries Mécaniques et Transformatrices de Métaux (FIMTM). Il a dirigé ces Ecoles dépendant de l'Education Nationale jusqu'en 1960. Le LCA a embauché plusieurs Cestiens, et l'un d'eux est devenu chef de service.

On peut constater que la plupart de ses réalisations hors armement, ont été postérieures à son départ du LCA, par limite d'âge le 3 juin 1949 : il continua après cette date à servir son pays en se consacrant à l'enseignement, la recherche dans le domaine de la mécanique industrielle et à la diffusion des connaissances au moyen de revues techniques, conférences, congrès.

Pour avoir une vue assez complète de l'oeuvre immense réalisée, on pourra consulter les 28 pages que le GAMI lui consacra dans le n° 306, (Juin 1975) de sa revue Mécanique Matériaux Electricité : seize personnalités ou spécialistes ont dû se partager l'exposé.

Son oeuvre est celle d'un homme d'action exceptionnel : travailleur acharné, méticuleux, tenace, d'une compétence et d'une clairvoyance rares, il était d'un rayonnement humain considérable ; c'était un entraîneur d'hommes et nul ne pouvait résister à ses sollicitations quel que soit l'effort à fournir, son jugement des hommes était rapide net et précis et il a su mettre chacun à la bonne place, exigeant pour lui-même comme pour les autres, mais se souciant du caractère social de toute décision ou action.

Très souvent en avance sur son temps, cela lui valut des incompréhensions qu'il ressentit parfois douloureusement parce que préjudiciables à ceux à qui il se dévouait.

Mais il eut la satisfaction de voir les succès de ses entreprises, et la reprise par d'autres des notions nouvelles qu'il avait lancées, qu'il s'agisse d'enseignement, de recherche scientifique ou de perfectionnement de techniques. Il avait d'ailleurs fait sienne la devise du Général Estienne "Réaliser, c'est accepter délibérément de faire une oeuvre imparfaite".

On peut terminer en donnant un extrait de l'allocution funèbre prononcée le 3 Juillet 1974 par un de ses principaux collaborateurs :

"Grand Ingénieur, Grand Educateur, Grand Directeur, il était un animateur hors de pair qui a mis jusqu'au bout son exceptionnelle puissance de travail au service de l'idéal de progrès scientifique qu'il avait choisi et qu'il voulait faire partager aux autres dans des domaines parfois ingrats".

Je tiens à remercier les nombreux personnels de tous niveaux, en activité et en retraite qui m'ont apporté leur concours pour la rédaction de ce document, en faisant le plus souvent appel à leur souvenir.

Cela m'a permis de rectifier un certain nombre d'erreurs, de compléter surtout mes informations.

Le document ainsi établi, bien qu'imparfait, présente un caractère unique car l'aide ainsi apportée ne pourra être renouvelée.

X. ANNEXES

ANNEXE 1 : Arrêté du 12 Messidor An II

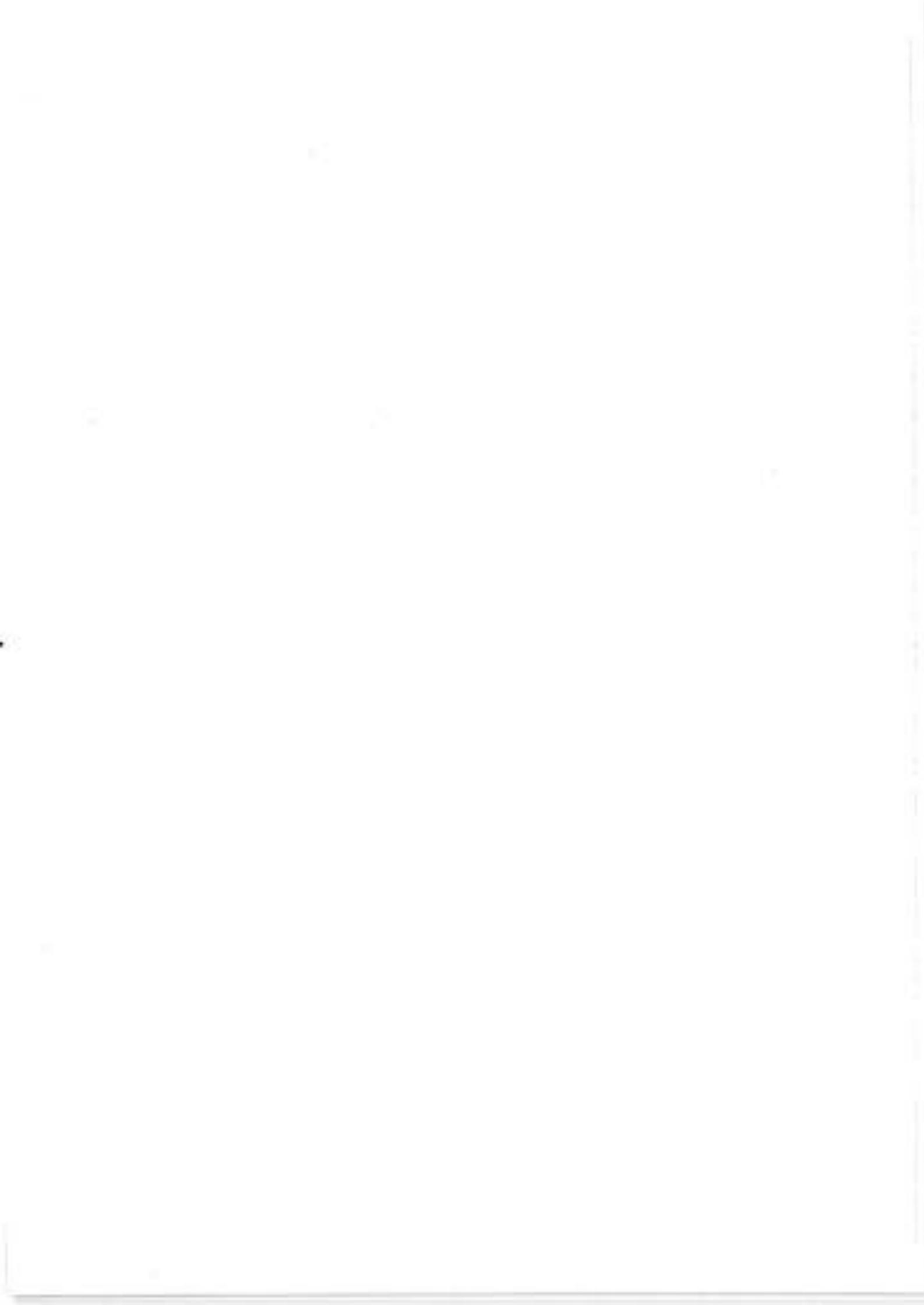
ANNEXE 2 : Evolution de l'organisation de l'Etablissement 1794-1988

ANNEXE 3 : Extrait de l'Instruction 27.812 C/DEFA/ du 31 / 07 / 1948

ANNEXE 4 : Extrait de la Note 15.445 SEM / DTAT du 16 / 03 / 1970

ANNEXE 5 : Extrait de la Décision 11.320 DMA/D du 24 / 07 / 1975

ANNEXE 6 : Directeurs de l'Etablissement 1936 - 1988



ANNEXE 2
EVOLUTION DE L'ORGANISATION DE L'ETABLISSEMENT

DATES	EVOLUTION	REFERENCES
30 Juin 1994 Juin 1939 Avril 1936 1940 Juillet 1946	12 Messidor An II -Création de l'Atelier de Précision par le Comité de Salut Public Création de l'Etablissement Central des Fabrications d'Armement ECFA Création du Laboratoire Central des Fabrications d'Armement LCFA issu de la fusion de Etablissement Central des Fabrications d'Armements Laboratoire d'Etudes de balistique intérieure de Versailles LCFA =>LCIM (Laboratoire Central des Industries Mécaniques) LCIM =>LCA (Laboratoire Central de l'Armement)	Arrêté du 14 Messidor an II Décret et Arrêté des 6 et 7 Juin 1933 Décret du 29/04/36 Instruction n° 27812 C/DEFA du 31/07/46
1964 - 1971 Evolution progressive Exemple d'une organisation)	MPM Département Mécanique de Précision et Métrologie DEL Département Electronique DTAT/LCA DPN Département Détection Protection Nucléaire PCM Département Physique, Chimie, Matériaux DET Département Etudes Théoriques	Note 15445 SEMDTAT du 16.03.70. "Missions des Etablissements"
Janvier 1966	DTAT/LCA + soutien administratif S.E.B.C. (Section Etudes Biologie et Chimie)	Décision 21727 C/DTAT du 20 Juin 1968 (suite Décision 10580 DMA/D du 27/12/66.
Juillet 1976	SECT/DRME DTAT/LCA CEG SECT = Service d'Equipements des Champs de Tir SEBC BMTM = Bureau Méthodes et Technologies Modernes BMTM CEG = Centre d'Etudes de Gramat DEL + SECT =CTME Centre Technique et Moyens de Mesures et d'Essais	Décision 11320 DMA/D du 24.07.75
Juin 1977	DTAT/ETCA => DRET/ETCA Maintien en compte de commerce DTAT	Décret n° 77-512 du 17.05.77 (DRME=>DRET) Arrêté du 01.06.77 (ETCA=>DRET) Instruction provisoire du 26.12.77

Avril 1978	Missions de FETCA		Décision 10584 DGA/D du 03.04.78
Mai 1979 Mars 1980	DRET/ETCA + CIRO	CAS = DET + CIRO CAS => CAD (Centre d'Analyse de Défense)	Décision Ministre 3148 du 14.05.79 Décision Ministre 11576 du 17.03.80
Mars 1980	- Développement des moyens et structures de recherches à la DGA ETCA organisé en 5 Centres CTME Centre Mécanique Chimie Matériaux)	CAD CNBC = DPN + SEBC + CED (Odeillo) CEG existants + CNBC (= CEB) CMCM = PCM + MPM	Note Ministre 6586 du 13.02.80 Décision 4024 DRET/D du 14.03.80
Août 1982 Octobre 1982	- CEG Etablissement annexe à compter du 01.09.82 - CEB Etablissement annexe à compter du 01.11.82 (ex CNBC)		Décision 11987 DGA/D du 25.08.82 Décision 12359 DGA/D du 01.10.82
Mars 1988	- Actualisation des missions des Centres - Constitution du Centre de Recherches et d'Etudes d'ARCUEIL CREA = CMCM + CTME/DP		Décision 10773/DGA/D du 28.03.88

ANNEXE 3

EXTRAIT DE L' INSTRUCTION 27812 C/DEFA DU 31 JUILLET 1936 RELATIVE A L'ORGANISATION ET AU FONCTIONNEMENT DU LABORATOIRE CENTRAL DE L'ARMEMENT

CHAPITRE ATTRIBUTIONS

Article 1er

Le Laboratoire Central de l'Armement, créé par décret du 29 Avril 1936, et placé sous l'autorité directe du Ministre (D.E.F.A.) est chargé :

1° De procéder aux recherches et études relatives :

- a. à la normalisation concernant les fabrications d'Armement,
- b. à l'élaboration des matériaux (métaux, matières plastiques, etc.),
- c. à l'amélioration de leurs propriétés et des conditions d'emploi,
- d. au perfectionnement des méthodes, procédés et outillage utilisés pour leur mise en oeuvre,
- e. au contrôle des matières et des produits fabriqués,
- f. aux installations de force motrice et moteurs des Etablissements,
- g. aux méthodes et appareils de mesure et d'essai.

2° De contrôler l'application aux fabrications d'Armement des règles de la normalisation.

(Aucun document technique comportant des clauses et spécifications en relation avec la Normalisation ne pourra être approuvé sans avoir reçu le visa du Laboratoire Central de l'Armement).

3° De contrôler et établir au besoin notamment (pour les dispositions intérieures des bouches à feu et les éléments de munitions) les tracés des instruments vérificateurs officiels et de leurs rapporteurs et prototypes, d'assurer l'approvisionnement de ces instruments, leur poinçonnage, leur stockage, leur distribution aux Services réceptionnaires et Commissions de réception de Matériel de la Guerre et éventuellement leur réparation ; de contrôler la conformité aux normes des vérificateurs établis par les divers Etablissements constructeurs.

4° De procéder à la vérification périodique des étalons secondaires utilisés par les Etablissements et Services de la Direction des Etudes et Fabrications d'Armement.

5° De doter les Services réceptionnaires des moyens nécessaires pour le tarage des machines d'essai utilisés pour le contrôle des fabrications.

6° De procéder aux essais demandés par les Etablissements et Services de la Direction des Etudes et Fabrications d'Armement et à toutes les contre-épreuves prévues par les cahiers des charges en vigueur dans ce département

7° De procéder à toutes recherches, expertises et recettes qui lui sont prescrites par le Ministre (D.E.F.A.).

8° D'étudier et construire les appareils de Laboratoire nécessaires aux Etablissements et Services Techniques de la Direction des Etudes et Fabrications d'Armement, des Transmissions et du Matériel du Génie, qui ne pourraient être fournis par l'Industrie privée.

Le Laboratoire Central de l'Armement sera de ce fait appelé à coopérer de manière intime avec les Laboratoires utilisateurs des appareils. L'exploitation de ces derniers, après mise au point, sera assurée par les Laboratoires utilisateurs.

9° De rédiger et tenir à jour les Cahiers des Charges Communes de la Direction des Etudes et Fabrications d'Armement (aciers à canons et divers, laïtons, bronzes, etc.). Ces rédactions pour lesquelles il sera fait appel à toutes les personnalités compétentes seront approuvées et diffusées par la D.E.F.A. (Service Technique).

10° Les Cahiers des Charges Spéciales qui prévoient des clauses précisant ou modifiant l'énoncé des Cahiers des Charges Communes, ne pourront être diffusés sans l'avis du Laboratoire Central de l'Armement sur les clauses en question.

Article 2

I - Le Laboratoire Central de l'Armement est le Laboratoire témoin en cas de litige entre les Etablissements de la D.E.F.A. ou entre ces Etablissements et l'Industrie privée.

II - Les divers Services et Etablissements de la D.E.F.A. devront faire un large appel au Laboratoire Central de l'Armement, comme guide et conseiller technique (qualité des matériaux, procédés d'usinage, qualité des machines-outils, etc...).

En particulier, il sera obligatoirement consulté :

1° Pour la construction des appareils de laboratoire.

2° Dans tous les cas de rupture ou d'usure anormale de pièces de matériels et machines en services ou en essai, imputables à la qualité des matériaux ou au tracé et qui ne seraient pas susceptibles d'une explication immédiate et certaine par les Services intéressés.

III - Le Laboratoire Central de l'Armement peut effectuer, à charge de remboursement, des travaux de sa compétence pour les Etablissements et services de l'Etat relevant d'autres Départements ministériels et pour les Etablissements privés.

Article 3

Outre les essais, études et recherches que le Laboratoire Central de l'Armement effectue à son initiative ou sur demande des Etablissements, dans le domaine d'activité définie par les articles I et II, l'Etablissement procède, en priorité, aux essais, études et recherches qui lui sont prescrits par le Service Technique de la Direction des Etudes et Fabrications d'Armement et qui sont spécialement suivis par les Ingénieurs de ce Service.

Le Directeur du Laboratoire Central de l'Armement a, de plus, une délégation permanente du Ministre pour organiser la coopération aux essais, études et recherches, qu'il dirige, des laboratoires des Etablissements d'expériences techniques et Etablissements constructeurs de la Direction des Etudes et Fabrications d'Armement; il donne à cet effet, aux Etablissements intéressés, toutes directives nécessaires, à charge pour lui d'en rendre compte au Ministre (D.E.F.A.) sous le timbre des bureaux compétents.

ANNEXE 4

Fiche Jointe à Note
n° 15 445 SEM/DTAT/AD
du 18/03/70.

5 Janvier 1970

LABORATOIRE CENTRAL DE L'ARMEMENT (L.C.A.)

- x 1 - Mission interarmée de conception, de recherche appliquée, d'études et d'évaluation pour ce qui concerne la détection et la protection contre les effets des explosions nucléaires.
Expert national en radioprotection.
Soutien du Service de Santé des Armées et du Service National de Protection Civile.
 - x 2 - Mission de pilotage, pour la D.M.A., en ce qui concerne les techniques d'acquisition et de traitement des mesures. Centre de qualification de composants ou d'ensembles de chaînes de mesures pour essais au sol ou sur engins.
 - 3 - Mission d'expert pour la D.T.A.T. et le S.I.A.R. en métrologie balistique, métrologie dimensionnelle, analyses physiques et chimiques.
Recherches et Etudes dans le domaine de la Métrologie Avancée :
 - Métrologie balistique,
 - Métrologie dimensionnelle,
 - Contrôles non destructifs,
 - Analyses physiques et chimiques.
 - 4 - Dans les domaines de compétence désignés ci-dessus, le L.C.A. réalise éventuellement quelques études et productions de matériels, dans les limites fixées par l'administration Centrale.
 - x 5 - Promotion de l'utilisation des matériaux dans l'industrie d'Armement en liaison avec le B.M.T.M.
 - x 6 - Mission d'expert, pour la D.M.A., pour les techniques nouvelles de la mécanique et notamment l'automatisation des machines-outils.
 - 7 - Mission de conception et réalisation des instruments vérificateurs de munitions et bouches à feu.
 - 8 - Participation, en tant que laboratoire associé, aux travaux du Bureau National de Métrologie.
 - 9 - Application des règles de normalisation (support technique du Bureau AIN de l'administration Centrale).
 - 10- Conservation d'archives de l'Armement.
 - x11- Support du B.M.T.
- X: Remarque : missions interdirections.



ANNEXE 5

MINISTERE DE LA DEFENSE

DELEGATION MINISTERIELLE
POUR L'ARMEMENT

Paris, le 24 Juillet 1975

N° 11 320 DMAVD

DECISION (EXTRAIT)

1. - CREATION D'UN CENTRE TECHNIQUE GENERAL DE L'ARMEMENT

A dater du 1er Septembre 1975, les moyens du Laboratoire Central de l'Armement, du Service d'Equipeement des Champs de Tir et du Bureau des Méthodes et Technologies Modernes seront regroupés au sein d'un Centre Technique Général de l'Armement à vocation interdirections. A cette même date, le Centre d'Etudes de Gramat lui sera rattaché, mais restera toutefois, jusqu'au 1er Janvier 1976, géré par la Manufacture Nationale d'Armes de Tulle.

Ce Centre Technique prendra le nom d'ETABLISSEMENT CENTRAL DE L'ARMEMENT* (ECA).

2. - MISSIONS DU NOUVEAU CENTRE TECHNIQUE

2.1. - L'Établissement Central de l'Armement est chargé de trois types de missions :

- a. Effectuer, dans les domaines de compétence de ses équipes, travaux à caractère étatique pour le compte d'une ou plusieurs Directions ou Services de la DMA, qui en conservent la responsabilité d'ensemble.
- b. Exercer la coordination technique de certaines tâches communes aux diverses Directions de la DMA.
- c. Assurer le traitement de certains problèmes techniques qui n'incombent, en fonction des textes, à aucune Direction particulière.

2.2. - Ces missions s'exercent plus particulièrement dans les domaines suivants :

- a. L'ECA est chargé des Etudes et Essais de la DMA dans le domaine de la "guerre nucléaire" et de la réalisation des programmes de "Défense nucléaire" (Cf. Annexe 4).
- b. L'ECA est chargé des Etudes et Essais de la DMA dans le domaine de la "guerre chimique" et de réalisation des programmes de "Défense chimique". Il pourra être chargé de travaux au bénéfice de la Protection Civile ou du Service de Santé des Armées dans le domaine de la "Défense biologique".

* Remarque : s'appellera Etablissement Technique Central de l'Armement (ETCA) en 1977.

- c. L'ECA et le CELAR sont les deux principaux organismes de la DMA chargés d'exécuter des **"études papier"** mettant en jeu les techniques d'analyse système, en vue de la définition, du choix, de l'optimisation et de l'évaluation des systèmes d'armes, notamment au plan des caractéristiques militaires et techniques et des coûts qui en découlent.

Les phases de définition des systèmes d'armes et de réalisation des modèles paramétriques nécessitent la collaboration des Ingénieurs des Directions Techniques, spécialisés dans les techniques des systèmes en cause, sous la direction des Directeurs de Programmes correspondants. Une coordination avec les services de "recherche opérationnelle" des Armées et les états-majors est également nécessaire pour mener à bien cette mission. Une décision particulière définit les rapports entre l'ECA et le CIRO. Le Centre de Prospective et d'Evaluation est étroitement associé à ces études.

- d. L'ECA assure, aide ou coordonne le passage des résultats de certaines recherches et études effectuées par la DRME ou les Directions Techniques vers leur exploitation dans des développements opérationnels ; il assure également une coordination technique dans certains domaines communs non spécifiques d'une Direction, et pour lesquels aucune d'entre elles n'a été désignée comme pilote ; il effectue certaines études particulières au profit d'une (ou plusieurs) Direction(s) à sa (leur) demande (Cf. Annexe 4).

Les principaux domaines de compétence des équipes de l'ECA dans lesquels s'exerce cette mission sont :

- la détonique,
- les matériaux pour blindages,
- les matériaux organiques et composites
- les méthodes de métrologie physique, mécanique et balistique,
- les lasers de puissance,
- le traitement de l'information d'images.

- e. L'ECA est chargé de **promouvoir et de coordonner des actions concourant à l'amélioration de la qualité et du coût des matériels et à la mise en oeuvre de technologies modernes**, ainsi que du pilotage des activités de la DMA en matière de normalisation et de standardisation.

C'est en outre le laboratoire de la DMA chargé des principaux contrôles et expertises mécaniques et physico-chimiques, notamment au profit du SIAR.

- f. L'ECA assure, pour le compte de la DRME, des tâches de coordination dans le domaine de la définition des moyens, équipements et méthodes de Mesures et Essais autour des Armes et Systèmes d'Armes et des investissements correspondants (Cf. Annexe 4). Il est également le conseiller technique des Directions pour les champs de tir et les établissements d'essais. A la demande des Directions Techniques, il peut

participer à la définition des besoins, au contrôle, à la mise en service et à l'expérimentation des moyens d'essais et équipements nouveaux.

L'ECA met en oeuvre les laboratoires et stations d'essais nécessaires à l'accomplissement de ces missions.

L'ECA, à la demande du Délégué ou des Directions de la DMA, assume certaines tâches d'ingénierie d'installations importantes pour lesquelles il est essentiel de garder la maîtrise d'oeuvre au sein de la DMA, notamment pour des raisons de secret, de coût ou de standardisation.

Il assure en particulier l'ingénierie des installations du CEM et du CEL.

Nota : L'établissement a pris en 1977 le nom de Etablissement Technique de l'Armement (ETCA) pour éviter une confusion avec une société privée ayant déjà le sigle ECA.

ANNEXE 6

DIRECTEURS DE L'ETABLISSEMENT 1936-1988

Ingénieurs Généraux

DESMAZIERES	Ferdinand	1936 - 1940
NICOLAU	Pierre	1940 - 1949
WILMET	Robert	1949 - 1954
SORLET	Jean	1954 - 1961
NARDIN	Pierre	1961 - 1965
RIVALS	Louis	1965 - 1967
CAVÉ	René	1967 - 1971
COLLET-BILLON	Antonin	1971 - 1975
CAUMARTIN	Yves	1975 - 1979
MERCIER	Jacques	1979 - 1983
GIVAUDON	Pierre	1983 - 1986
CAPION	Pierre	1986

ANNEXES PHOTOGRAPHIQUES

	Page Texte	Page Album
Prieur de la Côte d'Or	14	138
Ancien couvent des Jacobins	14	138
ARCUEIL: Bâtiment de la Direction	15	139
Comparateur HARTMANN	30-119	140
Salle de métrologie de haute précision	31	141
Etalons d'Etats de Surface RUGOTEST	32	141
Métrographe en continu	33	142
Fraiseuse multiaxes à commande numérique	47	142
Machine à usiner par faisceau d'électrons	37	143
Grille usinée par électroérosion	37	143
Exemples de pièces frittées	43	148
Caméra C11	56	144
Camera C18	56	144
Appareil MEDOVIC	58	145
SANDRA	59	145
CETAC	59	146
Système de poursuite dans l'infrarouge	60	146
Lunettes anti-flash	65-92	147
DOM 410	78	148
Accélérateur d'électrons 600 Kev	87	149
BETATRON	87	149
Stylodosimètre à lecture directe	89	150
Dosimètre Gamma	89	150
Four solaire d'Odello	91 - 72	151
CYCLOPE : détecteur d'explosions nucléaires	96	152

ANNEXES PHOTOGRAPHIQUES



Ingénieur militaire du corps du Génie
PRIEUR DE LA COTE D'OR
(Fondation de l'Atelier de Précision, Décret du
12 Messidor An II)



Ancien couvent des Jacobins (Cloître)
Place saint Thomas d'Aquin

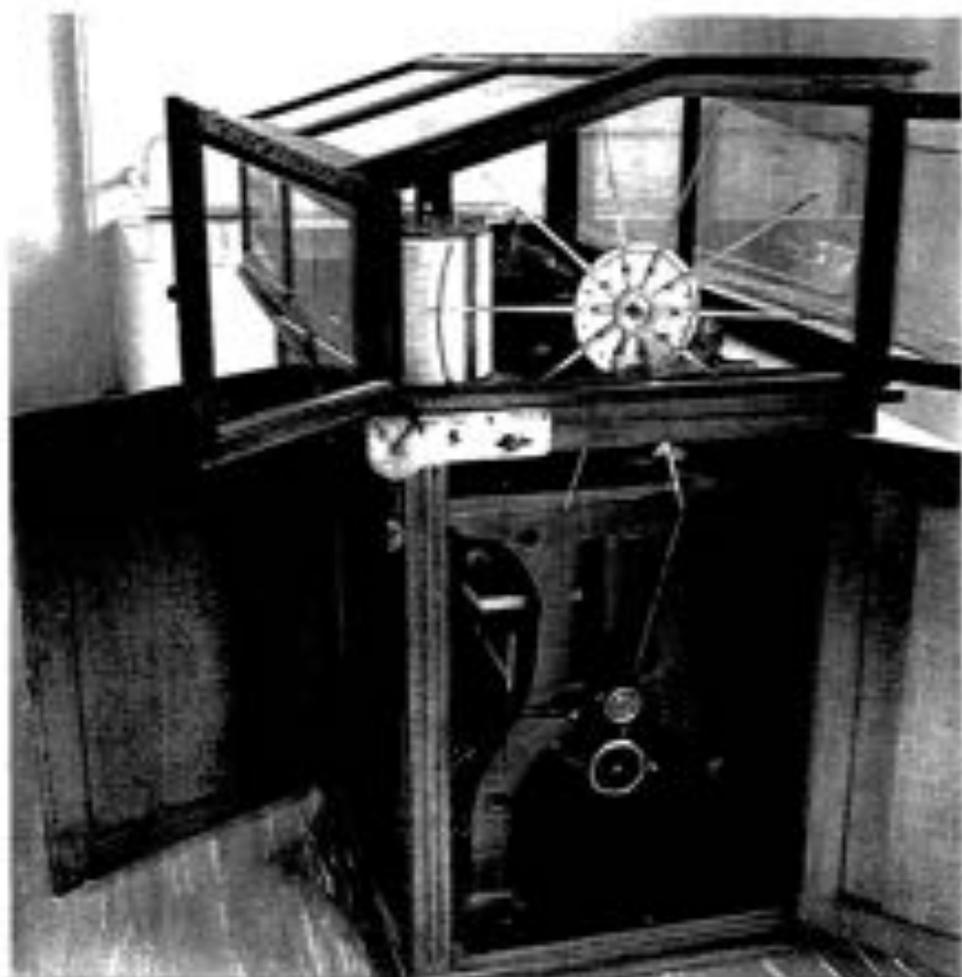


Bâtiment de la Direction
1960



ARCUEIL

Bâtiment de la Direction du L.C.A.
vers 1960



COMPARATEUR HARTMANN
(Précision : le micron)
1894

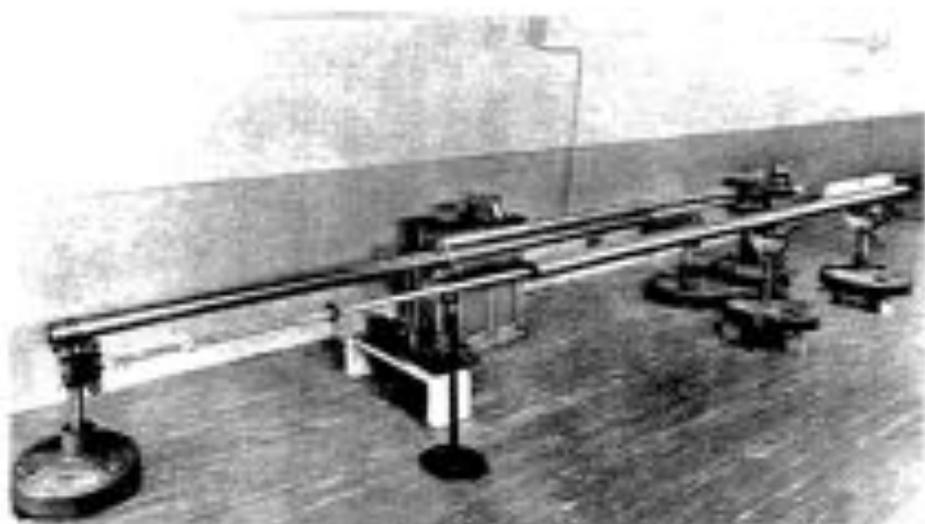


Salle de métrologie de haute précision
(Couramment le dixième de micron, au mieux le centième)



Etalons d'états de surface RUGOTEST





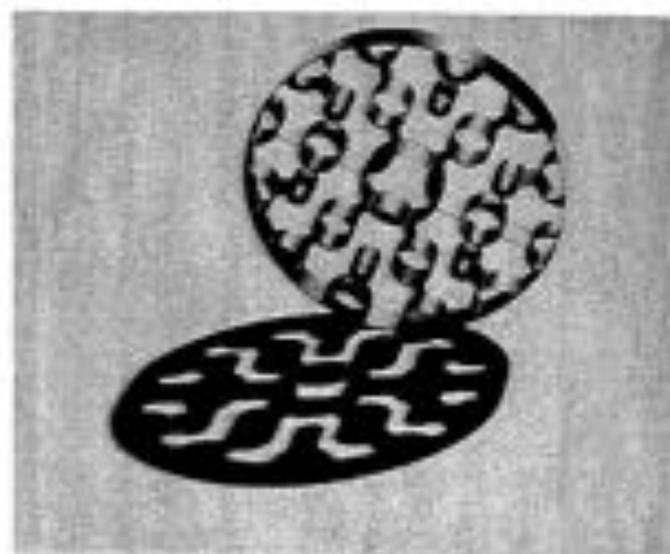
METROGRAPHE pour relever en continu des variations de dimensions de profilés
(commande C.E.A. pour réacteur de sous-marin nucléaire)



Fraiseuse multiaxes à commande numérique, atelier pilote
(une des premières machines françaises, à commande numérique,
en cours d'évaluation en 1964)



Machine à usiner par faisceau d'électrons



Grille usinée par électroérosion





Caméra Intégrale CI 6
(cadence : 10 000 000
images par seconde).

Une des premières caméras intégrales CI 1
(cadence maxi. : 2 000 000 images par
seconde).





SANDRA

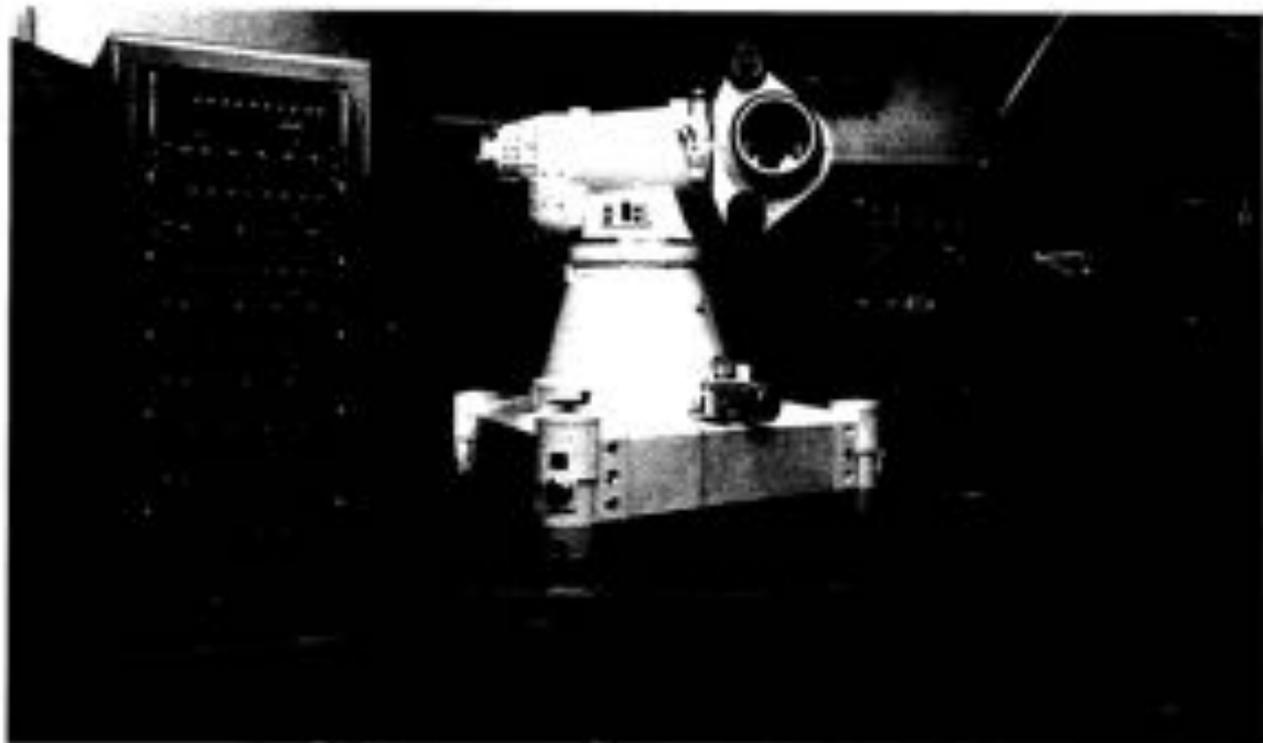
Système de l'Armement pour la Numérisation, la Décontamination et la Restitution Automatique.

Cet ensemble permet l'acquisition et le traitement des mesures. Conçu pour les essais d'engins (CNES) il a eu diverses applications (véhicules, matériel aéroporté, expériences médicales etc.).



MEDOVIC

Appareil de mesure en campagne des vitesses de projectiles de 20 à 155 mm
(par effet Doppler Fizeau).



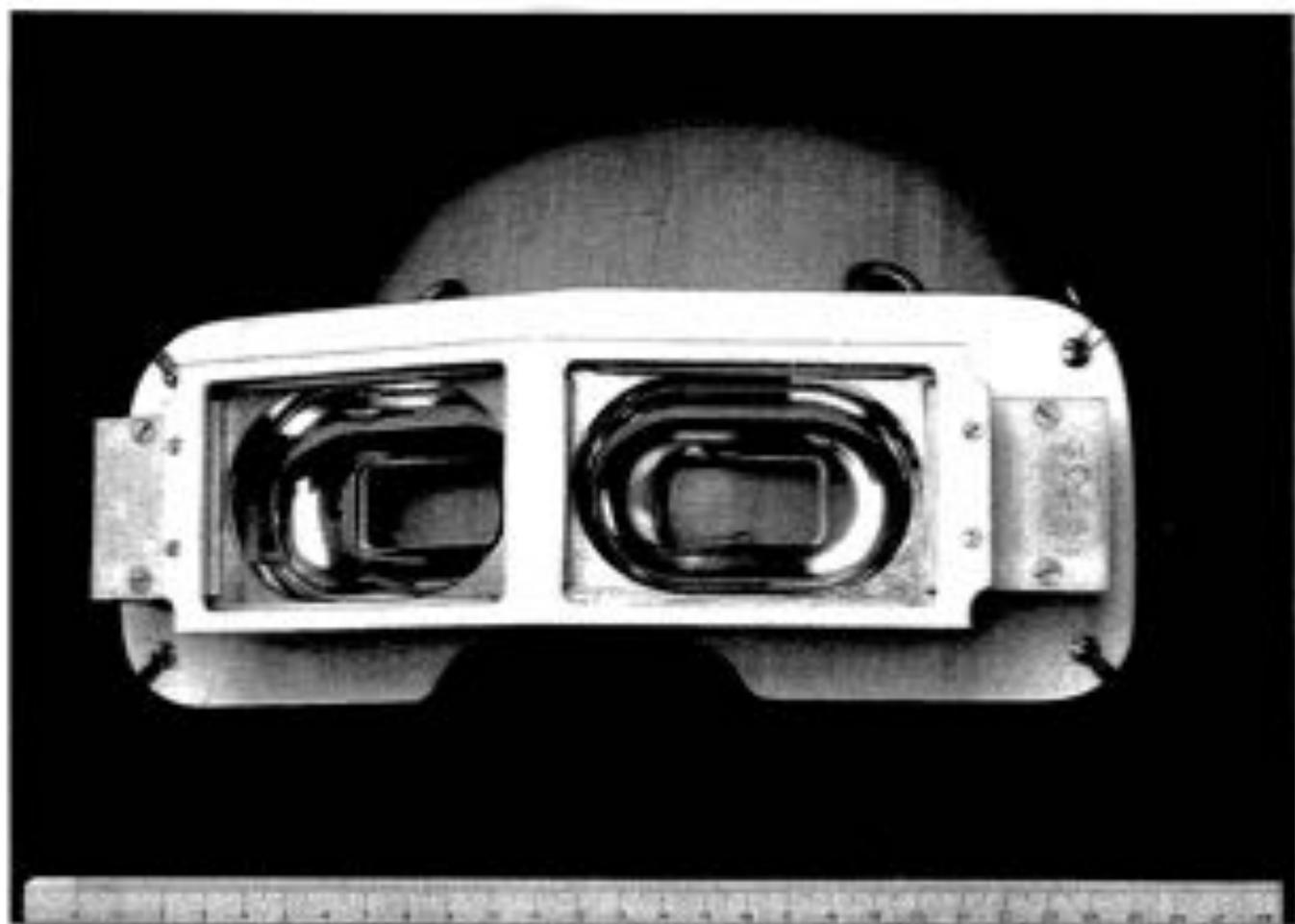
Système de poursuite dans l'Infra-Rouge



CETAC

Calculateur Electronique de
Tir d'Artillerie de Campagne.





Lunettes anti-flash



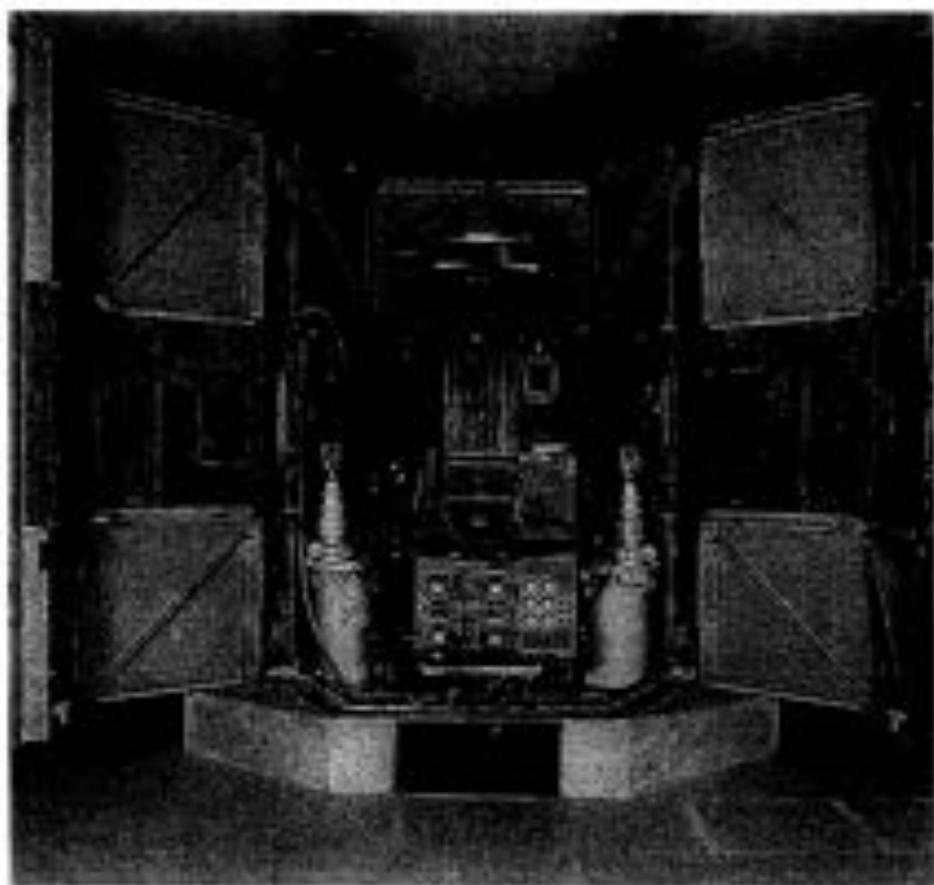
DOM 410



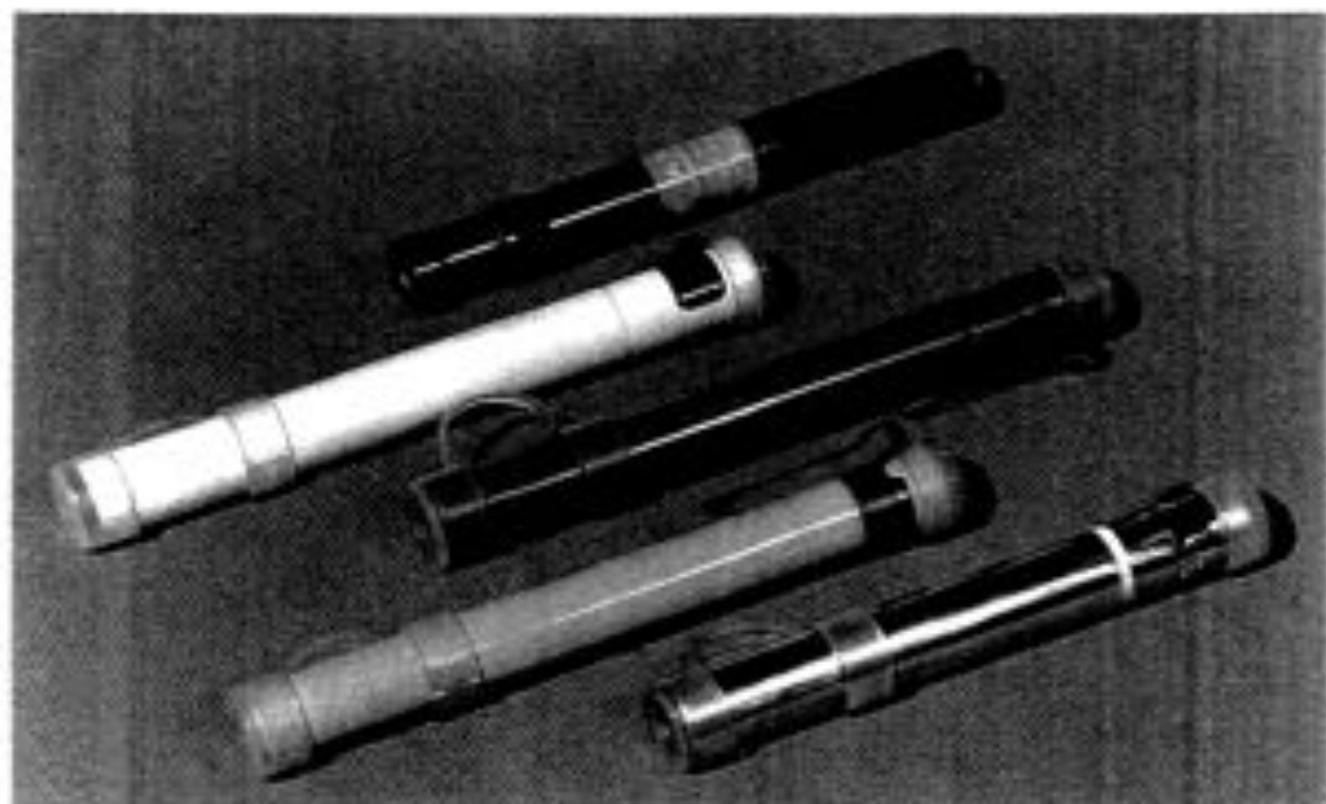
Exemples de pièces frittées.
(cames, pièces d'armes ...)



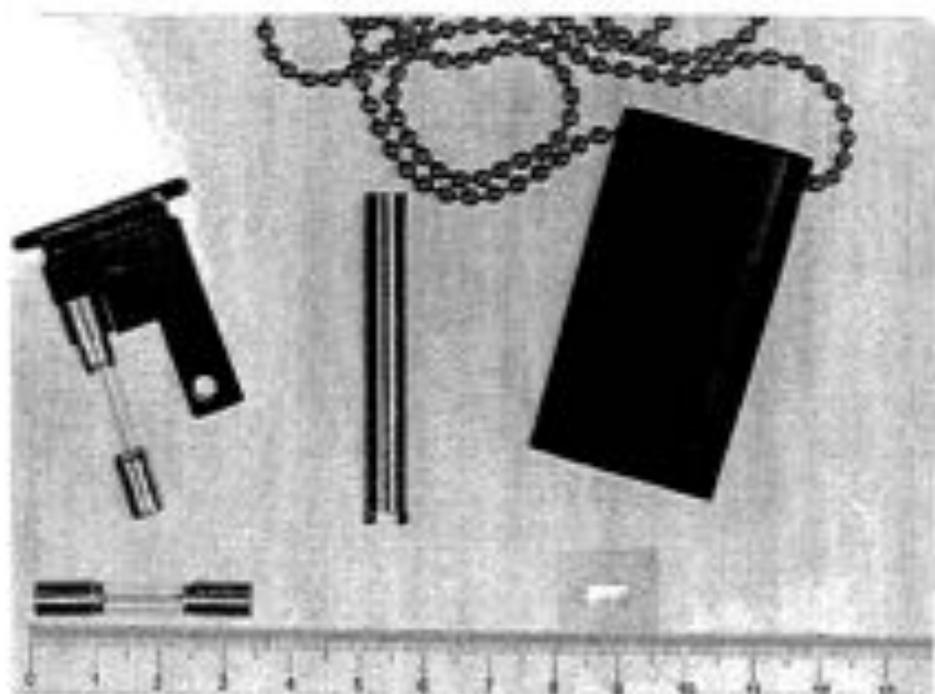
BETATRON



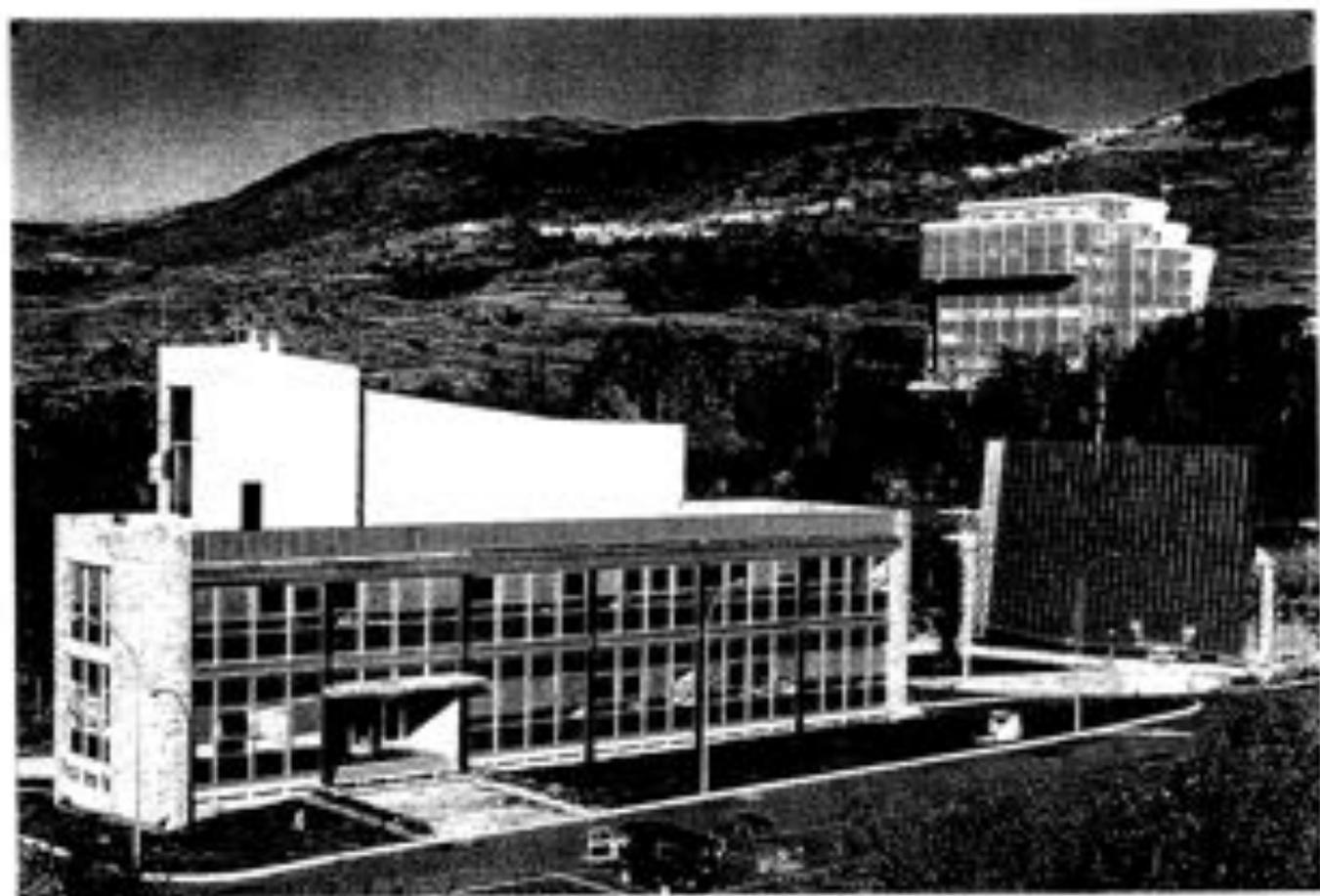
Accélérateur d'électron 600 KeV.



Stylodosimètres à lecture directe
(mesure des doses en zone de retombées)



Dosimètres Gamma
(thermo et photoluminescents)



Four solaire d'ODEILLO





CYCLOPE

Détecteur localisateur d'explosions nucléaires.

