

COMHART

Comité pour l'histoire de l'armement terrestre

**LES ARMEMENTS
DE DEFENSE ANTI-AERIENNE
PAR CANONS ET ARMES AUTOMATIQUES**

par les ingénieurs généraux
René LESAVRE et Michel de LAUNET

Ouvrage édité par le Centre des hautes études de l'armement
Division Histoire de l'armement
2007

Comité pour l'histoire de l'armement terrestre

Plan général d'édition des travaux

Ouvrages déjà publiés (à la fin de l'année 2007) :

Tome 1 : I - *Rôle de l'état-major de l'armée de Terre dans l'élaboration et la réalisation des programmes d'armement*. II - *Les matériels de l'armée de Terre en 1945*, par le général Petkovsek. Paris, Cedocar, 1999.

Tome 2 : *Organisation et moyens*, par l'ingénieur général Dufoux. Paris, Cedocar, 1999.

Tome 3 : *Centre de recherches* en deux volumes

3-1 : *Le laboratoire central de l'armement*, par l'ingénieur général Cavé. Paris, Cedocar, 1999.

3-2 : *Les autres centres de recherche*, par l'ingénieur général Fayolle. Paris, Cedocar, 1999.

Tome 4 : *Centre d'essais et d'évaluation*, par l'ingénieur général Fayolle. Paris, Cedocar, 1999

Tome 5 : *Relations internationales*, par l'ingénieur général Robineau. Paris, CHEAr/DHAr, 2003.

Tome 7 : *Matériel du Génie*, par l'ingénieur général Brindeau, puis l'ingénieur général Mallet. Paris, Cedocar, 2000.

Tome 8 : *Armement de petit et moyen calibre*, sous la direction de l'ingénieur général Lesavre, et séparé en trois volumes

8-1 : *Les armements d'infanterie*, par l'ingénieur général Rogier. Paris, CHEAr/DHAr, 2006.

8-2 : *L'armement automatique de moyen calibre*, par l'ingénieur général Bailly. Paris, CHEAr/DHAr, 2007.

8-3 : *Les armements de défense antiaérienne par canons et armes automatiques*, par les ingénieurs généraux Lesavre et de Launet. Paris, CHEAr/DHAr, 2007.

Tome 9 : *Armement de gros calibre*, par l'IGA Michel Tauzin. Paris, CHEAr/DHAr, 2007.

Tome 10 : *Armements antichars. Missiles guidés et non guidés*, par M. Stauff (†), puis par MM. Guillot et Dubernet. Paris, CHEAr/DHAr, 2002.

Tome 11 : *Systèmes de missiles sol-air*, par l'IGA Collet-Billon (†) puis l'IGA Bienvenu. Paris, CHEAr/DHAr, 2002.

Tome 13 : *Premiers travaux sur l'arme nucléaire*, par l'IGA Paul Bonnet. Paris, Cedocar, 2000.

Hors série en deux volumes : *Propulsion, détonation, pyrotechnie. Une histoire des poudres entre 1945 et 1975*, par l'ingénieur général Toche. Paris, SNPE, 1995.

Ouvrages en préparation

Tome 12 : *Télécommunications, détection, guerre électronique, systèmes informatiques*.

Tome 14 : *Défense NBC*.

Note générale d'introduction

Le Comité pour l'histoire des armements terrestres (ComHArT) a été créé en 1986 et a poursuivi ses travaux depuis cette date, en s'efforçant de suivre le programme initialement établi par son premier président, l'ingénieur général Michel Marest. Celui-ci a défini l'esprit dans lequel devaient être élaborés les différents documents dans les lignes suivantes, écrites en décembre 1996:

Au milieu des années 1980, 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'état-major de l'armée dans l'élaboration des programmes d'armement, d'autre part du rôle de la DEFA (Direction des études et fabrications d'armement, puis DTAT, Direction technique des armements terrestres), des problèmes d'organisation et de moyens, des centres de recherche, 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'armes, 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, officiers généraux pour les thèmes où l'armée de terre a été 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 déterminantes 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 des actions aient été menées à leur terme (adoption et production) ou stoppées (analyse des échecs), mais également des actions engagées sur 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 pour des adaptations d'équipements français à des matériels étrangers en vue de l'exportation.*

Ingénieur général Marest

* * *

Notre regretté camarade n'a pu animer jusqu'à son terme la réalisation de cet ambitieux programme. D'autre part, les aléas de l'existence ont fait que plusieurs des sujets envisagés, et non des moindres, n'ont pu être traités dans les délais et les conditions prévues, et des réaménagements ont du être décidés. Enfin, le temps passant, il n'a pas paru opportun de se tenir strictement à la limite de 1975, d'autant que, pour les périodes les plus anciennes du créneau de temps initialement envisagé, il devenait difficile de faire appel aux témoignages directs des acteurs de l'époque.

Dans le plan général d'édition initialement établi, et tel qu'il figure en tête des premiers tomes édités, les Armements de petits et moyens calibres, objets du tome 8, sont confiés à l'ingénieur général Lesavre. Celui-ci a constitué son équipe de travail et réparti les tâches en trois sous-ensembles

- les petits calibres
- les moyens calibres
- les canons anti-aériens

La partie relative aux armes de petits calibres ayant pris du retard, il a été décidé de la confier à l'ingénieur général Michel Rogier, qui a effectué ce travail avec beaucoup de diligence. La partie traitant des moyens calibres est l'œuvre de l'ingénieur général Maurice Bailly.

Finalement, René Lesavre et le comité ont préféré ne pas réaliser un tome 8 unique, mais plutôt procéder à l'édition de trois fascicules séparés, signés de leurs auteurs respectifs. Le premier relatif aux petits calibres est du à l'ingénieur général Rogier. Le deuxième, qui traite des moyens calibre est l'oeuvre de l'ingénieur général Bailly. Le troisième fait l'objet du présent fascicule.

----- * -----

Présentation du fascicule

La défense antiaérienne par canons et armes automatiques

Le texte de cet ouvrage est redevable pour l'essentiel aux contributions de Claude LIBOIS et à leur exploitation par René LESAVRE.

Mais on a aussi utilisé les cours professés à l'ENSAR avant 1960 par les ingénieurs militaires JUND et JOYAU, et surtout les manuscrits laissés par Marcel DERAMOND qui traite des conduites de tir et plus particulièrement leurs composantes optiques, en entrant profondément dans les détails techniques de conception et de réalisation. Mais la mort ne lui a pas laissé le temps de mettre au point son ouvrage. En particulier la partie consacrée précisément aux viseurs et correcteurs destinés au tir anti-aérien est restée à l'état d'ébauche. Le Comité ne désespère pas, malgré la difficulté, de faire connaître un jour son remarquable travail, qui, de toute façon restera en l'état dans les archives du ComHArT. Mais étant donné l'importance de ces conduites de tir dans les systèmes de lutte anti-aérienne, on s'est permis de puiser dans ces esquisses, en se limitant toutefois aux grands principes, laissant éventuellement au chercheur la tâche d'entrer, avec Marcel DERAMOND, dans les détails techniques

La contribution de Michel de LAUNET consiste donc, pour l'essentiel, à la mise en forme des matériaux énumérés ci-dessus. Il a été aidé dans cette tâche par les conseils du général de Corps d'armée BILLARD, du général AUZANNEAU, de l'ingénieur général Jacques de BERNARDI . Il leur adresse ses remerciements.

Enfin, les auteurs et le Comité souhaitent exprimer toute leur gratitude à l'équipe du département d'histoire du Centre des hautes études de l'armement, à son chef, l'ingénieur général Jean-Pierre MOREAU, et tout spécialement à Patrice BRET, son secrétaire scientifique, qui supervise l'édition des documents, avec l'aide de Françoise PERROT.

Michel de Launet
Décembre 2006

Préface

En 1945, l'armée française a été réarmée par les USA. Elle dispose pour la lutte antiaérienne de matériels américains, depuis l'affût de mitrailleuse de 12.7 jusqu'au HAWK qui équipe les armées d'OTAN. De notre défaite de 1940 la France ne retient qu'un des aspects de la *blitzkrieg* menée par l'armée allemande : la prééminence du char, et ne note pas la puissance multiplicatrice du binôme char-avion. De plus la force potentielle de l'aviation tactique soviétique ne semble pas inquiéter outre mesure le corps de bataille allié en Europe. Pourtant, en 1944, c'est bien la suprématie aérienne qui emporte le succès de la reconquête. Certes le commandement compte sur l'efficacité supposée d'une défense aérienne à base d'avions, mais à quel prix ? Pendant toute la durée de la guerre froide une force aérienne tactique de front est développée et maintenue à un niveau de disponibilité par les armées du Pacte de Varsovie (6.500 avions de combat et 1.380 hélicoptères d'attaque). Les réflexions portent dans ce domaine sur les succès de l'armée vietnamienne qui réussit à interdire tout vol à basse (ou moyenne) altitude de l'aviation US. On préconise alors la LATTA où, en particulier sous l'impulsion du général DELAUNAY (CEMAT de l'époque) le nombre important de mitrailleuses et d'armes de petits calibre des forces de manœuvre sera utilisé pour contrebattre cette menace. Un système sol-air, le HAWK, a pu démontrer *une seule fois* son efficacité pendant la période de la guerre froide (au Tchad).

Depuis le début de la deuxième guerre mondiale, les progrès de l'avion avaient été spectaculaires : la vitesse et l'altitude de vol s'étaient considérablement accrues. La portée efficace utile de l'artillerie antiaérienne se réduisait au fur et à mesure que s'accroissaient les capacités de manœuvre et d'évasive des avions. Une étude technique du SHAPE concluait que « *la portée utile d'un canon est de 2.000 mètres, quel que soit le calibre* ». Malgré le développement de matériels tout à fait remarquables (canons et conduites de tir), force est de constater que l'artillerie est de plus en plus dépassée, et peu à peu s'impose l'idée qu'un système de défense contre avions à base de missiles autopropulsés guidés doit pouvoir protéger le corps de bataille. Ce sera le ROLAND... et une autre histoire.

Général de corps d'armée BILLARD

Sommaire

Chapitre 1 – Introduction

Chapitre 2 – Les matériels de DCA avant 1945 et pendant la guerre 39-45

Armes de tous calibres de la France, des alliés, des allemands –
La batterie de 75 Mle 32

Chapitre 3 – Les canons anti-aériens de gros calibre après-guerre

Le 90 US – Les développements de SFAC – Le PHF 90

Chapitre 4 – Les canons BOFORS de 40 et de 57

Evolution des 40L60 – Le correcteur de tir LPR – Le 57 marine
Le 40L70 et son poste de commandement

Chapitre 5 – Les moyens calibres de 1945 à 1958

Les canons de 20 mm et leurs affûts – L'affût Consortium – Le HSS 831
L'unité légère de DCA

Chapitre 6 – La défense anti-aérienne de 1958 à 1970

Les missiles Hawk, Crotale, Roland
Le bitube de 30 mm sur AMX 13 puis AMX 30 (tourelle SAMM)
Les canons de 20 mm (tourelles SAMM/TGS 530 et SAMM / TGS 521)

Chapitre 7 – Après 1970

Armes de 30 mm – Export de bitube de 30 sur AMX – Armes de 20 mm
Modernisation des affûts 53T1 et 53T2 – L'affût à pointage intégral –
Les tourelleaux -Le VADAR – Affûts de 20 mm pour l'armée de l'air –
Tourelleaux et tourelles de 20 mm - Lance-roquettes Javelot

Chapitre 8 – Epilogue

Tentatives d'exportation- Le Magic – Place du canon dans la Défense AA
Martha

PLANCHES (liste pages suivantes)

ANNEXES (liste page suivante)

Orientations documentaires

Index

Table des planches

Planche 1	La batterie de 75 mm modèle 32
Planche 2	Le matériel de 105 FLAK allemand et le Kommandogerät 40
Planche 3	Le temps mort de manœuvre
Planche 4	Pièce 90 US et son domaine d'efficacité
Planche 5	La batterie de 90 US et le poste central M 7
Planche 6	Canon SFAC antiaérien de 105
Planche 7	Projet SFAC de 90 Bitube
Planche 8	L'appareil de préparation de tir PHF 90
Planche 9	Radars de la batterie française de 90
Planche 10	Batterie de 40 L 60 avec poste M5
Planche 11	Pièce Bofors de 40 L 60
Planche 12	Le correcteur de tir LPR
Planche 13	Pièces Bofors de 57 L 60 et 40 L 70
Planche 14	Télépointeur calculeur pour 40 L 70
Planche 15	Affût quadruple pour mitrailleuse de 20 HS 404
Planche 16	Bitube HS 831 sur châssis AMX 13
Planche 17	Bitube HS 831 sur châssis AMX 30
Planche 18	Affût antiaérien tracté léger 53 T 2 Tarasque à pointage intégral
Planche 19	VADAR
Planche 20	76 T 2 Cerbère
Planche 21	Tourelleaux Toucan I et Toucan II
Planche 22	Javelot
Planche 23	<i>Le VDA et le système RA 20 –TA 20 d'Electronique Marcel Dassault</i>

Table des annexes

Annexe 1	Bref historique de la DCA jusqu'en 1945
Annexe 2	Les correcteurs de tir électro-mécaniques
Annexe 3	Le PHF 90 : principes de fonctionnement
Annexe 4	Service des études de Levallois (fin des années 40, années 50)
Annexe 5	Les correcteurs de tir Galileo
Annexe 6	Les fusées Pozit en 1954
Annexe 7	Chronologies parallèles des missiles et des canons)

Chapitre 1

Introduction

----- * -----

0101 La défense anti-aérienne avait déjà, avant et pendant la deuxième guerre mondiale, atteint un degré de sophistication significatif. A cette époque le seul moyen de lutte contre l'agresseur aérien était le canon, de plus ou moins gros calibre, et il se posait un problème bien spécifique : il s'agissait d'atteindre avec l'obus, objet ni guidé ni autodirigé, un autre objet mobile, l'avion, et donc ; à partir de la connaissance de la position actuelle de l'avion au départ du coup et de la balistique de l'obus, connue elle-même par les tables de tir, de déterminer la position future de l'avion, où, en principe, l'obus devait le rencontrer, et qui déterminait les paramètres de pointage de la pièce d'artillerie. Il faut faire ici une remarque importante concernant la position future de l'avion : après le départ du coup et pendant toute la durée de trajet de l'obus de la pièce jusqu'à la position future de l'avion, celui-ci continue à évoluer sans que cette évolution puisse être prise en compte dans la décision de pointage du canon. Il est donc nécessaire de faire une hypothèse : la plus naturelle ⁽¹⁾ est de supposer que l'avion va poursuivre sa trajectoire en ligne droite et à vitesse constante (seul le K40 allemand avait la possibilité d'introduire une correction dans le cas où la trajectoire serait manifestement suivant un cercle). Cette extrapolation déduisant l'avion futur de l'avion actuel est loin d'être négligeable : pour un avion volant à 150 mètres par seconde, ce qui est relativement lent (540 km/h) même pour l'époque d'avant guerre, et une durée balistique de l'obus de 3 secondes (à 3000 mètres, c'est un minimum) l'avion parcourt 450 mètres, ce qui le mettrait loin en dehors de la zone létale de l'obus. Tel était alors le problème majeur de la DCA, pour employer le terme désormais désuet – Défense Contre Avion – qui avait cours à l'époque et qui a été supplanté par Défense Anti-Aérienne. Ce problème devait persister dans les années d'après-guerre, avec, pour le résoudre, des techniques qui paraissent aujourd'hui bien antiques, puisqu'on ne disposait pas des moyens de calcul auxquels nous sommes désormais accoutumés, et que le radar n'en était encore qu'à ses débuts.

0102 Ce problème de détermination de l'avion futur devait disparaître avec l'arrivée des missiles, qui, téléguidés ou autoguidés, peuvent modifier leur trajectoire jusqu'à l'impact sur la cible, ou le passage à proximité de celle-ci. Les premiers missiles anti-aériens firent leur apparition vers 1960 avec le Hawk, mais ils étaient pressentis dès 1945, ce qui eut une influence déterminante sur les décisions de développements de canons. Ceux-ci, de toute façon, devaient se révéler insuffisants pour prendre à partie, à longue portée des avions volant de plus en plus haut et de plus en plus vite. La place des canons de DCA devait ainsi évoluer en fonction des mises en services de nouveaux missiles, tels que, pour se limiter aux matériels français,

¹ Un des soucis prédominants après-guerre était la défense contre des bombardiers opérant à haute altitude. L'hypothèse selon laquelle ils évoluaient en ligne droite et à vitesse constante avait été émise avant la guerre, mais elle avait été confirmée par l'expérience du conflit qui venait de s'achever

Roland, Crotale ou, plus récemment, Mistral. Ceux-ci font l'objet du tome 11 des documents du ComHArT rédigé par l'ingénieur général Didier BIENVENU. Nous n'en traiterons donc ici qu'épisodiquement, dans la mesure où ils interfèrent avec les développements des systèmes canons

0103 Mais revenons-en aux canons de Défense anti-aérienne (D.A.A.). Les missions qui leur sont imparties présentent une grande variété. Il y a l'attaque à grande distance d'avions évoluant à haute altitude ; son traitement était dévolu aux canons de gros calibres (75 mm et au-delà). Il y avait aussi la défense rapprochée, contre des avions hostiles relativement proches, voire très proches. Là s'est trouvé le domaine d'armes plus légères tels que canons automatiques de 20 et 30 millimètres. On a estimé parfois que les missiles devaient les éliminer de la panoplie des armements anti-aériens terrestres. L'expérience montre que, encore à la fin du vingtième siècle ils avaient encore conservé une utilité. Cela est manifeste encore aujourd'hui dans ce qu'il est convenu d'appeler l'autodéfense. Ces armes sont alors le plus souvent polyvalentes, utilisables aussi bien contre avions que contre blindés légers ... avec éventuellement des munitions adaptées à l'objectif.

0104 Les caractéristiques de ces armes de moyen calibre et le déroulement des programmes les concernant sont développés dans le fascicule du tome 8 du ComHArT consacrés aux armes de moyen calibre rédigé par MAURICE BAILLY. Nous n'aurons donc ici à compléter ces données que par ce qui est spécifique de leur emploi dans le combat anti-aérien, en particulier les conduites de tir ou la conception des affûts ou des tourelles.

0105 Quelles sont donc les autres contraintes imposées par la défense anti-aériennes rapprochée, étant entendu que le tir lointain a échappé à partir de 1960 au domaine des canons ? Il y a d'abord la vitesse de réaction. L'arme doit être en mesure de prendre à parti un aéronef hostile qui se démasque tardivement. D'où des affûts et des tourelles de plus en plus «nerveux». Il y a ensuite la recherche de cadence de tir élevée : l'avion, en effet, ne se trouve à portée que pendant un espace de temps très court. Intervient enfin la mobilité, puisque l'arme doit pouvoir suivre les unités de combat qu'elle est censée protéger. Cet aspect, évidemment, est évoqué dans le tome 6 des travaux du ComHArT (véhicules blindés et tactiques)

0106 Enfin –mais la liste est-elle exhaustive?- il convient de s'intéresser aux munitions adaptées aux objectifs traités, et cet aspect concerne d'ailleurs aussi bien les canons que les missiles. Ces derniers, comme juste après la guerre les canons de gros calibre (en fait 90 mm et 105 mm) sont capables d'emporter une charge militaire suffisante, telle qu'ils n'ont pas besoin d'aller jusqu'à l'impact sur leur cible, contrairement au obus de moyen calibre qui ne peuvent disposer de fusées de proximité et ne fonctionnent que par impact. Notons que toutes les armes dont il est question ici comportent dans leur munition une charge explosive. Les armes plus légères, telles que les mitrailleuses de 12.7, ne sont pas considérées⁽²⁾. Si elles ont pu encore avoir un rôle dans l'autodéfense jusqu'en 1939, les progrès réalisés par les avions à la fin de la guerre ont rendu leur utilisation tout à fait marginale. Toutefois il

² Le concept de LATA (lutte antiaérienne toutes armes) remet en cause cette assertion. Il est développé dans la thèse de M. Augustin citée en bibliographie. Toutefois ceci n'eut aucune incidence sur la conception des armements dont il est question ici.

ne faut pas oublier l'apparition d'une menace nouvelle avec l'hélicoptère. D'abord essentiellement moyen de reconnaissance et d'observation il fut vite doté d'armes offensives – canons, missiles antichars – et il opère à relativement courte portée, à basse altitude, ce qui lui permet d'utiliser le terrain pour ce masquer etc. ... C'est une arme des Armées de Terre, et non des armées de l'Air, mais avec des caractéristiques particulières.

0107 On a donc noté que l'évolution des armes antiaériennes a été fortement conditionnée par le développement des missiles. Simultanément, d'une part ces armes ont mis à profit des progrès technologiques et sont devenues plus performantes, et d'autre part les avions hostiles, avec leurs armements ont eux aussi considérablement évolué, tant dans leurs performances aérodynamiques (vitesse, capacité de manœuvre,...) que par leurs armements d'attaque au sol. Dans les années précédant la deuxième guerre mondiale, les avions volaient à des vitesses de 500 à 700 km/h ; l'altitude maximum de vol plafonnait entre 6000 et 8000 mètres pour les avions à moteurs à pistons. L'arrivée des réacteurs à la fin de la guerre (fin 1944) a permis des vitesses supersoniques pouvant atteindre 1 700 km/h et les altitudes maximales de vol ont progressivement été multipliées par un coefficient de l'ordre de 2. Pour des avions à basse altitude (au dessous de 2 000 mètres) les vitesses plafonnaient toutefois vers 1 000 km/h ; et leurs efforts devaient surtout porter sur des possibilités de tir à plus grande distance de la cible.

0108 Le canon restait donc en 1945 le seul moyen de feu de défense sol-air, mais l'évolution de la menace durant le conflit avait conduit à augmenter

- la puissance balistique des canons (calibre, vitesse initiale) pour élever le plafond d'intervention
- l'efficacité des interventions en terme de probabilité de destruction

Il a fallu pour cela s'intéresser à la justesse des tirs (dispositifs de pointage, télécommande des affûts) , à l'automatisme et à la cadence des tirs, à l'efficacité terminale des obus (capacité en explosif et organisation des fusées) . Les fusées fonctionnant par impact pour les moyens calibres ont été rendues plus sensibles. Pour les gros calibre, les projectiles étaient équipés de fusées à temps, ce qui nécessitait une connaissance de la distance de la cible, sujétion qui fut levée à la fin de la guerre grâce aux fusées de proximité électromagnétiques.

0109 Ces diverses considérations nous imposent dans une certaine mesure l'ordre dans lequel aborder la description de ces armements. Nous commencerons donc par la modernisation des canons de gros calibre, qui devaient être les premiers éliminés par les missiles HAWK, alors d'ailleurs qu'ils devenaient inefficaces contre les avions modernes. Les techniques mises en œuvre pour eux relèvent, peut-on dire, de l'histoire ancienne. Aussi leur laissera-t-on une place importante, plus grande en tout cas que celle à laquelle leur importance dans le temps devrait logiquement conduire.

0110 Il a paru utile de consacrer un chapitre au rappel de la situation des armements anti-aériens avant la guerre et à ceux qui furent en service jusqu'en 1945. C'est l'objet du chapitre 2. Certains, les matériels de 90 mm et 40 mm des alliés en particulier, furent en service dans l'armée française, et constituèrent après la libération l'ossature des moyens de notre défense anti-aérienne. Ils servirent aussi aux services français de point de départ pour une révision et un aménagement de

nouveaux équipements souhaités par l'Etat-major. Les objectifs suivants ont alors été fixés :

- analyser et combler l'hiatus (*gap*) existant entre les armements antiaériens de 1939 et ceux correspondant aux techniques et aux besoins de 1945.
- évaluer les matériels américains
- évaluer et utiliser à court terme les meilleurs matériels allemands récupérés : relevé des tracés du 88 FLAK/PK41 par l'APX et l'ARE, et du 105 FLAK par l'ABS et l'ATS
- reconstruire des moyens d'étude dans le domaine du pointage, des conduites de tir, des calculateurs, des télécommandes et des affûts

0111 La DEFA confia le pilotage de ces études au service Technique de Défense Antiaérienne (ST/DCA) dirigé par l'ingénieur général JUND, responsable d'ensemble, et qui s'appuyait

- d'une part sur les bureaux coopérants par spécialité technique, notamment le bureau Artillerie (ST/ART) de l'ingénieur général CAROUGEAU, qui intervenait dans la définition des artilleries proprement dites et des munitions de 40 mm et 105 mm, et aussi le Bureau Optique (ST/OPT) pour la conception des conduites de tir

- d'autre part sur un établissement de la Direction, la Manufacture d'Arme de Levallois (MLS) et son service études dirigé par une équipe d'ingénieurs, dont Joyau, Rouiller, Libois, Samuel, Robelus, Burnichon, Migaux, Cornevaux, La MLS devait fusionner avec l'Atelier de Puteaux, lequel devait plus tard être intégré à l'AMX.

- enfin sur d'autres établissements de la DEFA, les Ateliers de fabrication de Bourges (ABS), du Havre (AHE), de Roanne (ARE) , de Tarbes (ATS) , la Manufacture d'Arme de Tulle (MAT). De son coté la Section d'Etude et de fabrication des Télécommunications (SEFT) apporta son concours pour le développement des éléments électroniques (radars, calculateurs).

0112 Les industries privées furent également mises à contribution, ou même ont proposé leurs propres initiatives, que ce soit au niveau des systèmes: SAGEM, SCHNEIDER, ELECTRONIQUE MARCEL DASSAULT ; SAMM (Société d'Application des Machines Motrices), : PRECISION MODERNE,.... soit au niveau de sous-ensemble et équipements OPL, SOM..... Il ne faut pas non plus négliger l'apport des sociétés étrangères BOFORS ou encore HISPANO-SUIZA et OERLIKON. L'historique des sociétés Hispano-Suiza et Oerlikon est résumé par MAURICE BAILLY (pages 14 à 18 du titre *Armes de moyen calibre*).

----- * -----

Chapitre 2

Les matériels de DCA avant et pendant la guerre 1939-1945

----- * -----

- 0201 Jusqu'en 1945, la défense contre avions basée au sol (DCA) comportait
- soit des canons de relativement gros calibre, supérieur ou égal à 75 mm. La conduite de tir, centralisée par batterie de 4 ou 6 pièces, était déjà sophistiquée en 1939 dans la plupart des pays belligérants. Elle assurait à chaque instant la mesure de la distance et des coordonnées sphériques de l'avion ennemi, en déduisait sa position en coordonnées rectangulaires et son vecteur vitesse, puis calculait la position de l'avion futur ainsi que le gisement et le site de chacun des canons de la batterie, et enfin déterminait le *tempage* de la fusée détonateur
 - soit des canons de moyen calibre, du 57 mm au 12,7 mm, équipés de dispositifs de visée plus sommaires – collimateurs ou grilles avec œillette de visée, mais aussi quelquefois de correcteurs plus complexes, comme le correcteur LPR (Le Prieur-Ricordel) de la Précision Moderne (PM), montés en 1939 sur la mitrailleuse anti-aérienne Hotchkiss de 25 mm

Les canons de gros calibre

- 0202 Pendant la première guerre mondiale, la DCA en était restée au stade embryonnaire. Et cela malgré les premières réflexions menées dans ce domaine, principalement sous l'impulsion du général PAGEZY. Mais dès 1925, on s'était préoccupé de la question, et devant l'augmentation des vitesses et du plafond des avions on avait songé à accroître la zone d'action des matériels d'artillerie en augmentant leur vitesse initiale. Des tubes de 75 allongés permettant d'obtenir une vitesse de 700 mètres par seconde avaient été étudiés par l'Atelier de Levallois, ce qui avait conduit à l'adoption d'un matériel, le 75 modèle 1928 à frein de bouche G.B. Diverses études furent ensuite entreprises à partir de ce canon, et c'est la solution réalisée par l'Atelier de Bourges (ABS) qui fut en fin de compte adoptée sous la désignation 75 anti-aérien modèle 32, dont il sera question dans ce qui suit.
- 0203 Par ailleurs les Etablissements SCHNEIDER étudiaient une plateforme à quatre flèches, dont une formant timon pour les déplacements. Ce matériel, équipé de la masse oscillante du 75 modèle 28 de Puteaux, fut adopté à son tour sous le nom de 75 C.A. modèle 33. Ces mêmes établissements Schneider, qui avaient réalisé pour la Marine vers 1932 un canon de 90 mm, développèrent vers 1936 une version terrestre de ce matériel qui fut adopté sous le nom de 90 C.A. modèle 40, et mis en commande en grande série aux ateliers du Havre (AHE) après les nationalisations de 1937. Mais à l'armistice, sept batteries seulement avaient été réalisées

0204 Les principaux canons utilisés en France avant 1939 étaient donc de calibre 75 mm. Ils tiraient avec une vitesse initiale de 900 mètres par seconde, à une cadence de 12 à 20 coups par minute, selon les modèles. Ces matériels, pourtant déjà bien évolués pour l'époque, étaient en nombre trop faible, et on ne put guère se faire une idée de leur efficacité réelle durant les hostilités. Et, bien évidemment, l'activité d'étude en DCA devait, après l'armistice, être mise en sommeil, alors que les belligérants allemands, britanniques ou américains s'efforçaient de faire progresser la qualité de leurs moyens anti-aériens au fur et à mesure que l'arme aérienne de leurs adversaires respectifs se perfectionnait. Signalons donc

- aux USA, le 90 mm M1A1 dont il sera question plus loin et un 119,4 mm
- en Grande-Bretagne, le 94 mm (3,7 pouces)
- en Russie, le 85 mm

0205 De leur côté, les allemands disposaient (cf. planche 2)

- du 88 mm FLAK 36, du 105 FLAK 39, du 128 mm FLAK 40
- d'un canon de 88 mm FLAK 41 qui avait la double capacité anti-aérienne FLAK (Flugzeugabwehrkanone) et anti-char PAK (Panzerabwehrkanone)
- ils possédaient aussi un 240 mm FLAK sur voie ferrée

Ces canons étaient associés à une conduite de tir, la Kommandogerät 40, plus brièvement désignée par K40, entièrement électromécanique, tout comme, d'ailleurs, les matériels homologues des alliés ⁽³⁾

Les armes de petit et moyen calibre

0206 Pour les calibres plus petits, on utilisait en France au début de la guerre

- les mitrailleuses de 12.7 et 20 mm pour la défense très rapprochée
- des canons de 25 et 50 mm pour la défense rapprochée

Le canon de 25 mm français constituait l'armement le plus significatif. Il avait été mis au point entre 1932 et 1933 par la société HOTCHKISS, puis amélioré en 1939. Il fut adopté sous le nom de 25 CA modèle 40. Il avait une vitesse initiale de 900 m/s et une cadence de 225 coups/minute

0207 Par ailleurs, sous la pression des événements, la France avait adopté le canon de 20 mm OERLIKON, et en avait commandé en Suisse 400 exemplaires

0208 Du côté des alliés, il faut mentionner les canons de la firme suédoise BOFORS. Américains et Britanniques utilisaient le canon de calibre 40 mm et de longueur de tube 60 calibres (40L60). Sa vitesse initiale était de 850 m/s pour un obus de 890 grammes pour 68 grammes d'explosif. Le modèle d'origine était tracté (affût d'environ 2.500 kg) et servi par deux pointeurs utilisant des grilles pour la correction de tir. Dès 1936, l'Amirauté britannique avait équipé ce canon d'une commande électro-hydraulique M1 permettant des vitesses angulaires de pointage d'environ 20 degrés par seconde, ainsi que d'une commande à distance par poste optique et calculateur. En 1942, les USA construisaient pour ce canon une télécommande

³ Les conduites de tir allemandes furent les K35, K40, etc.... toutes sur le même principe. La K40 est la plus connue. On en trouvera une description détaillée dans le cours de Jund cité en bibliographie. Elle est évoquée dans l'Annexe 2

hydraulique M3 plus rapide (environ 30 degrés par seconde). Ce canon se trouvait en nombre important dans les forces alliées, et plusieurs centaines furent cédés à France à la fin de la guerre. Nous en reparlerons au chapitre 5. Par ailleurs, des affûts simplifiés du point de vue chariot furent réalisés de façon très économique en Grande-Bretagne pour la défense des aérodromes. Ces affûts Mark III équipés de pneus pleins ne permettaient qu'une vitesse de déplacement limitée à 20 km/h au lieu de 60 km/h.

0209 En Allemagne, les armes utilisées furent les canons de 20, 37 et 50 mm FLAK (Flugzeugabwehrkanone)

La batterie de 75 mm modèle 32 (Planche 1)

0210 En septembre 1938, au moment de l'alerte de Munich, des batteries de canons anti-aériens de 75 mm M^{le} 32 furent répartis dans les forts entourant Paris. Il peut être intéressant de décrire ces batteries, pour donner un aperçu des matériels utilisés à l'époque, en particulier de leurs conduites de tir. Elle comportait :

- un poste d'écoute, dont le détecteur acoustique était constitué de quatre cornets disposés en moulin à vent et distants l'un de l'autre de quelques mètres. L'axe commun de ces capteurs était orientable en gisement et en site par un montage type théodolite. Ainsi le poste d'écoute permettait une poursuite approchée de la cible. Il manquait évidemment de précision, mais, en 1938, c'était le seul moyen de détection tous temps dont on disposait ;

- un poste optique, avec sa lunette 12 x 70 montée aussi en théodolite. Il pouvait recevoir le gisement et le site donné par le capteur acoustique, affinait leurs valeurs si l'état du ciel le permettait, transmettait à son tour au télémètre le gisement et le site de la cible et la désigner ainsi au télémétreur

- un télémètre stéréoscopique de base 3 ou 4 mètres et de grossissement 25 monté sur un pied, il était orientable en gisement et site de manière à pouvoir poursuivre la cible et mesurer sa distance

- un calculateur central, qui recevait les informations gisement, site et distance en provenance du poste d'écoute ou du poste optique et du télémètre, puis les transformait en élément de tir pour les pièces d'artillerie. Il tenait compte aussi de la parallaxe de chacune des pièces de la batterie et des données balistiques (hausse, durée de trajet, vitesse du vent,). Les éléments de tir sont le gisement et le site du canon, mais aussi le *tempage* de la fusée à temps, dont le but était de provoquer l'éclatement de l'obus après le départ du coup au bout d'un temps calculé comme étant celui du passage du projectile à proximité de sa cible. Ce *tempage* devait être réalisé avant l'introduction de la munition dans le tube, ce qui impliquait un délai supplémentaire, appelé *temps mort de manœuvre*. Il s'agissait du délai nécessaire pour régler la fusée à temps, d'introduire la munition dans le canon et de fermer la culasse. Le temps d'extrapolation que devait prendre en compte le calculateur de tir était augmenté d'autant.

0211 La conception des calculateurs utilisés (mécanique ou électrique) était due à M. RIBEROLLES. Les calculs étaient effectués de manière analogique, par des dispositifs entièrement mécaniques. On en trouvera la description détaillée de tels calculateurs dans le cours de JUND cité en bibliographie, et on donne en annexe 2

quelques indications sur les dispositifs employés aussi bien d'ailleurs pour le poste associé à batterie de 75 M^{le} 32 que dans le poste allemand K40 ou encore le M7 américain dont il sera question au chapitre suivant. Le volume de ce calculateur d'avant-guerre était de l'ordre du mètre cube. Les résultats des calculs étaient transmis aux pièces ou à la table traçante sous forme de tensions électriques lues sur des voltmètres. Les commandes en gisement et site des canons étaient obtenues soit par moteurs, soit manuellement, en fonction des indications des voltmètres récepteurs. Il n'y avait pas de commande par asservissement.

Tir indirect et tir direct.

0212 Cette conduite de tir, en ce début du XXI^{ème} siècle, soit 70 ans plus tard, peut paraître archaïque et prendre beaucoup de place. Pourtant elle présente un avantage de principe si naturel qu'il pourrait passer inaperçu : celui de disposer d'une visée et d'une élaboration du pointage indépendantes des mouvements du canon. Les spécialistes de DCA considèrent qu'il s'agit alors de *tir indirect* : le pointeur n'utilise aucun instrument de visée fixé sur l'affût ou la masse oscillante. Pour ces spécialistes, dans le cas contraire, il s'agit de *tir direct*. Le pointeur utilise alors un instrument de visée fixé sur l'affût du canon, et deux cas peuvent se présenter

1- la visée est rendue, malgré cette fixation, indépendante du canon, par exemple en la gyrostabilisant, ce qui «l'accroche aux étoiles», ou encore en imprimant au viseur une contre-rotation en gisement s'il est fixé à l'affût, ou deux contre-rotations (en gisement et site) s'il est fixé sur la masse oscillante (cas du viseur LPR du 40L60 modernisé en 40AA 39-55). Cette fois on accroche la visée à la terre. Le résultat est alors tout à fait équivalent à celui du tir indirect.

2 – la visée reste liée au canon, et contrairement aux deux cas précédents, subit les déplacements du canon.

Dans ce premier cas de tir direct, et comme dans la visée indirecte, le suivi de la cible par le tireur, nécessaire pour obtenir la tachymétrie angulaire, n'est pas perturbée par les mouvements du canon, en particulier par le décalage entre le canon et la ligne de visée du à la correction-but. On évite ainsi tout « pompage ».

0213 On constate que dans une telle batterie anti-aérienne de 75 mm d'avant-guerre, la conduite de tir était essentiellement assurée par des composants optiques

- le poste optique pour la détermination du gisement et du site
- et surtout le télémètre stéréoscopique de grande base et de fort grossissement, instrument de très haute précision et d'un prix élevé. Malgré cela, il était nécessaire de le régler en distance au moyen d'une mire.

----- * -----

Chapitre 3

Les canons anti-aériens de gros calibre après guerre

----- * -----

0301 Pour prendre à partie à longue distance et à haute altitude des avions ennemis, l'armée française ne disposait après la deuxième guerre mondiale que des canons américains de 90 mm. Ils devaient constituer, avec les 40 mm BOFORS dont il sera question au chapitre suivant, l'ossature de l'artillerie anti-aérienne de nos forces terrestres jusqu'à l'apparition des premiers missiles

La batterie de 90 US (Planches 4 et 5)

0302 La batterie de 90 mm DCA M1 A était composée de quatre pièces, d'un appareil de préparation de tir M7 (A.PT-M7), d'un radar SCR 584 et d'un altitélémètre M1. Les canons américains furent cédés aux Français à partir de novembre 1943, mais en fait ces derniers ne reçurent que très progressivement les radars SCR 268 et SCR 584 ⁽⁴⁾. Le canon lui-même était construit par Wheeland Chevrolet et Oliver, et l'appareil de conduite de tir par Sperry Gyroscope et Ford Motor. Le matériel était lourd - 8,6 tonnes sur un seul essieu - long à déplacer et à mettre en œuvre. Les canons de la batterie étaient télécommandés à partir d'un poste de calcul, d'abord électromécanique (PC-M7) puis électronique à la fin de la guerre. Le canon tirait avec une vitesse initiale de 820 m/s, le chargement était manuel et la cadence ne pouvait guère dépasser 15 coups par minute. Le projectile de 10 kg pouvait atteindre des avions volant à 8.000 mètres d'altitude. Un aperçu plus complet des caractéristiques de la pièce d'artillerie fait l'objet des planches 4 et 5.

0303 L'efficacité résultait de l'effet des éclats ⁽⁵⁾ et le projectile était conçu en conséquence. Il était équipé d'une fusée fusante qui déterminait l'éclatement de l'obus au bout du temps calculé comme étant celui de la rencontre avec la cible. Ce temps était obtenu grâce à un mouvement d'horlogerie ⁽⁶⁾. Vers la fin de la guerre, on utilisa des fusées de proximité, dite encore fusées à influence ou encore fusée *pozit*⁽⁷⁾,

⁴ Les américains n'avaient commencé à équiper leurs propres unités en matériel d'artillerie de 90mm que vers la fin de 1941. Les groupes français de 90 ne toucheront leurs premiers radars qu'en 1945, deux ans après les unités américaines.

⁵ On considérait que l'effet de souffle était inopérant

⁶ Le *tempage* de la fusée fut très vite réalisée par des dispositifs chronométriques d'horlogerie, les systèmes pyrotechniques se révélant trop imprécis pour l'usage antiaérien. Les premières fusées de proximité utilisées par l'armée française seront des fusées américaines montées sur les obus des canons de 90 mm US et qui avaient été mises au point au cours de la guerre 39-45

⁷ La dénomination de ces fusées de proximité la plus répandue à l'époque est celle donnée ici : fusées POZIT. Toutefois Pierre David, lors d'une communication devant l'académie de marine le 7 novembre 1945

mises au point d'abord, précisément pour le tir anti-aérien, avant d'être utilisée pour le tir fusant au sol. Ces fusées permirent d'augmenter significativement l'efficacité du tir. Une statistique américaine donne les chiffres suivants

- un avion abattu pour 364 coups avec fusées *tempées*
- un avion abattu pour 233 coups avec fusées *pozit*

Elles présentaient aussi l'avantage de réduire très sensiblement le *temps mort de manœuvre*. Néanmoins la possibilité de prendre en compte celui-ci fut conservé dans les équipements d'après-guerre : on la trouve encore dans le PHF 90 adopté en France en 1952. Au sujet de ce *temps mort de manœuvre*, et la façon dont il était traité avec les canons américains, comme d'ailleurs avec les canons allemands, on se reportera à la planche 3.

- 0304 Les batteries de 90 US furent utilisées pendant le conflit algérien pour contrôler la frontière tunisienne, donc pour le tir sol-sol. Elles furent réformées et détruites lors du retour en France. Elles étaient donc en service jusqu'en 1960, mais leur utilisation avec la nouvelle conduite de tir de DCA fut inexistante.

Les études françaises de nouveaux canons

(Planches 6 et 7)

- 0305 Dès 1945, la DEFA entreprenait l'étude d'un nouveau système antiaérien équipé de canons automatiques de gros calibre : des bitubes de 90 mm et 105 mm nouveaux modèles. Cette décision s'explique ainsi

- l'armée française disposait de nombreux canons de moyen calibre, surtout des 40L60 BOFORS, en provenance de l'armée US. Elle ne ressentait donc pas d'urgence pour ce type de matériel

- l'aboutissement de l'étude de missile PARCA n'était envisagé qu'à relativement long terme, et par suite, pour la défense à longue portée on ne pouvait compter que sur les canons de 90 mm américains

La DEFA fit donc étudier par la SFAC (Société des Forges et Ateliers du Creusot, groupe SCHNEIDER)

- à partir de 1948 un canon automatique de 105 mm. Les prototypes furent terminés en 1953, mais l'étude ne fut pas poursuivie ;

- à partir de 1951, un canon bitube de 90 mm. Les prototypes, puis les essais de tir et de télécommande furent réalisés et terminés en 1955.

- 0306 Avec le matériel de 105, on cherchait à accroître par rapport au canon américain le domaine d'action. Déjà les allemands avaient senti le besoin de progresser dans ce domaine par rapport à leur matériel de base qu'était le 88 FLAK, et ils avaient mis en service à la fin des hostilités un 105 FLAK. Le matériel de 105 dont l'étude était confiée à la SFAC après guerre tirait sensiblement à la même vitesse initiale que le matériel allemand, soit 800 m/s, un projectile de 18 kg au lieu de 15 kg pour le matériel allemand. Bien qu'il eut le même calibre et la même vitesse initiale, le matériel français projeté était cependant beaucoup plus puissant, car les durées de trajet du projectile étaient nettement plus faibles par suite d'un meilleur coefficient balistique de celui-ci. Il était organisé pour pouvoir être alimenté automatiquement

les appelle *radio proximity fuse*, soit plus brièvement *PROXIT*. On trouve aussi la désignation *fusées à influence*.

par les deux cotés de la bouche à feu, grâce à deux énormes barillets qui contenaient chacun dix cartouches de 105 mm. On espérait ainsi obtenir un sérieux accroissement de la cadence de tir qui était prévue de 30 coups par minute alors que le canon allemand n'en tirait que 8 à 10. Quant à l'affût, selon ce qu'en rapporte l'ingénieur en chef JUNG en 1949, il était envisagé qu'il soit triflèche, de façon à permettre une mise en batterie et une sortie de batterie très rapide, de l'ordre de 20 minutes. Pour arriver à ce résultat avec un matériel aussi lourd, il était nécessaire de faire appel à des moyens mécaniques et on avait prévu pour la commande des vérins de mise en batterie un moteur hydraulique. L'énergie de ce moteur devait être fournie par un moteur à essence individuel. Ce moteur était ensuite utilisé pour la télécommande. Celle-ci comportait un système d'affichage du genre *Selsyn* asservissant le moteur hydraulique. Les vitesses de pointage prévues étaient

- en direction 30 degrés par seconde
- en site 15 degrés par seconde

Le poids du matériel devait être très élevé étant donné l'énergie à la bouche, et il était prévu de 13 à 15 tonnes.

0307 Les études conduisirent en 1953 à la réalisation d'un matériel complet, de portée horizontale 17 km et dont le plafond pratique était de 9.500 mètres. Ce matériel est présenté sur la planche 7, mais il y apparaît que l'on n'était pas parvenu à réaliser l'affût tel qu'il était envisagé. De toute façon cette pièce fut soumise à des essais de tir à l'ETBS, mais l'expérimentation ne fut pas poussée à son terme. Ce matériel en effet fut jugé *«compliqué et peu mobile, susceptible d'être utilisé seulement en défense semi-fixe des points sensibles du territoire. Le besoin se faisait donc sentir de disposer d'un matériel plus léger, plus mobile et moins complexe»* ⁽⁸⁾. Ce fut l'objectif ambitionné pour le canon de 90 bitube.

0308 Ce matériel bitube de 90 mm résultait d'une évolution entreprise dès 1948 et qui devait aboutir à la définition d'un équipement en 1951. En effet la DEFA avait demandé à la Société des Forges et Ateliers du Creusot (SFAC), du groupe Schneider, par lettre du 17 septembre 1948 (44 94 ST/ART), d'établir un avant projet de *«matériel de 90 mm DCA bitube sur affût automoteur à chenille»*, et dont la masse ne devait pas excéder 15 tonnes ⁽⁹⁾. La SFAC établissait alors un projet utilisant un châssis du char AMX 13 ⁽¹⁰⁾, mais ne parvenait pas à satisfaire toutes les spécifications. Finalement, il fut décidé de renoncer au châssis automoteur chenillé d'une part, et d'autre part de se contenter d'une vitesse initiale de 820 m/s en utilisant la munition américaine de 90. La seule amélioration recherchée sur le plan opérationnel était donc l'augmentation de la cadence de tir qui devait atteindre 110 coups par minute pour l'ensemble des deux tubes, avec un magasin contenant 58 coups. La décision de lancer l'étude intervint en 1951 ⁽¹¹⁾. Le poids de la pièce en

⁸ Citation tirée du rapport justificatif joint à la lettre du 6 juin 1951 demandant l'établissement d'un marché de régularisation destiné à couvrir les *« dépenses engagées chez SFAC pour différents avant-projets »*

⁹ *« Matériel de 90 mm tirant un projectile de 23,230 kg environ à une vitesse initiale de 1 000 m/s, avec une cadence de tir élevée et monté sur affût automoteur pouvant passer sur un pont militaire »* (avant projet SFAC du 10 janvier 1949). Il y a à l'évidence une confusion sur le poids du projectile. Il s'agit sans doute du poids total de la munition.

¹⁰ A l'époque le projet du char de 12 tonnes étudié à l'AMX, qui devait devenir l'AMX 13

¹¹ Note 2645-EMA-G-ARMET du 19 février 1951

ordre de route atteignait 18 tonnes. Ce matériel fut conduit jusqu'à l'état de prototype et les essais de tir et de télécommande furent réalisés. Un aperçu de ce matériel se trouve sur la planche 8, sous une forme proposée par le constructeur avec un système d'alimentation qu'il avait breveté pour porter la capacité en magasin à 80 munitions au total (¹²).

0309 Finalement on renonça au début des années 60 à l'un et l'autre de ces matériels, trop lourds et trop complexes. Certains les qualifièrent de «*délice d'ingénieurs*». Des témoins se rappellent les avoir vu à Bourges, et ont pu encore les apercevoir alors qu'ils étaient à quai prêts à être envoyés vers une destination inconnue. Là on perd leur trace: ils ont sans doute été détruits. Il convient de noter que, à la même époque, la Direction Technique des Construction Navales (DTCN) étudiait un canon de 100 mm en tourelle, qui fut fabriqué en série (¹³). Les munitions destinées à ce canon sont toujours produites par GIAT-Industrie au début du XXI^e siècle (cf. Catalogue Satory 2004). Mais ce qui est possible sur un matériel naval, en particulier le système d'alimentation automatique, ne l'est guère pour un matériel d'artillerie de campagne de l'armée de terre

Les nouvelles conduites de tir – Le PHF 90 (Planches 8 et 9)

0310 Simultanément il fut confié à la Manufacture de Levallois (MLS) l'étude d'une nouvelle conduite de tir susceptible de servir pour ces nouveaux canons, mais aussi de remplacer la conduite de tir des batteries de 90 mm américaines. Elles devaient comporter des éléments nouveaux, mais conserver la conception d'avant-guerre. C'est le Service Central Optique de l'administration centrale de la DEFA qui établit, vers 1946, le programme technique. A cet effet, deux télémètres stéréoscopiques prototypes de grande base furent étudiés et réalisés, l'un de 5 mètres de base par la SOM HP, l'autre de 8 mètres par OPL. Ils devaient être montés sur une tourelle alti-téléométrique qui fut réalisée par OPL et qui fut expérimentée en 1951 à l'établissement de Toulon (ETTN). Malgré de bons résultats, elle ne sera pas adoptée, pas plus que le poste optique de DCA commandé à OPL en même temps que la tourelle. Il en sera de même de l'appareil de préparation de tir (APT) étudié par la MLS en essayant de reprendre en les améliorant, avec le concours de M. RIBEROLLES, les principes de l'appareil d'avant guerre (¹⁴), qui étaient aussi ceux de la tourelle M7

¹² On trouve au Centre d'Archives de Chatelleraut plusieurs documents relatifs à ce canon, la plupart d'origine Schneider

¹³ Le canon de 100 mm Marine a été fabriqué par Creusot Loire Industrie, qui devait plus tard être réuni à GIAT Industrie. Il est entièrement automatique, l'alimentation étant assurée depuis la soute. La munition, en position verticale est transférée de la soute à la tourelle suivant l'axe de rotation de celle-ci, puis un quart de cercle l'amène dans l'axe des tourillons, ce qui permet de la transférer sur la masse oscillante. Un nouveau quart de cercle, solidaire de cette dernière, l'amène dans l'axe du canon, et le refouloir l'introduit alors dans la chambre.

¹⁴ CLAUDE LIBOIS porte un jugement sévère sur les premières réalisations de cet APT entièrement mécanique : *Tout était réuni pour causer une instabilité de ces servomécanismes. Lors des premiers essais globaux de ce prototype, tous les asservissements se mirent à battre dans un grand bruit, et les pignons coniques furent arasés en quelques heures.*

américaine. Entre temps en effet les résultats obtenus par le radar COTAL et le calculateur PHF 90 avaient rendu obsolètes les équipements de conception ancienne. Ce sont pourtant ces équipements qui furent réalisés pour les essais de la nouvelle conduite de tir française des batteries de 90 mm avec des canons US, au Kreider, un champ de tir situé à Bou-Ktoub sur les hauts plateaux de l'Atlas, à environ 200 km au sud d'Oran. On pourra trouver dans les travaux de Marcel DERAMOND les descriptions détaillées de ces matériels optiques. Ils ne furent donc pas retenus, mais cet abandon conduisit, après 1950, à des études de postes optiques simplifiés, et, après un choix parmi les différentes options, à la fabrication de 150 exemplaires environ.

0311 Les américains avaient donc livré aux français des batteries comportant un appareil de préparation de Tir M7, dont la conception ne constituait pas un progrès sensible par rapport à ceux connus avant guerre. Ils avaient par ailleurs réalisé un appareil de préparation de tir plus moderne, le M9, mais les batteries françaises n'en furent jamais équipées. Tout au plus y en eut-il un à l'Ecole d'Application de Nîmes, et il se révéla alors d'un usage plutôt difficile⁽¹⁵⁾. Le besoin se faisait donc sentir de doter nos batteries anti-aériennes d'un matériel de préparation de tir utilisant des techniques plus récentes. Quant aux radars, il apparut rapidement qu'ils pouvaient faire l'objet d'améliorations sensibles, et d'ailleurs nous avions là l'opportunité de développer dans notre industrie un premier matériel et d'acquérir ainsi la maîtrise des technologies nécessaires. Ce fut l'objet du développement qui devait conduire au radar COTAL. Les américains acceptèrent de soutenir financièrement ce projet. Mais il en sera abondamment dans le tome 12 des travaux du ComHArT sous la plume de Paul ASSENS, ainsi que du radar d'acquisition ACAL. Nous nous limiterons donc ici à la description de l'appareil de préparation de tir, le PHF 90, dont l'étude fut entreprise dès la fin de la guerre, parallèlement à celle dont il a été question au paragraphe précédent.

0312 Il s'agissait d'un calculateur analogique utilisant pour représenter les éléments physiques du tir des grandeurs électriques ou mécaniques. Mais alors que jusqu'à cette date on n'avait utilisé que du courant continu ou de basse fréquence (50 ou 1000 Hz) pour effectuer les calculs, la nouvelle technique utilisait un courant à haute fréquence (472 KHz). Les fonctions linéaires, sinusoïdales, balistiques ou autres étaient introduites dans le calcul au moyen de condensateurs cylindriques d'une conception originale assurant une haute précision (de l'ordre de 10^{-4}) et de haute stabilité (de l'ordre de 10^{-5}). Il n'y avait pas de tubes électroniques dans les chaînes de calcul, mais seulement dans les éléments annexes: générateur de haute fréquence, amplificateurs d'asservissement, Diverses maquettes fonctionnelles furent réalisées et expérimentées en laboratoire, et, en 1950, un projet d'appareil de conduite de tir pour canons de 90 US était établi à la Manufacture de Levallois. Le principe de ce calculateur est exposé dans l'Annexe 3. Les coordonnées sphériques de l'avion introduites dans le calculateur depuis le radar et/ou les appareils optiques

¹⁵ L'appareil M7 ne permettait pas de tirer efficacement (en tir continu d'accompagnement) sur des avions dépassant 150 m/s. L'appareil M7 modifié (M7 A1 B1 ou M7 A1 B2) permettait de tirer sur des avions atteignant 180 m/s. Les appareils M7, modifiés ou non, ne commençaient à extrapoler qu'en deça d'une distance horizontale de 14 400 mètres. Cette limitation entraînait une limitation de la zone d'action balistique du canon. Quant à l'appareil M9 qu'avait reçu l'école de Nîmes, il ne paraissait guère opérationnel : seul un des instructeurs parvenait à le faire fonctionner (témoignage du général Billard)

étaient transformées en coordonnées cartésiennes. Un système dérivateur asservi en déduisait les composantes du vecteur vitesse de l'objectif visé, à partir desquelles on déduisait le vecteur d'extrapolation et par suite les ordres de pointage des pièces, en tenant compte des parallaxes.

0313 Le calculateur était placé dans une semi-remorque qui était agencée de telle sorte que l'officier de tir pouvait depuis là diriger les quatre pièces de sa batterie. Le PHF 90 était donc aussi un poste de commandement. Un traceur de route à tube cathodique indiquait à tout instant les positions de l'avion actuel et de l'avion futur par rapport à la batterie. Toutes les fonctions de commandement étaient assurées à l'aide de voyants lumineux, de relais et de boutons. Un tableau synoptique donnait à tout instant à l'officier l'image du fonctionnement de sa batterie. Depuis son pupitre de commande il donnait ses ordres aux différents éléments qui composaient sa batterie : radars, tourelle optique, pièces, et il recevait les comptes-rendus d'exécution. Il pouvait choisir entre différents modes de fonctionnement, à savoir:

- acquisition: le calculateur et le radar de tir (COTAL) reçoivent les données d'acquisition

- radar: site, gisement et distance sont donnés par le radar et envoyés au calculateur et à la tourelle optique

- mixte: la distance est fournie par le radar, site et gisement par la tourelle optique ; le radar est alors télécommandé en gisement et site

- régénéré: site, gisement et distance sont régénérés par le calculateur à partir des éléments acquis précédemment, ce qui permet de télécommander le radar et la tourelle optique

- semi-régénéré: site et gisement viennent de la tourelle optique, la distance est régénérée par le calculateur, le radar étant alors télécommandé.

0314 Le domaine d'emploi du calculateur PHF 90 était le suivant :

- distance: 0 à 32.000 mètres

- site: de -10° à 91°

- parallaxe: de -8.000 à +8.000 mètres

- vent balistique: 0 à 70 nœud

- vitesse initiale du projectile: 730 à 860 m/s

- densité de l'air de 80% à 120% de la normale

- temps mort de manœuvre réglable de 0 à 4 secondes

0315 L'étude et la fabrication de ce matériel furent confiées par la Manufacture de Levallois (MLS) à la Compagnie Générale de Télégraphie sans Fil (CSF). Le premier appareil de conduite de tir électronique pour artillerie anti-aérienne de 90 mm sortait en juillet 1952. Il fut adopté sous le nom APT-HF-90 M^{le} 52. Une commande de 150 de ces appareils fut passée à la CSF, et les livraisons commencèrent en 1954. En même temps la production des radars COTAL par la Compagnie Française Thomson-Houston (CFTH) se déroulait de telle sorte que, en 1955, 250 radars avaient été fabriqués et que toutes les batteries françaises en étaient dotées. Par contre la production en série du radar d'acquisition ACAL ne fut jamais décidée. La France avait acheté en 1953 des radars américains AN TPS 1 qui assuraient ce rôle.

0316 Avec ces nouveaux matériels , PHF 90, radars COTAL et poste optique simplifié pour la conduite de tir, la batterie de 90 fut mise en service dans une configuration qui ne différait guère de celle des batteries américaines présentée sur la

planche 6. Elle devait le rester jusqu'à l'arrivée des missiles HAWK, mais il faut admettre que, avec les progrès réalisés par les avions, son efficacité devenait de plus en plus douteuse.

Les projectiles des canons antiaériens de gros calibre

0317 On ne peut conclure l'évocation de cette artillerie antiaérienne de 90 mm sans donner quelques indications complémentaires sur les projectiles utilisés, et en particulier leurs fusées. Comme on l'a déjà signalé, les obus étaient tous d'origine américaine. La France en avait été abondamment pourvue. Quant aux fusées qui déterminaient l'éclatement elles furent soit des fusées à temps, soit à la fin de la guerre des fusées de proximité radioélectriques (fusées *pozit*)

0318 Pour les fusées à temps, les retards pyrotechniques furent assez vite abandonnés, car trop imprécis, et on utilisa des fusées mécaniques à mouvement d'horlogerie. Les fusées MTSQ 500 étaient évidemment elles aussi d'origine américaines, mais il en eut un grand nombre qui furent fabriquées en France. On estimait en effet nécessaire de les conserver concurremment aux fusées *pozit*, que l'on considérait trop sensibles au brouillage ou à la déception.

0319 Ces *fusées pozit* furent une découverte à la libération pour les services français, et on se préoccupa d'en maîtriser la technique. Ce fut la SEFT qui en fut chargée. Les difficultés rencontrées furent considérables, en particulier pour obtenir les tubes électroniques suffisamment miniaturisés et capables de résister sans détérioration aux énormes accélérations de l'obus au départ du coup. De plus l'aide de nos alliés britanniques devait rapidement nous faire défaut. En fin de compte, l'Etat major, considérant sans doute que de toute façon la durée d'existence des canons antiaériens de gros calibre était désormais limitée, demanda à la DEFA de ne plus consacrer d'effort sur le difficile problème des fusées pour obus de DCA, mais de se consacrer au tir contre objectif au sol (tir fusant). La responsabilité de ces questions fut alors transférée, en 1952, de la SEFT au Service Technique de Saint Cloud. C'est très vraisemblablement à cette époque que fut rédigé à la SEFT la synthèse sur le sujet que l'on trouvera en Annexe 6.

----- * -----

Chapitre 4

Les canons BOFORS de 40 et de 57

----- * -----

Le matériel de 40 L 60 Bofors (Planches 10 et 11)

0401 Il a déjà été question au chapitre 2 des canons BOFORS 40 L 60 qui furent adoptés par les alliés dès avant 1939 et abondamment utilisés par eux pendant la guerre. La France n'a jamais fabriqué ni les armes ni les affûts de 40 L 60, mais elle s'est trouvée dotée de plus de 600 matériels fabriqués pendant les hostilités par les USA et le Canada. La France versa des royalties à la société suédoise BOFORS, en échange d'un droit d'utilisation et de maintenance, mais sans que cela comporte une véritable licence au sens juridique. Cela concernait aussi bien les matériels BOFORS qui furent utilisés par l'Armée de Terre que ceux installés sur des bâtiments de la Marine

0402 Un certain nombre des matériels que reçut la France étaient équipés de télécommandes, mais les performances de celles-ci étaient limitées. L'équipement de conduite de tir consistait en un poste séparé, le PC-M5, et un groupe électrogène. Il ne permettait pas de poursuivre des avions rapides, voisins de la limite sonique. Les puissances du groupe électrogène et des télécommandes limitaient en effet les vitesses de pointage à la moitié de ce qu'il aurait été nécessaire. Aussi, sur demande de l'Etat-major, le service technique de la Manufacture de Levallois (MLS) entreprit une modernisation, dite à *deux pointeurs*, puis une autre, à *un pointeur*, en collaboration avec le CETI, Centre d'Etude et d'Inventions, dirigé par M. Ricordel, et avec la Précision Moderne, présidée par M. Léauté

Première modernisation à deux pointeurs (40AA 39/52)

0403 Cette modernisation débuta vers 1947 et comporta de grosses transformations :

- La conduite de tir était éliminée
- Le groupe électrogène était modifié pour rendre son démarrage télécommandé depuis l'affût
- Les groupes de télécommandes étaient transformés
- Les chaînes de pointage des anciennes télécommandes américaines étaient transformées pour venir en assistance au pointage selon un principe développé par le Massachusetts Institut of Technology (MIT) pour les postes de pointage de calculateurs d'armes de 40 mm et 90 mm. Ce pointage dit «aidé» consistait en une addition, sur un différentiel, du mouvement venant du volant de pointage en position et du mouvement à vitesse variable venant d'un variateur de vitesse. Cette organisation permettait d'obtenir des vitesses angulaires de poursuite de 40 degré par seconde en gisement, et des vitesses de ralliement approchant 80 degrés par seconde

- La correction de tir était réalisée et fournie par un correcteur Le Prieur-Ricordel, grâce à l'affichage par le servant *correcteur* de la vitesse estimée de l'avion et de la direction de son vecteur vitesse.

0404 En raison des vitesses de pointage, il était nécessaire que les chargeurs de quatre coups soient approvisionnés dans un casier et chargés manuellement dans le canon depuis la plateforme tournante. Il y avait ainsi quatre servants sur cette dernière: deux pointeurs, un correcteur et un chargeur.

0405 Après des essais très poussés, le matériel fut adopté sous la dénomination de 40 AA 39/52 et la modernisation adoptée en 1949 fut appliquée entre 1951 et 1954 à plus de 200 affûts existants et qui étaient munis à l'origine de télécommandes américaines. A cette même époque des approvisionnements de rechanges permirent de renouveler les pièces d'usure (tubes des canons, etc.)

Deuxième modernisation à un pointeur (40 AA 39/55)

0406 La première modernisation avait concerné tous les matériels de 40 L 60 dits modernes, c'est-à-dire déjà pourvus d'une télécommande. Il restait dans les réserves du Service du Matériel plus de 400 affûts qui en étaient dépourvus. En 1952, le service des Etudes de la MLS fut chargé d'étudier une nouvelle modernisation de leur équipement. La construction hydraulique avait alors fait en France de gros progrès et la MLS présenta un prototype comportant seulement deux servants, au lieu de quatre, sur la plateforme : un pointeur avec viseur Reille-Soult et un chargeur. Ce prototype intéressa vivement la Section technique de l'Armée de terre (STAT), mais le viseur Reille-Soult parut insuffisant pour un matériel de ce calibre.

0407 Un nouveau prototype fut réalisé avec un correcteur LE PRIEUR-RICORDEL, basé sur le même principe que le correcteur de la modernisation précédente à deux pointeurs, mais selon une réalisation différente permettant à une seule personne, le servant correcteur, d'assurer la correction du tir, ce qui permettait de ne conserver, comme dans la première proposition, que deux personnes sur la plateforme. La source d'énergie était placée sur la partie tournante : un moteur thermique d'environ 5 chevaux entraînait deux pompes à débit variable commandées par un palonnier. Les moteurs hydrauliques étaient fixés directement sur les pointages existants. Ceux-ci atteignaient des vitesses 100 degrés par seconde en gisement et 50 degrés par seconde en site. Le matériel fut adopté, à la suite de nombreux essais, en 1955 sous la désignation 40 AA 39/55.

Le correcteur Le Prieur-Ricordel (Planche 12)

0408 Le correcteur LPR (Le Prieur-Ricordel) était connu et utilisé avant 1939. Il était produit par la société La Précision Moderne. Le principe consistait à reproduire homothétiquement le polygone gauche de l'espace dont les sommets sont : la pièce d'artillerie P, l'avion actuel A_0 , l'avion futur A, et le point A' intersection de la verticale passant par A avec l'axe du canon, de sorte que A'A représente « l'abaissement balistique » du projectile. Ce polygone est matérialisé par des tiges

métalliques. Il est monté sur la masse oscillante, le segment PA' étant fixé sur une poutre solidaire du canon (¹⁶). Sa longueur est donc fixée et il en résulte que le facteur d'homothétie est proportionnel à l'inverse de la distance de la pièce à l'avion futur, grandeur a priori inconnue, ce qui implique des approximations qu'il n'y a pas lieu de détailler ici. L'avion est représenté par une image solidaire d'un plateau, et le servant, d'une part aligne ce symbole parallèlement à l'avion qu'il observe, et d'autre part affiche la vitesse estimée de cet avion. Le plateau est maintenu fixe en direction dans l'espace par des systèmes de contre rotation en azimut et en site, de sorte que l'orientation estimée de la trajectoire de la cible n'a pas à être retouchée, si du moins celle-ci évolue en ligne droite, suivant l'hypothèse habituelle du tir anti-aérien. L'abaissement balistique est introduit grâce à un camoïde et il est possible de prendre aussi en compte l'effet du vent. . Les éléments étant ainsi fixés, le tireur suit l'avion dans sa lunette, et les déformations du polygone font en sorte que le canon se pointe, non parallèlement à la lunette, mais bien vers l'avion futur corrigé de la hausse. On pourra se reporter aux travaux de Marcel DERAMOND pour une description plus précise et une discussion sur les approximations faites.

Le matériel de 57 L 60
(Planche 13)

0409 En 1948 et 1960 respectivement, l'APX, sous la conduite de LAURENS, fut chargé de piloter la fabrication sous licence des canons anti-aériens 57 L 60 et 40 L 70 mis au point par la société BOFORS à la fin de la deuxième guerre mondiale. Ces matériels, extrapolés du canon 40 L 60, faisaient partie d'une famille patiemment développée par le constructeur suédois, et incluant notamment un canon de 90 mm. Ils présentaient des caractéristiques communes :

- masse oscillante équilibrée quel que soit le site
- éjection des douilles en fin de recul, chargement en début de rentrée en batterie et mise à feu avant la fin du retour en batterie

Ces deux matériels étaient stables, vibrant peu, et, malgré leur complexité, robustes et fiables. Leurs caractéristiques sont données dans le tableau ci-après, avec le rappel de celles du 40 L 60.

Matériel	40 L 60	40 L 70	57 L 60
calibre	40 mm	40 mm	57 mm
Longueur du tube	60 calibres	70 calibres	60 calibres
Poids du projectile	890 g dont 68 d'explosif	960 g dont 115 d'explosif	3.000 g
Vitesse initiale	850 m/s	1.000 m/s	850 m/s
Cadence de tir	120 cps/min.	240 cps/min.	120 cps /min pour l'ensemble des 2 tubes
Poids masse oscillante		525 kg	4.500 kg
Poids affût complet	2 .500 kg	4.800 kg	Sur bâtiment naval

0410 Le canon de calibre 57 mm était destiné à la Marine. Son objectif était d'équiper de matériel de DCA ses navires en construction, notamment les porte-avions. La DCAN étudia et réalisa une tourelle bitube et son système d'approvisionnement. L'arme elle-même était constituée d'un tube chemisé, refroidi

¹⁶ Deramond désigne cette poutre par le terme *faux canon*

par circulation d'eau, d'une culasse à coin vertical et d'un récupérateur à ressort. Le mécanisme de chargement prenait la munition dans l'axe des tourillons et la conduisait à l'aide d'un secteur en quart de cercle au refouloir de chargement. La nécessité de loger 19 munitions dans ce secteur avait entraîné quelques contraintes dans le tracé de l'obus au détriment de son coefficient balistique. Le mécanisme de chargement était commandé, ainsi que toutes les autres fonctions et la mise à feu, par le mouvement de la bouche à feu. Le frein hydraulique de recul et de retour en batterie comportait un réglage permettant d'ajuster la cadence de tir en jouant sur le temps de rentrée en batterie. La portée maximale théorique était de 13.000 mètres, et la portée maximale pratique contre avion de 3.500 mètres.

0411 La masse oscillante double BOFORS fut fabriquée dans les ateliers de la DEFA au Havre (AHE) pour le tube et sa chemise et à Puteaux (APX) pour le mécanisme de culasse. La SAGEM reçut la charge de la boîte de culasse, du secteur d'alimentation, du refouloir et des équilibreur, l'APX ayant la responsabilité du montage général de la masse oscillante et des tirs de recettes. Le matériel fut éprouvé dans un premier temps au polygone de Tarbes puis au champ de tir de Ruelle. La navalisation du matériel consistait à utiliser la masse oscillante BOFORS sur un affût « marine » étudié au Service technique des constructions et armes navales (STCAN), et dont la fonderie de Ruelle (ECAN Ruelle) devait assurer la fourniture et le montage. Les projectiles arrivaient sur l'affût par un avaleur venant de la soute et étaient installés sur les caisses d'alimentation par les servants. Puis l'avance des cartouches vers la chambre se faisait automatiquement.

0412 Cent soixante dix-huit (178) matériels furent construits de 1954 à 1960. Ils ont été montés sur le croiseur COLBERT qui reçut six tourelles bitubes et sur six escorteurs d'escadre et 9 escorteurs rapides, chacun équipé de trois tourelles bitubes. La conduite de tir était assurée par une tourelle télépointeur stabilisée en roulis et tangage. Ces équipements sont restés en service jusqu'à la fin des années 70. Destinés à la défense anti-aérienne rapprochée, leurs principales caractéristiques étaient les suivantes

- cadence 120 coups minute
- masse du projectile 3 kg
- vitesse initiale 865 m/s
- masse totale de la munition 6, 4 kg
- masse oscillante 4.000 kg
- masse du matériel sans masque 15.200 kg
- 80 cartouches en réserve pour chaque canon
- portée maximale 13.000 mètres
- portée pratique en tir contre avion 5.000 mètre

0413 De son côté l'EMAT demanda en 1952 que soient étudiées les possibilités d'emploi du calibre 57 mm en DCA terrestre à partir du matériel BOFORS, mais avec télécommande et alimentation automatique. Les études furent conduites vers 1954 pour un monotube et un bitube sur chariot. Elles conduisirent à la réalisation de maquettes probatoires en bois, mais les dimensions et les poids atteints les condamnerent pour un usage terrestre au profit du 40 L 70, plus léger.

Matériel de 40 L 70 (40 AA 51 T 1)
(Planches 13 et 14)

- 0414 En 1948 donc, la France avait acquis la licence du matériel 40 L 70 Bofors, et la DEFA fut chargée d'étudier les possibilités de doter l'armée française d'un matériel plus moderne et plus performant que le 40 L 60.
- 0415 Le nouveau matériel suédois (cf. Planche 14) était évidemment plus lourd que le 40 L 60 (5 tonnes au lieu de 3), mais il était doté d'un canon de longueur 70 calibres permettant de tirer avec une vitesse initiale de 1.000 m/s et une cadence de 240 coups/minute un projectile d'environ 1 kg comportant 115 grammes d'explosif. Il était équipé de télécommandes hydrauliques avec amplificateurs électroniques dont les performances étaient particulièrement intéressantes. Mais il était nécessaire de reprendre complètement le dessin de l'affût pour adapter aux normes françaises l'équipement électrique et la télécommande.
- 0416 En 1953/54 le service technique de la MLS fut chargé, conjointement avec la SEFT (¹⁷), des études du système d'arme et de l'organisation de l'unité de tir qui comprenait deux canons télécommandés avec possibilité de commande locale motorisée, et un poste de conduite de tir constitué
- d'un radar COTAM de conception originale pour la détection, l'acquisition, la poursuite et le tir
 - d'un poste de conduite de tir avec calculateur PHF 40
 - de commandes d'interface permettant un lissage évolué du pointage (pointage régénéré de Thomson-Csf)
 - d'un groupe électrogène
- En ce qui concerne l'optique de cette conduite de tir, elle a été réduite au viseur binoculaire L879 montée sur le calculateur PHF 40 pour affiner le pointage en direction du radar (¹⁸). Le calculateur utilisait les mêmes techniques que le PHF 90, mais pour réaliser des opérations moins élaborées. Par contre on avait introduit une nouvelle possibilité originale : le mode de fonctionnement régénéré pouvait être utilisé de façon partielle et dosée, en appui de la poursuite par les instruments (cf. Annexe 3). L'ensemble radar, calculateur, viseur était intégré sur un même châssis tracté, comme le montre la planche 15.
- 0417 Deux cent soixante trois (263) matériels furent construits de 1954 à 1960, la masse oscillante par l'APX et l'affût par la SAGEM à Argenteuil où s'effectuait la réception. Cet ensemble, d'une technicité remarquable se révéla très efficace au cours d'essais d'une batterie à Toulon. La France devint pays pilote pour la fabrication de cet affût par les pays de l'OTAN.
- 0418 En 1953/1954, le service technique de la MLS avait transformé l'affût standard BOFORS à télécommande électro-hydraulique en affût à télécommande

¹⁷ La SEFT, Section d'étude et de fabrication des télécommunications, établissement de la DEFA, prit plus particulièrement en charge le radar. Il en sera question dans le tome des travaux du comHArT relatif à ces équipements de détection.

¹⁸ Le PHF 40 fut appelé parfois télépointeur. Les cplans de la jumelle de DCA L879 se trouvent au Centre des archives de Châtellerault. Les prototypes sont au musée de Saumur (n° 1060 et 1061)

électrique avec le concours de la société de Mécanique et d'Electronique (SME) dirigée techniquement par M. LEHMAN. Ce matériel BOFORS-MLS était destiné à concourir en vue de la standardisation OTAN du 40 L 70 dans une compétition avec l'affût standard BOFORS et un affût BOFORS-GALILEO. Mais la standardisation fut abandonnée et la compétition n'eut pas lieu. Une autre variante, à alimentation automatique, système DELBARD, du bureau ST/ART de la DEFA fut étudiée et réalisée en prototype.

0419 Malgré les qualités de l'ensemble BOFORS-MLS, le programme 40 L 70 fut abandonné vers 1958 à cause de la lourdeur et du coût de la batterie. C'était aussi l'époque où les missiles guidés laissaient entrevoir des performances prometteuses. Les canons et affûts furent stockés et par la suite, dépourvus de leur conduite de tir, vendus en quasi-totalité à l'Inde ⁽¹⁹⁾. Certains affûts toutefois trouvèrent une utilisation imprévue, au Centre d'essais des Landes, pour supporter des caméras rapides (300 images/seconde) destinées à filmer le décollage des missiles.

0420 Signalons enfin qu'un prototype de système antiaérien, utilisant un canon de 40L70 monté sur châssis AMX13 avait été réalisé par la DEFA. On prévoyait pour lui une conduite de tir dotée d'un radar, dérivé des radars COTAM, embarqué sur le véhicule Mais il lui fut préféré le système bitube de 30 mm monté sur le même châssis qui fait l'objet d'un exposé au chapitre suivant.

----- * -----

¹⁹ CLAUDE LIBOIS rapporte dans sa note : *Cet ensemble, d'une technicité remarquable se révéla très efficace au cours d'essais d'une batterie à Toulon, mais le coût d'un tel équipement fit abandonner ce programme au moment où les engins téléguidés laissaient entrevoir des performances prometteuses.*

Chapitre 5

Les armes de moyens calibres de 1945 à 1958

----- * -----

- 0501 La France pouvait donc disposer avant 1950 des matériels dont il a été question aux chapitres précédents : le 90 américain dont la DEFA entreprenait de moderniser la conduite de tir, et des canons BOFORS dont on disposait d'une assez large dotation. Pour les moyens calibres par contre, tout ou presque restait à recréer. La conception des matériels d'avant la guerre ne pouvait être reconduite, la menace aérienne ayant considérablement évolué. Et de plus, comme le fait remarquer Maurice Bailly (page 20), les compétences françaises dans ce domaine des armes de calibre 20, 25 ou 30 mm étaient en 1939 assez limitées
- 0502 Pour ce qui concerne le développement des armes elles-mêmes (canons et munitions) on se reportera au titre 2 de ce tome 8, rédigé par Maurice Bailly. Dans ce chapitre et les suivants, il ne sera donc question que de ce qui est spécifique, pour ces armes de moyen calibre, à l'utilisation en défense anti-aérienne. Il convient de noter, au demeurant, que presque toujours ces armes sont polyvalentes, destinées aussi bien à traiter les objectifs terrestres que des avions ou hélicoptères
- 0503 Alors que l'on se préoccupait du renouveau de ces armes, on s'est intéressé très tôt aux exigences que devaient satisfaire les affûts. Dès le début des années 1950, des maquettes en bois furent réalisées en bitubes de 20 mm et monotubes et bitubes de 30 mm. De très nombreux essais systématiques furent conduits en 1951-1952 par la Section technique de l'Armée de Terre (STAT) sur la base d'Orange et à l'Etablissement d'Expériences techniques de Toulon (ETTN) dans le but de déterminer les possibilités d'acquisition et de poursuite par un pointeur. Les essais étaient conduits en visant des avions, à piston ou à réaction, avec caméra montée sur le tube. Ces essais ont démontré qu'aucun résultat acceptable ne pouvait être obtenu si le pointeur devait assurer par sa propre force l'effort manuel de pointage en même temps que la précision de la poursuite. Ces résultats ont conduit à rechercher la motorisation des affûts, y compris pour les monotubes de 20 mm. Mais l'acquisition d'un avion volant à basse altitude (en dessous de 1.000 mètres) nécessite, le pointeur étant assis à son poste, un temps de mise en action de la commande du moteur de l'ordre de 3 secondes. Une accumulation de puissance permettant un démarrage instantané était donc nécessaire.
- 0504 En ce qui concerne les correcteurs de tir, il apparût que pour le 20 mm un viseur optique simple assurait une précision acceptable pour des durées de trajet utile n'excédant pas 1,5 secondes. Pour le 30 mm par contre, où les durées de trajet peuvent dépasser 3 secondes, le correcteur devait être plus élaboré, du moins pour le tir sur objectif défilant.
- 0505 En définitive, l'organisation suivante fut retenue pour toutes les études :
- autonomie complète de l'affût avec son pointeur unique

- source d'énergie portée par l'affût avec deux possibilités : soit fonctionnement silencieux sur accumulation hydraulique ou électrique permettant au moins cinq poursuites successives, soit recharge de l'accumulateur hydraulique ou électrique par un groupe générateur thermique

- recherche d'un temps minimal raisonnable de prise en poursuite d'un avion se présentant à 180 degré de la direction de veille. Cette recherche a conduit à des vitesses possibles de pointage en gisement de l'ordre de 90 degrés par seconde². Au-delà, les gains de temps sont disproportionnés en face de l'augmentation de la puissance de pointe, et des accélérations plus fortes ne permettent pas au pointeur de stabiliser rapidement la visée sur l'objectif lors de la décélération.

L'immédiat après guerre: le HS 404 (Planche 15)

0506 Dans l'immédiat après guerre, on voit réapparaître le canon Hispano-Suiza HS 404, de calibre 20 mm qui avait été développé avant 1939 (cf. Bailly pages 16 à 18 et 21 à 25), et qui fut à nouveau fabriqué en France pendant une courte période en 1945 (²⁰). L'affût en est décrit par R. JUND dans son cours de DCA à l'ENSAr de 1949: *Sur cet affût sont montés quatre canons portés par un berceau unique dans le même plan, et légèrement décalés deux par deux pour permettre l'imbrication des chargeurs et avoir ainsi un matériel plus rassemblé. Le berceau est monté sur deux flasques en tôle qui peuvent pivoter sur un socle fixe. Le matériel est parfaitement équilibré et tous les montages sont effectués à roulements à billes, de façon que les commandes soient aussi douces que possibles et que l'on puisse atteindre par pointage à main les vitesses nécessaires pour suivre des avions à faible distance. Le matériel est pointé à main par deux servants, un en site, l'autre en azimut. Il est muni d'un correcteur de tir Le prier d'un modèle déjà utilisé avant guerre, mais adapté aux nouvelles vitesses des avions. Le tout peut être monté soit sur un socle fixé à terre, soit sur un camion ou un véhicule tout terrain.* Ce matériel est présenté sur la planche 16 avec quelques données chiffrées

Reprise des études par la DEFA (armes de 20 mm)

0507 Au début des années 50, la seule arme de moyen calibre disponible en France était le canon allemand 20 MG 151 (cf. Bailly pages 18 à 20). C'est donc avec ce canon, appelé par la suite 20-151, que furent réalisées presque toutes les études d'affûts pour arme de 20 mm de l'époque 1945-1960. Suivies par la Manufacture de Levallois, trois configurations ont été étudiées successivement

0508 D'abord en 1950, un quadritube de 20 mm. Un ensemble de quatre armes était placé sous une tourelle protégée, dite PM 512 de La Précision Moderne, dont la masse était d'environ 2.300 kg, et qui était montée sur un camion GMC 6x6 ou sur un chariot quatre roues remorquable. Le pointage était effectué grâce à deux variateurs hydrauliques monoblocs et une accumulation électrique 24 Volts. Les 20 affûts construits furent présentés sur camion au défilé du 14 juillet 1951, et ensuite utilisés à

²⁰ Cf Bailly 2-5 in fine, page 18. ce fut avant que Hispano-France abandonne les activités armement en France, pour les concentrer à Genève dans Hispano-Suisse

la défense des tours hertziennes Paris-Lille et Paris-Lyon de 1955 à 1970, jusqu'à leur retrait du service

0509 Ensuite en 1953, on développa un bitube de 20 mm qui resta à l'état de prototype. Les deux armes étaient montées dans une tourelle protégée portée sur un affût tripode installé sur un chariot à deux roues qui portait également 300 munitions en caisse. Le poids total était d'environ 1.800 kg. Le pointage était effectué avec deux variateurs hydrauliques monoblocs et une accumulation électrique 24 Volts

0510 Une troisième configuration, en 1952-1953 connut enfin un véritable développement, avec le monotube de 20 mm sur un affût que l'on prit l'habitude de désigner par *affût Consortium*. La société HISPANO-SUIZA avec son canon HS 820 avait réalisé un matériel monotube très léger (environ 700 kg) servi par un seul pointeur disposant de deux volants, d'un correcteur à grille, et d'un chargeur de 40 à 50 munitions. L'affût tripode était soulevé, pour le déplacement, par un chariot deux roues tractable par une jeep. Ce matériel parut très intéressant pour l'infanterie et le tir à terre, mais son pointage pour l'usage en DCA n'était pas efficace. Le service des études de la MLS remplaçait alors les deux volants de pointage à main par deux moteurs hydrauliques contrôlés par des distributeurs actionnés par un manche type *bête à cornes*. L'alimentation hydraulique était assurée par une pompe entraînée par un petit moteur auxiliaire (AB 6/VAP) et un accumulateur oléopneumatique. Une maquette sommaire fut présentée à la STAT, à l'EMAT et dans le cadre des présentations européennes du camp de Mailly pour le Communauté européenne de défense (CED). Elle retint l'attention du général Blanc, chef d'Etat-major terre, et très vite, il fut demandé à la DEFA d'approfondir ce projet d'affût monotube en utilisant une arme 20 MG 151 et un viseur Reille-Soult

0511 Sous la direction du service des études de la MLS, trois industriels furent retenus pour ce projet :

- SAGEM, où, sous la direction de M. Stauff, fut étudié un matériel avec pointage en hauteur à main et un pointage en direction par pédalier
- CETI/PM (Centre d'Etude Techniques et d'Inventions et Précision Moderne) qui étudia un affût dérivé de l'affût Hispano-Suiza modifié MLS
- Société industrielle La Varenne (groupe Drouard) qui se consacra au même genre d'affût que le précédent.

0512 En 1951, à Orange et à Toulon, une expérimentation approfondie, réalisée conjointement avec la STAT, permit une étude comparée des performances de pointage de plusieurs matériels, avec en particulier :

- les trois affûts prototypes ci-dessus (SAGEM, CETI/PM, La Varenne)
- un affût Hispano-Suiza avec pointage aux deux pieds au sol
- le matériel de 40 L 60 modernisé à deux pointeurs

Cette expérimentation révéla la nécessité d'un pointage aux moteurs pour obtenir une efficacité satisfaisante. Dès la fin de l'expérimentation, l'EMAT demanda à la DEFA de réaliser 200 affûts selon des caractéristiques combinant les avantages de chacun des trois monotubes de 20 mm prototypes. Pour ce faire, les trois industriels SAGEM, CETI/PM et La Varenne constituèrent un « Consortium » sous la direction du bureau d'étude SAGEM piloté par STAUFF, les fabrications devant être attribuées à parité à chacun des trois industriels. En un temps record d'environ 15 mois, le prototype fut conçu, essayé et adopté. Les 200 exemplaires furent prêts à la fin de 1953.

0513 Une des fonctions de ces affûts tripodes *Consortium* qui devaient recevoir la désignation officielle 53 T1, était d'assurer l'autodéfense anti-aérienne des unités faiblement blindées. Mais entre temps les conceptions de défense de l'infanterie avaient évolué, et les 200 matériels furent stockés à l'Etablissement du matériel du Mans. Quelques dizaines furent utilisés en Algérie et les autres furent plus tard modernisées, comme nous le verrons au chapitre 7, d'abord dans les années 1970 en 53 T1 avec un canon de 20 mm 693 et ensuite en 53 T2 avec le même canon mais avec des conceptions totalement nouvelles (cf infra chapitre 7).

0514 Ajoutons que tous ces prototypes nouveaux ont été étudiés sur la base des munitions de 20 mm de l'époque, dont les portées maximales utiles étaient de 1.200 mètres à 1.500 mètres et dont le poids d'explosif variait de 8 à 15 grammes. Il s'agissait des munitions Hispano-Suiza, Oerlikon, ou MG 151 (20x82) d'origine allemande.

Les affûts bitubes et monotubes de 30 mm de Hispano-Suiza HS 831 (1953-1964)

0515 Les systèmes de défense anti-aérienne à base de canons de 30 mm ne font leur réapparition en France qu'à partir de 1954-55, quand les services français s'intéressèrent au canon HS 831 de la société Hispano-Suiza, alors installée en Suisse. La DEFA en avait acquis la licence de fabrication en 1954-55, et 200 exemplaires avaient été commandés à Hispano-Suiza en 1955. Ils furent livrés de mars 1956 à fin 1957. En même temps la fabrication de cette arme était lancée en France sous le pilotage technique de la Manufacture d'Armes de Tulle (MAT) L'adoption de ce canon avait été prononcée début 1955 sous l'appellation 30 mm HSS 831 A. On se reportera au texte de Maurice Bailly pour la genèse de cet armement en France.

0516 Cette adoption faisait suite à une série d'expériences menées sur des affûts prototypes réalisés en 1952 et adaptés pour la circonstance. Les canons qui avaient été soumis aux essais étaient des armes Oerlikon, les matériels Hispano-Suiza HS 604 et HS 830 ⁽²¹⁾, le canon allemand MG 151, et un prototype de l'Atelier de Mulhouse (AME) le 5 CGF ⁽²²⁾. Parallèlement, au cours de ces années 1953-54 l'Etat-major s'orientait, pour des raisons opérationnelles vers « *un calibre au moins égal à 30 mm* ». Les munitions de 30 mm ont en effet une efficacité considérablement plus élevée que celle de 20 mm (rapport 1.5 au cube, soit 3,3), et, malgré une cadence de tir inférieure (environ 600 coups/minute au lieu de 750 à 900 coups/minute pour le 20 mm) les probabilités d'atteinte et de destruction sont plus élevées dans un volume plus important. C'est ainsi que la munition de 30 mm Hispano HS 831 donnait une portée utile maximale de 2.500 à 3.500 mètres, avec un poids d'explosif d'environ 25 à 40 grammes. Valeurs qu'il faut comparer avec celles données plus haut pour les armes de 20 mm.

²¹ Le HS 830, après des modifications mineures, devint le HS 831

²² Le 5 CGF devait être rapidement éliminé de la compétition : Bailly écrit *Il s'agit d'un canon classique conçu par l'équipe moyen calibre de l'AME dans l'esprit du prolongement du canon allemand MG 151.... Concentrés sur le canon de 30- avion, les équipes de Mulhouse n'en étaient qu'au début des démarches Le 5 CGF fut rapidement éliminé*

- 0517 Après l'étude de deux affûts de 30 mm, l'un bitube, l'autre monotube restés au niveau de prototypes en 1953 et équipés tous deux d'un viseur correcteur optique, la DEFA lançait l'étude d'une **Unité légère de DCA** conçue comme « *un système d'arme complet autour d'un tube de 30 mm* ». Ceci donna lieu à trois études. Deux restèrent sans suite, la troisième fut poussée plus avant.
- 0518 Les deux études avortées en 1953 consistaient:
- la première en un affût bitube, où deux armes de 30 mm remplaçaient les armes d'origine allemande de la tourelle quadritube de 20 mm MG 151, tourelle protégée d'environ 2.300 kg déjà mentionnée supra (alinéa 0509).
- la deuxième en un affût monotube de 30 mm qui remplaçait la tourelle bitube de 20 mm MG 151, tourelle protégée d'environ 1.800 kg déjà mentionnée supra (alinéa 0510) et qui était restée elle-même à l'état de prototype
- 0519 La troisième étude, qui fut confiée à la SAGEM, débouchait donc sur le système baptisé « unité légère de DCA ». Elle comprenait d'une part une tourelle bitube montée sur un camion 6x6 BERLIET avec un groupe électrogène et une caisse de munition de réserve, et d'autre part un poste de conduite de tir avec un télémètre radar, qui était situé à distance et relié par câble. Trois modes de pointage étaient prévus :
1- télécommande à distance par la conduite de tir, avec commande de mise à feu depuis cette conduite de tir
2-Commande locale par moteurs électriques avec viseur correcteur gyroscopique et introduction de la distance, estimée ou réelle
3- pointage à bras par volant pour tir à terre.
De nombreuses sécurités et de aides au service de l'Unité légère de DCA avaient été prévues pour limiter le nombre de servants. D'autre part un projet de variante sur chariot quatre roues tracté fut étudié, mais seule la version BERLIET 6x6 GBC 28 a été réalisée et a subi de nombreux essais constructeur et essais de tir à l'ETTN de 1964 à 1970
- 0520 Si elle ne fut pas l'objet d'une production, l'étude de cette Unité légère de DCA permit néanmoins d'approfondir les nécessités du système d'arme de 30 mm : veille, acquisition, télémétrie, pointage et correction de tir. Elle a aidé à spécifier les caractéristiques d'un bitube de 30 mm, dont il sera question au chapitre suivant.
- 0521 Par ailleurs, vers 1960, l'armée française était équipée de 30 monotubes Hispano-Suiza montés sur affût tracté. Le canon était le même que celui du bitube de 30 sur char AMX dont il sera question plus loin. La vitesse initiale était 1.080 m/s. Le viseur anti-aérien était intégré, à côté du viseur antichar sur un appareil de pointage dans un ensemble autonome permettant au pointeur de viser et de diriger l'arme, même à des vitesses angulaires élevées. Le viseur calculateur était le P 36 de GALILEO. On trouvera dans les travaux de MARCEL DERAMOND un exposé du principe de ce viseur et une comparaison de celui-ci avec le correcteur de tir LPR

----- * -----

Chapitre 6

La défense anti-aérienne de 1958 à 1970

----- * -----

- 0601 La période 1958-1970 présente deux particularités :
- d'une part les premières mises en œuvre des missiles dans la défense anti-aérienne
- d'autre part des études et réalisations de tourelles équipées de canons anti-aériens de 30 et de 20 mm, portées par des véhicules de combat plus ou moins blindés
- 0602 Les programmes d'étude et de développements de missiles de défense anti-aérienne ont fait l'objet du tome 11 des travaux du ComHArT , « Systèmes de missiles sol-air » confié à l'IGA Antonin COLLET-BILLON et l'IGA Didier BIENVENU. Le sujet est aussi traité dans le volume du ComAéro rédigé par René CARPENTIER intitulé « *Les missiles tactiques* ». Il n'y a donc pas lieu d'y revenir ici. Néanmoins il a paru utile de rappeler certains éléments, dans la mesure où ils ont interféré dans la doctrine de défense anti-aérienne de l'Etat-major de l'Armée de Terre, et par suite sur le déroulement de programmes de canons anti-aériens. Cela porte essentiellement sur la chronologie des programmes et les principales caractéristiques des réalisations.

Les missiles

- 0603 Les potentialités des missiles pour la défense anti-aérienne ont été pressenties très tôt, dès la fin de la guerre, en particulier aux Etats-Unis. Mais les possibilités technologiques de l'époque ne permettaient pas de les mettre en œuvre à court terme. Elles furent néanmoins prises en compte, dans les esprits, pour moduler l'engagement des études de systèmes à base de canons. Ceci fut flagrant en particulier, comme on a pu le constater au chapitre 3, pour ce qui concerne les canons de gros calibre, 90 mm et au-delà. Il est vrai que, à cette époque, on songeait à se prémunir contre les attaques de bombardiers volant à une altitude telle qu'ils devenaient hors de portée de l'artillerie classique. Le recours aux missiles devenait ainsi inéluctable, même si, faute de maîtriser les techniques indispensables, on ne pouvait l'envisager qu'à moyen terme.
- 0604 On a l'habitude de classer les missiles suivant leur domaine d'action. On distingue ainsi :
- les sol-Air longue portée SALP
- les Sol-air moyenne portée SAMP
- les Sol-air courte portée SACP
- les Sol-air très courte portée SATCP
- 0605 Les premiers cités (SALP) n'ont jamais intéressé l'Armée de terre, pas plus que la DEFA. Les programmes français furent traités par la DIA (Direction Industrielle de l'Air, qui devint plus tard la DCAé), avec SNCASE (SE 4300 et SE

4400) et avec MATRA (R422 et R431). Ces programmes furent arrêtés en 1958 et dès lors il n'y eut plus de programme SALP en France, ni d'ailleurs dans d'autres pays. En 1959, la France acheta aux américains des missiles NIKE, et ce fut l'Armée de l'air qui les prit en charge, dans l'attente du HAWK ⁽²³⁾

0606 Les autres développements s'échelonnèrent dans le temps, dans l'ordre où ils ont été cités plus haut : SAMP (PARCA et HAWK), puis SACP (ROLAND et CROTALE), enfin SATCP (MISTRAL). La raison en est autant l'échelonnement des besoins que l'évolution des possibilités techniques, et sans doute aussi les changements dans la menace aérienne qui pesait sur le corps de bataille. La doctrine d'emploi de l'Armée de terre pour la défense anti-aérienne devait évidemment évoluer considérablement au long de la période qui nous intéresse. Pour ce qui est du développement des systèmes missiles, les dates les plus significatives sont rappelées dans le tableau de l'Annexe 5. On se reportera au tome 11 du ComHArT pour des explications plus détaillées.

0607 La DEFA s'engagea dans cette voie dès 1945, en lançant l'étude du PARCA (Projectile Autopropulsé Radioguidé Contre Avion), tout en estimant que les réalisations ne pourraient intervenir qu'après un certain délai, compte tenu des difficultés techniques prévisibles, de l'état des compétences nationales après la période d'occupation, et malgré l'appoint de spécialistes allemands. Cela induisit la DEFA et l'Armée de terre à ne pas faire tout de suite l'impasse sur l'artillerie anti-aérienne de gros calibre, comme on l'a vu au chapitre 3. Et effectivement la gestation fut relativement lente pour arriver à des missiles tactiques. Ainsi, par exemple, ce n'est qu'en 1954 que l'on parvint à remplacer la propulsion biliquide par une propulsion à poudre, opérationnellement infiniment plus satisfaisante. Les études furent finalement arrêtées en 1958, quand la France décida de se tourner vers le missile américain HAWK. En même temps, les autres études de missiles anti-aériens menées par la DTAT, l'ACAM et l'ACAR, qui n'en étaient encore qu'à leur début, furent elles aussi arrêtées

0608 En effet en 1958, les américains proposaient à leurs alliés de l'OTAN d'adopter en commun le missile HAWK, qu'ils avaient développé chez RAYTHEON. Le général Jean CREPIN, alors inspecteur général des programmes et fabrications des forces armées ⁽²⁴⁾ eut un rôle déterminant qui devait amener non seulement à l'adoption de ce système d'arme par la France, mais aussi à obtenir pour l'industrie française un rôle de pilotage dans ce programme OTAN à cinq pays ⁽²⁵⁾, et cela malgré une réduction de besoins affichés, initialement fixé à dix bataillons et finalement réduits à trois. Le pilotage

²³ Pour le NIKE et le SALP voir Augustin page 924. Le NIKE fut acheté par la France en 1959 et Augustin présente cette décision comme motivée par l'attente du HAWK. Ce fut l'armée de l'air qui les prit en charge. Il n'en est pas question chez Carpentier

²⁴ La fonction de l'IGPFA devait disparaître avec la création de la DMA en 1961. auprès de lui, le général Crépin eut des ingénieurs détachés. Pour la DEFA, ce fut l'ICA JEAN TAYEAU (X 1923, IGA 1 en 2^{ème} section en 1966, décédé en 1994)

²⁵ Les cinq pays impliqués dans le programme HAWK étaient la France (3 bataillons), la RFA (9 bataillons), l'Italie (4 bataillons), la Belgique (3 bataillons), les Pays Bas (3 bataillons) et 4 bataillons à répartir dans l'OTAN, soit un programme initial de 26 bataillons à équiper.

étatique, coté français, était à la charge de la DEFA ⁽²⁶⁾. Ce fut la société Thomson qui fut choisie comme principal acteur industriel dans la conduite de ce programme ⁽²⁷⁾ Les missiles furent livrés aux unités de l'armée française entre 1963 et 1966.

0609 Le PARCA avait une phase de ralliement qui ne l'amenait sur la ligne de son objectif qu'après un vol d'environ 4.500 mètres. Il laissait donc le champ libre aux canons pour les courtes portées. La DEFA avait bien lancé pour les prendre en compte deux programmes de missiles : l'ACAM et l'ACRA. Ils n'eurent l'un et l'autre qu'une existence éphémère (cf. supra et tome 11 du ComHArT) En fait la question des SACP ne fut reprise qu'avec le ROLAND.

0610 C'est en 1960 que se firent les premières approches qui devaient conduire au système d'arme ROLAND. La DEFA et Nord Aviation avaient alors un projet commun de missile « Sol-air Basse Altitude » (SABA). Les Allemands de leur coté ayant un développement en cours, il se produisit un rapprochement entre les deux nations, tant au niveau industriel qu'étatique. Les décisions intervinrent en 1963 pour le développement du système ROLAND sous deux versions

- une version ROLAND I *temps clair*
- une version Roland II *tous temps*

L'adoption de ces deux systèmes d'arme intervint respectivement en 1975 et 1976. Entre temps l'Armée de terre avait du faire un choix entre le ROLAND et le CROTALE. Ce dernier avait été développé par Thomson, à l'origine pour l'exportation, et devait être adopté par l'Armée de l'Air ⁽²⁸⁾

0611 Pour ce qui est du domaine d'action du système ROLAND, citons le tome 11 du ComHArT : « *Les cibles Roland sont les hélicoptères et la avions volant jusqu'à Mach 1,3. Le domaine d'interception sur avion volant à Mach 0,9 est un demi ellipsoïde de 6.3 km de demi grand axe horizontal, sur 5,5 km de demi petit axe, plafond. Le Roland est efficace jusqu'aux plus basses altitudes.* » Ajoutons qu'il peut être utilisé à courte distance de la rampe de lancement : on évalue à 500 mètres la limite courte de son domaine d'efficacité ⁽²⁹⁾. Les premiers missiles furent livrés aux unités de l'armée de terre à partir de 1977 ⁽³⁰⁾. A la même époque on développait à la

²⁶ Ce n'est que plus tard que les missiles tactiques furent inclus dans les prérogatives de la direction des engins (DTEN)

²⁷ L'organisation fait l'objet d'un exposé précis dans le tome 11 des travaux du ComHArT rédigé par l'IGA Bienvenu. La SETEL, société instituée à cet effet eut un contrat de mandat de 145 MF. La part de production en France devait s'élever à 550 MF. Les coopérants furent

Arsenal de Tarbes	rampes de lancement
CSF	radar illuminateur et PC
Nord Aviation	cellule des missiles
SAGEM	gyromètres et accéléromètres
Thomson Sartrouville	autodirecteurs

Les missiles furent munis de leurs propulseurs dans un centre dit HAMCO, qui fut créé par thomson Sartrouville à Salbris, dans les locaux de la DEFA

²⁸ Le choix entre Crtale et Roland pour l'armée de terre a fait l'objet entre 1969 et 1973 de plusieurs documents 'on peut trouver au SHAT (carton 15 T 385)

²⁹ Cette limite courte de 500 mètres provient d'un article de la revue Interavia (cité par Augustin) . c'est aussi la valeur donnée pour le Crotale dans la brochure de L'AICPRAT *radars de surfaces*

Manufacture de Levallois les systèmes à base de canons de 30 mm HS 831 qui devaient conduire à un système d'arme mis en fabrication en 1967.

La tourelle bitube de 30 mm HS 831 sur châssis AMX
(Planches 16et 17)

0612 Ce système d'arme, spécifiquement anti-aérien, avait pour mission la défense rapprochée des unités blindées. C'est le seul système d'arme de ce type qui a été adopté par l'EMAT entre 1945 et 1970 ⁽³¹⁾. La DEFA avait lancé l'étude de cette tourelle au début des années 50: l'état d'avancement des études de la DEFA pour 1956 indique que cette étude était en cours, celui de 1965 que la série est lancée. Ce matériel fit l'objet, en 1957, d'un accord avec les Etats-Unis, ces derniers s'engageant à financer un quart du développement. On pourra lire le texte de ce contrat dans l'ouvrage de l'IGA ROBINEAU (ComHArT tome 5, *Affaires internationales*) aux pages 191 à 196.

0613 L'étude signalée au chapitre précédent de l'Unité légère de DCA avait permis d'approfondir les nécessités du système d'arme de 30 mm: veille, acquisition, télémétrie, pointage et correction de tir. Elle a aidé à spécifier les caractéristiques d'un bitube de 30 mm, d'abord étudié pour un montage sur le châssis du char AMX 13 pour l'armée française ⁽³²⁾. Cependant le bitube de 30 mm monté sur châssis de char fonctionne de façon autonome, alors que le bitube de l'Unité légère de DCA pouvait être utilisé soit de façon autonome, soit intégré dans une conduite de tir avec asservissement en position de canons. Dans le premier cas, les viseurs montés sur la partie tournante de l'affût (sans doute même sur la masse oscillante) étaient peut-être déjà les viseurs SAGEM du bitube de 30 en tourelle.

0613 La tourelle a été étudiée et réalisée par la Société pour les Applications des Machines Motrices (SAMM) sous la désignation S401A. Ses principales caractéristiques étaient les suivantes :

- vitesse de pointage : en gisement 80 degrés par seconde,
en site 45 degrés par seconde
- accélération angulaire 120 degrés par sec²
- débattement en direction 360 degrés et en site de -8° à +85°
- tir coup par coup ou par rafale de 5 à 10 coups
- vitesse initiale 1.000 m/s
- cadence globale pour les deux tubes : 600 coups par minute
- alimentation par bande, éjection des douilles à l'extérieur de la tourelle
- contenance de la tourelle 300 coups par arme, soit 600 coups au total
- poids de la tourelle avec malle radar 6.400 kg

³⁰ Les premiers prototypes Roland furent livrés en 1973, la première commande de 20 postes intervint en 1975, la seconde de 10 postes en 1976 Cf. Augustin pages 1177 à 1181

³¹ DERAMOND, dans son étude des systèmes de visées antiaérien, distingue ces canons spécifiquement antiaérien de canons de 0 mm montés sur tourelle ou tourelleau de char à la fois pour le tir sol-sol et le tir sol-air d'urgence. Les dispositifs de visée de ces derniers sont presque tous des viseurs périscopiques à prisme (ou miroir) de tête mobile.

³² Plus précisément cette tourelle fut placée sur un châssis d'obusier de 105, qui effectivement dérivait du châssis du char de combat AMX 13, mais dont le diamètre du chemin de roulement de tourelle était plus grand

Cette tourelle fut un évènement important, car pour la première fois un radar était monté sur une tourelle de char. Il s'agissait d'un radar développé par la société Electronique Marcel Dassault, L'OEIL NOIR, qui assurait à la fois les fonctions de veille et de télémétrie lors du tir.

0614 La décision de doter ce système d'arme d'un radar et en même temps d'un calculateur n'intervint d'ailleurs, qu'à la fin de 1959, alors que le développement était déjà avancé, et cela occasionna quelques retards. Les premiers matériels sortirent sans radar en juillet 1963, sous la désignation 2 x 30 AA AU TA (bitube de 30 mm antiaérien automoteur type A). Les premiers radars ŒIL NOIR furent livrés en août 1964, et les essais du système complet se déroulèrent jusqu'en 1966, année à la fin de laquelle les premiers systèmes complets furent présentés en recette. La production des radars et leur montage sur les tourelles, y compris celles qui avaient été livrées sans radar, se poursuivit jusqu'en mars 1969 ⁽³³⁾

0615 Le pointage ⁽³⁴⁾ était réalisé optiquement à l'aide d'un viseur correcteur à partir des éléments fournis par le radar. Le chef de char et le viseur disposaient chacun d'un système de visée

- Le chef de char utilisait un viseur collimateur anti-aérien SAGEM 1B, dit aussi GS1C, de grossissement 1, porté par un pantographe assurant le parallélisme de l'axe de visée avec l'axe du canon quand la masse oscillante se déplaçait en site. Ce viseur permettait au chef de char de désigner l'objectif au tireur.

- Le tireur de son côté disposait d'un viseur collimateur anti-aérien SAGEM 4A, dit aussi GS 6C, de grossissement 6, également supporté par un pantographe.

0616 La correction de visée était définie par un calculateur analogique ⁽³⁵⁾ qui élaborait la position future de l'avion et introduisait la correction nécessaire dans la télécommande de pointage, en tenant compte

- de la télémétrie radar
- des positions et vitesses angulaires de la tourelle poursuivant l'avion
- des éléments balistiques

Cette correction-but était calculée pendant que le tireur effectuait la poursuite en manoeuvrant son palonnier. Bien qu'il y eut un décalage introduit entre les deux par le dispositif correcteur, il n'y avait pas réellement indépendance de la ligne de visée par rapport au canon. Le tireur devait donc être entraîné pour amortir les interactions entre la ligne de visée et l'orientation du canon, corrigée du dépointage. Par ailleurs le chef de char et le tireur disposaient chacun d'un viseur à prisme à tête mobile APX-M250 pour le tir sur but terrestre, bien que ce ne fut pas la finalité principale du matériel

0617 Le canon de 30 mm HS 831 était maintenant fabriqué en France par la Manufacture d'Armes de Tulle (MAT). Trois cents canons (300) furent réalisés de 1959 à 1954. Plus d'une centaine de tourelles furent construites et équipèrent 70

³³ La tourelle de la SAMM sans radar était désignée par S401, celle avec radar par S 401A

³⁴ Ces informations relatives à la conduite de tir sont issues du travail de l'IGA Deramond

³⁵ Dans le contrat conclu avec les américains, il est question d'un calculateur mécanique. Mais personne ne se rappelle d'un calculateur de ce type sur l'AMX 13 bitube, pas plus que sur l'AMX 30 bitube de 30, et encore moins sur le matériel vendu à l'Arabie Saoudite

véhicules *AMX 13 bitube de 30*, livrés à l'armée française en 1969-70 pour l'autodéfense du corps de bataille (³⁶). Le poids total du bitube 30 mm sur châssis AMX 13 était, en ordre de combat, de 17,8 tonnes. L'équipage était composé de trois hommes : un chef de pièce, un pointeur-tireur, et un pilote.

0618 On devait vite constater que la tourelle SAMM était un peu trop lourde pour le châssis AMX 13, et que cela constituait une limitation pour les capacités d'évolution du véhicule. Aussi, dès 1965, le GIAT étudia-t-il une version sur châssis AMX 30, et ce fut cette version qui fut systématiquement proposée à l'exportation. Par contre cet AMX 30 DCA ne fut pas adopté par l'armée française. En 1975, l'Arabie saoudite conclut un contrat pour une version améliorée appelée AMX 30 SA, et qui conduisit en fait, à la conception d'un matériel sensiblement différent. La tourelle adoptée consistait en une amélioration par la SAMM de sa tourelle 410A, qui reçut alors la désignation TG 230A. Elle recevait le radar ŒIL VERT de Thomson, plus performant que *l'œil noir* installé sur les AMX 13 DCA (³⁷).

Les avatars des 20 mm entre 1958 et 1970

0619 En France, un canon de 20 mm, le 20.621 était en expérimentation constructeur en 1968. Il était destiné à l'armée de terre et à l'Armée de l'air. L'étude fut arrêtée fin 1968/début 1969 à la demande de l'EMAT qui, considérant que les performances de la munition choisies pour cette arme étaient insuffisantes, notamment en perforation, fit savoir qu'il envisageait l'adoption du canon allemand RH 202. En effet RHEINMETALL avait repris ses travaux dans le domaine de l'armement et avait abouti à la fin des années 60 à l'arme RH 202 qui tirait la munition standard 20x139 Hispano.

0620 Par ailleurs Hispano pouvait proposer l'arme HS 804 et l'arme HS 820. Quant à la France elle ne disposait dans la compétition que du canon MG 151 que nous avons déjà considéré, et du 20.621 que, comme on vient de le voir, l'Etat-major récusait. Devant cette situation, et sur proposition de l'Etablissement d'Etude et de Fabrication de Bourges (EFAB), la DEFA prit l'initiative de lancer à ses risques et périls l'étude d'un canon de 20 mm qui aboutira au 20.693. Les performances de ces différentes armes sont résumées dans le tableau ci-après (cf. Bailly page 51)

Arme		Munition de 20 mm			
type	Cadence (cps/min.)	type	Poids total Grammes)	Poids explosif (grammes)	V ₀ (m/s)
MG 151	700	20x82	210	9	720
HS 404 et HS 804	600 à 700	20x110	255	14	840
20.621	700	20x102	255	9	975
20.693 HS 820	600 à 1000	20x139	310	10	1050

³⁶ Deramond affiche une centaine de viseurs optiques de chaque sorte (chef de char et pointeur) produits en série, et Thomson comptabilise la vente de 80 radars œil noir (cf. AICPRAT, radars de surface de Thales)

³⁷ Ces informations concernant l'évolution vers le châssis AMX 30 et l'amélioration de la tourelle SAMM proviennent de souvenirs de Thomson et se trouvent aussi dans le Jane's. Plusieurs composants de cette tourelle TG 230 A entrent dans le système bitube 30 mm Dragon . voir Jane's 1983 *Turrets and Cupolas* pages 771 & 772 et aussi la section *Self propelled anti-aircraft guns and surface to air missiles*.

RH 202					
--------	--	--	--	--	--

0621

La lente maturation des armes de 20 mm a retardé l'étude et la réalisation des tourelles. Parmi celles qui furent réalisées à cette époque, il faut signaler

- la tourelle SAMM / TGS 530, équipée de deux canons AME 621 et montée sur AML Panhard. Son poids était de 1.800 kg. Elle pouvait atteindre des vitesses en gisement de 80 degrés par seconde. Elle utilisait un viseur correcteur optique APX L 834-13. Les canons tiraient à une cadence de 700 coups par minute et le stockage de la tourelle était de 600 munitions. Cette tourelle devait également être montée sur véhicule de l'avant blindé (VAB).

- la tourelle SAMM / TGS 521, variante de la précédente, mais avec deux canons Hispano HSS 820 L.

----- * -----

Chapitre 7

Après 1970

----- * -----

0701 Dans les années 70, les missiles prennent leur place dans les dispositifs de défense anti-aérienne. Le HAWK est en service dans les régiments d'artillerie sol-air depuis 1963, le ROLAND sera adopté en 1975 et 1976 et sera livré aux unités à partir de 1978. Les 40L60 disparaissaient alors des dotations, les derniers ne subsistant pas au-delà de 1983. Le CROTALE équipera l'armée de l'air pour la défense des bases à compter de 1970. Néanmoins, les canons automatiques ne furent pas pour autant éliminés des réflexions, comme en témoigne un article du général SCHMAUTZ dans la revue de l'armement de juin 1972 et une réflexion de LIBOIS, apparemment interne à SAGEM et qui est datée de novembre 1979.

Armes de 30 mm

0702 L'obtention à l'exportation d'un important marché de tourelles bitube de 30 mm sur AMX 30 renouvela l'intérêt de ce système d'arme et sa fabrication en série. Les enseignements du conflit du Moyen Orient en 1973 conduisirent à réexaminer les fonctions de DCA qui peuvent être assurées par ce matériel bitube de 30 mm de l'ordre de 5 tonnes de masse roulante, soit dans le cadre du remplacement progressif des 40L60 modernisés à un pointeur, soit pour la défense des zones sensibles en association avec le Crotale ou le Roland.

0703 Ce matériel devait permettre d'attendre la génération future d'armes de petit calibre tirant en salve. On fondait alors quelques espoirs pour les années 80 dans certaines réalisations telles que MEROKA en Espagne), ou des armes de type JAVELOT (tirs de roquettes en salves organisées de la THOMSON dont il sera question dans la suite).

Armes de 20 mm

Modernisation des affûts 53 T1 et 53 T2

0704 Le calibre de 20mm revint à l'honneur au début des années 70 avec la mise au point de munitions plus performantes, et surtout l'adoption du canon 20.693, sous l'appellation officielle de canon 20mm F2, avec une vitesse initiale V_0 de 1000 m/s et une cadence 750 coups par minute.

0705 L'armée française envisageait d'acheter, en compensation d'un marché de l'Aérospatiale avec la Norvège, des affûts construits dans ce dernier pays sous licence Hispano (type S1 avec pointage aux pieds). Claude LIBOIS, appelé comme conseil par la DEFA, rappela que des expérimentations effectuées en 1951 avaient déjà révélé l'inefficacité de ce matériel et avaient conduit à l'époque à lancer le programme dont il a été question au chapitre 5 (alinéa 0511). L'EMAT estima alors que la DCA des unités d'infanterie pourrait bien être assurée avec cet affût, baptisé **53 T1**, à condition de remplacer le canon de 20 mm MG 151 par un canon 20 mm F1. L'étude

en fut donc lancée en 1972 à la SAGEM, sous la direction de l'EFAB (ex ABS). A la suite d'essais menés en 1973, l'adoption fut prononcée en 1974. et 14 affûts 53 T1, transformés pour recevoir le canon 20mm F1, furent livrés de 1976 à 1978.

L'affût à pointage intégral (cf. planche 18)

0706 Parallèlement, en juin 1973, la DTAT présentait à l'EMAT un nouveau concept d'affût plus ergonomique, dit à *pointage intégral* où le tireur accompagne constamment l'arme au cours de ses mouvements, en site et en gisement, en "faisant corps" avec elle et avec le viseur. Ce concept avait été élaboré en étroite collaboration avec la section "Ergonomie" et ses médecins militaires de la Section Technique de l'Armée de Terre. Le vif intérêt manifesté par l'EMAT conduisit la DTAT, en décembre 1973, à demander à l'EFAB d'examiner, en liaison avec la SAGEM, la possibilité de réaliser un affût conforme à ce concept, mais en utilisant le maximum de sous-ensembles du 53 T1

0707 À l'issue d'une première phase d'étude, des essais sur maquette prouvèrent la validité et la faisabilité du concept. Effectivement le tireur, solidaire de la partie pivotante et oscillante de l'affût et commodément installé en position semi couchée sur son siège, tête immobile et oeil constamment fixé sur le viseur, devenait capable d'améliorer très sensiblement la qualité et l'efficacité du tir : rapidité de pointage, réduction de l'erreur de justesse de la visée, exactitude de la poursuite. L'étude définitive de ce qui était en fait un nouvel affût (bien qu'utilisant des sous-ensembles du 53 T1 notamment le berceau et ses freins, ainsi que la motorisation) était confié à la SAGEM en août 1974. Après une expérimentation conduisant à son adoption en mai 1977, cet affût **53 T2** fut mis en fabrication, et 600 exemplaires furent livrés à partir de 1981. Précisons que cet affût pouvait être, et fut effectivement, soit tracté, soit monté sur camion.

Le Tourelleau GEC (1970-1975)

0708 Le problème de l'armement automatique de moyen calibre pour véhicule de combat d'infanterie (VCI) était dans les années 60 une préoccupation majeure des états-majors tant français qu'allemand. Par ailleurs, l'institut franco-allemand de recherche de Saint-Louis (ISL) menait entre autres, depuis sa création des travaux nombreux et divers concernant ce type d'armement et plus spécialement ses munitions, mais dans une perspective d'études amont. Enfin l'institut (Conseil d'Administration et Direction) avait le souci de tenter une association plus précoce des industriels des deux pays à ses travaux, pouvant conduire à une coopération franco-allemande non seulement au stade de la recherche, mais aussi aux stades du développement exploratoire, puis du développement et même de la fabrication.

0709 Partant de ces trois considérations, les ingénieurs généraux BILLON (DRME) et DERUELLE (DTAT) proposèrent en janvier 1956 à leurs partenaires allemands, qui acceptèrent aussitôt de mettre en place à l'ISL une structure nouvelle, de type horizontal, dit Groupe d'Étude et de Concept (GEC). La mission de ce groupe, auquel participeraient des chercheurs et ingénieurs responsables ou membres des laboratoires concernés de l'ISL serait de fédérer et orienter les travaux menés par ces laboratoires dans le domaine du moyen calibre (notamment munitions sans douille, projectiles Flèches en alliage lourd) et d'en susciter de nouveaux dans les trois domaines arme-

munition et montage (affût ou autre), en liaison avec des industriels des deux pays, en vue d'aboutir à un nouveau concept complet d'armement moyen calibre pour VCI, le plus novateur et le plus performant possible.

0710 Le GEC présenta ses conclusions et propositions en janvier 1971 . On se limitera ici au volet « montage », , les autres retombées des travaux du GEC étant traités dans la partie « armes automatiques » du tome 8 des travaux du ComHArT. Ce « montage » était un avant-projet de tourelleau moderne, apte à recevoir une arme de moyen calibre de haute puissance et à assurer la précision nécessaire au tir à grande vitesse initiale de munitions capables de perforer a grande distance, par impact direct, le blindage des VCI adverses.

0711 L'objectif militaire sous-jacent à l'étude du tourelleau GEC était de pouvoir armer un véhicule de transport de troupe essentiellement pour la lutte sol-sol contre des blindés légers et des personnels à découvert, mais aussi pour une mission complémentaire de lutte sol-air contre des aéronefs volant à basse altitude, grâce à un débattement en site de -5° à $+50^{\circ}$. L'idée directrice consistait à placer sur le toit du véhicule un canon mitrailleur automatique, fixé sur un support motorisé en site et en azimut, et à le télécommander depuis l'intérieur. Le système de visée, lié mécaniquement à l'arme, était repris par une caméra de télévision, ce qui permettait de déporter le poste de commande.

0712 L'Atelier de Construction de Puteaux (APX) et la firme allemande DIEHL furent associées à cette étude, l'APX étant chargée du concept de tourelleau et de la conduite de tir, et la firme DIEHL (Mr POLIZER) du concept d'arme automatique à munition sans douille. En 1970, l'APX (de BERNARDI et URVOY) s'est engagé dans l'étude et la réalisation d'une maquette fonctionnelle d'un système d'arme automatique, télécommandé, stabilisé sur un véhicule en marche et utilisant un canon mitrailleur de 20. 621. Cette étude exploratoire s'inscrivait dans les préoccupations nouvelles de l'APX, qui depuis quelques années s'intéressait à l'utilisation de la technologie inertielle. En effet, à la fin des années 1960 l'APX a étudié et réalisé le premier viseur gyrostabilisé du missile antichar ACRA.

Opportunité du 20 mm

0713 Au début des années 1971, l'EMAT exprima le besoin d'un matériel d'autodéfense anti-aérienne des unités du corps de bataille, s'inscrivant dans un programme de canon mitrailleur de 20 mm, destiné :

- en premier lieu à l'armement des véhicules de combat d'infanterie (VTT 13T et AMX 10P),
- à l'armement secondaire des chars AMX 30,
- et aussi à l'armement des hélicoptères de l'ALAT.

Pour ces diverses utilisations, le choix d'un canon de 20 mm se limitait en 1969 au canon allemand RH202 et au canon français 20.693. C'est ce dernier qui fut retenu mi 1971, à la suite des expérimentations concluantes de la STAT. Il a été adopté sous le nom de « **Canon de 20mm modèle F1** »

0714 À cette époque, à la suite d'échanges EMAT-DTAT au sein du groupe de travail consultatif (GTC) *canons de 20 mm*, l'EMAT demanda à la DTAT d'explorer les concepts de matériels d'autodéfense anti-aérienne basse altitude à base de canon de 20mm et d'établir les performances, coûts et délais de développement et de production des solutions envisageables.

- 0715 L'APX fut chargé d'explorer les meilleures solutions à l'aide de simulations technico-opérationnelles, d'aider à la spécification de la conduite de tir et de déterminer si un radar de veille était ou non nécessaire. En 1972 de nombreuses solutions furent proposées à l'EMAT. Elles comportaient, pour chaque concept, les coûts et délais de développement. Le coût unitaire de production pour la quantité de matériels à fabriquer et le délai de mise en service après adoption, elles s'étendaient d'un canon de 20 mm avec simple viseur à grille sans conduite de tir monté sur camion, jusqu'à un quadritube de 20 mm avec radar d'acquisition et élaboration du but futur dans le plan alaire, en tourelle à ciel; ouvert pour respecter le poids admissible par le châssis, qui était celui de l'AMX 10. Cette dernière solution, la plus élaborée, se rapprochait de la solution russe quadritube de 23 mm utilisée par les Égyptiens dans les derniers conflits du Moyen-Orient.
- 0716 Le général DUBOST, conseiller armement du chef d'État major de l'Armée de Terre, constata, au cours d'un entretien avec l'ingénieur général MAREST, chef du service DTAT/ASA, que compte tenu du nombre de matériels nécessaires pour assurer l'autodéfense de toutes les unités et des crédits budgétaires espérés, le choix ne pouvait se porter que sur le matériel le plus simple, avec viseur, sans radar ni conduite de tir, monté sur véhicule blindé léger à roues. Aucune suite immédiate ne put donc être donnée à ces dossiers très élaborés de l'APX.

Renouvellement d'intérêt de l'EMAT, pour le 20 m - Le VADAR
(Planche 19)

- 0717 La guerre israélo-arabe d'octobre 1973 montra l'importance de la défense anti-aérienne et la nécessité de matériels performants. Ceci renouvela l'intérêt de l'État Major dans ce domaine.
- 0718 En 1974 EMD, Électronique Marcel Dassault, obtint un contrat à l'exportation pour un matériel anti-aérien bitube de 20 mm. Ce matériel, développé sur fonds propres, fut présenté par EMD à l'EMAT au Centre d'Essais de la Méditerranée. Il était constitué d'une tourelle bitube à canons OERLIKON de 20 mm qui n'utilisait pas la logistique de base des munitions du canon de 20mm HS 820 d'HISPANO-SUIZA (société absorbée par OERLIKON en 1972), logistique que, à l'inverse, utilisaient les canons de 20 mm F2 et RH 202. Il était doté d'un radar de veille EMD nommé RODEO, associé à une conduite de tir GALILEO. Le châssis était un véhicule de transport de personnels, amphibie de la famille de l'AML, dérivé du M3 PANHARD (que n'avait pas adopté par l'EMAT) et transformé pour recevoir la tourelle.
- 0719 L'EMAT s'étant déclaré intéressé par le matériel présenté par EMD, la DTAT proposa d'élargir la compétition et d'ouvrir un concours entre industriels français sur un programme de spécifications techniques déduites des caractéristiques militaires fixées par l'EMAT, en utilisant le châssis français VAB à roues et le canon 20 mm F1 dont l'utilisation apparaissait indispensable pour n'avoir qu'une seule logistique de canons de 20mm pour toutes les utilisations sol-sol comme sol-air. Les industriels consultés séparément étaient EMD, GIAT, Thomson-CSF et SAMM, mais les trois derniers s'associèrent dans un groupement GTS.
- 0720 Il en résulta donc deux propositions:
- La proposition EMD, le VDA, dérivait de son matériel d'exportation décrit

précédemment, avec bitube de 20 mm OERLIKON (HS S 820), radar RODEO et conduite de tir GALILEO.

- La proposition GTS comportait un radar Thomson-CSF et une conduite de tir AMX APX.

Les performances et les coûts des deux propositions étaient voisins. D'une part le radar EMD présentait de meilleures performances. D'autre part, par contre, il y avait une organisation de la fonction feu plus satisfaisante chez GTS. En effet, outre bien entendu le conducteur en châssis, GTS plaçait deux servants en tourelle, tandis que EMD plaçait l'un en châssis l'autre en tourelle. L'avantage opérationnel de GTS était d'améliorer sensiblement les liaisons en opération et au combat des deux opérateurs de la conduite de tir.

0721 La proposition GTS fut donc retenue, mais avec emploi du **radar RODEO** d'EMD. Ce fut l'origine du programme VADAR (Véhicule d'Auto Défense Anti-aérienne avec Radar). Outre le radar qui assurait la veille, l'acquisition et la télémétrie, la conduite de tir comportait un viseur optique **APX / M 52**. Celui-ci permettait d'obtenir l'indépendance de la visée par rapport au canon. Grâce à une tête tournante par rapport à la tourelle et un système de contre rotations, ce viseur réalisait en effet la stabilisation de la visée indépendamment des évolutions de la tourelle et du canon, les oculaires, un pour le chef de char et un pour le tireur, occupant des positions fixes dans la tourelle. Au moment du tir, le canon était asservi au viseur après introduction des corrections de tir calculées ⁽³⁸⁾.

0722 Le développement, lancé en 1975 (sous la responsabilité de Jacques de BERNARDI au service DAT/ASA et de Jacques NAOUR au GIAT), prévoyait la réalisation de trois prototypes pour les essais constructeur et utilisateur. Au cours des essais de prototype de la STAT, l'EMAT estima que la couverture de veille fournie par le radar EMD présentait des insuffisances de portée, pour certains angles de pointage en site, notamment en basse altitude. Le développement fut arrêté en 1978 à la demande de l'EMAT, avant le début d'intégration du système et sans que soient étudiées les solutions techniques qui auraient permis de remédier aux insuffisances constatées. Cette décision de l'EMAT s'explique par les contraintes budgétaires, un glissement des délais et le progrès technique, à une époque où les perspectives ouvertes par les nouveaux concepts de missiles sol-air à très courte portée (SATCP) apparaissaient sans commune mesure avec les performances des canons de moyen calibre à grand débit de projectiles. Les deux prototypes du système VADAR sont au musée des blindés de Saumur.

Affûts de 20 mm pour l'Armée de l'Air (Planche 20)

0723 En 1976-1977; L'État major de l'Armée de l'Air lança un programme de défense anti-aérienne rapprochée de ses bases aériennes pour compléter la couverture assurée par les plusieurs propositions:missiles HAWK et CROTALE. L'appel d'offres, lancé par la DTAT, suscita deux candidatures:

- La société EMD présenta un affût bitube avec canon de 20 mm OERLIKON HSS 820 et conduite de tir GALILEO,

- Le groupe GTS (GIAT, Thomson-CSF, SAGEM) présenta plusieurs solutions:

* affût monotube 53 T2,

³⁸ L'IGA Deramond donne la description (probable d'après lui) de ce viseur, dont l'optique était de conception relativement complexe.

* affût bitube RHEINMETALL avec canon de 20 mm F2 et conduite de tir GALILEO P56,

* affût bitube de 30 mm. dérivé de l'affût SAGEM sur camion BERLIET 6x6 des années 50.

Le choix de l'Etat major de l'Armée de l'air (EMAA) se porta sur l'affût bitube RHEINMETALL. Quatre cents (400) matériels furent fabriqués par GIAT et SAGEM, et livrés à l'Armée de l'Air sous la désignation **76 T2** (cf. planche 21).

0724 Les affûts 53 T1 et 53 T2 étaient équipés d'un pointage hydraulique. Le moteur thermique à piston servait uniquement à mettre sous pression l'accumulateur hydraulique et une fois arrêté, il ne gênait ni la veille ni le tir par ses vibrations. Par contre, l'affût 76 T2, ayant besoin d'énergie électrique en permanence pour le fonctionnement de la conduite de tir Galileo P56, fut alimenté par un moteur rotatif type Wankel, provoquant moins de bruit et moins de vibrations qu'un classique moteur à pistons.

0725 Les canons de moyen calibre antérieurs au 20 mm F1 pouvaient tirer grâce à un panachage sur bande unique, des munitions de tous modèles à balistique extérieure identique, mais cette solution nuisait à l'efficacité des munitions perforantes. C'est pourquoi, dès l'origine, le canon 20 mm F2 fut conçu avec une double alimentation permettant le passage très rapide (en moins d'une seconde) et dans les deux sens, d'obus n'ayant plus la même balistique extérieure : obus explosifs, et obus perforants sous-calibrés à grande vitesse initiale (durée de trajet 3 secondes à 2 500 mètres).

0726 La cadence du canon 20 mm F2 (2 fois 750 coups par minute) s'avérant insuffisante, l'affût 76 T2 fut équipé d'une nouvelle version du canon 20 mm F 2 à cadence augmentée : le 20 mm F2 ACA, avec 2 fois 900 coups par minute.

0727 Pour perfectionner l'affût RHEINMETALL, le groupe GTS lança en 1978 l'étude d'une conduite de tir destinée à remplacer la conduite de tir GALILEO. Elle aboutit au *bloc de pointage de THOMSON-SAGEM-GIAT (BPTSG)* développé dans le cadre de l'article 90. Ce système de conduite de tir comportait un télémètre laser, un viseur gyro-stabilisé, un calculateur digital et un asservissement de puissance électrique. Il subit de nombreux essais constructeur et des essais utilisateur au centre d'essais des Landes à partir d'octobre 1980. Ses performances furent jugées remarquables. L'affût pouvait d'ailleurs être utilisé pour des calibres supérieurs, 25 mm, 30 mm et même 40 mm. Cette modernisation améliorait sensiblement l'ergonomie, la précision, la capacité de s'intégrer dans un système global de défense et la maintenabilité, grâce notamment à une conception modulaire. Néanmoins elle ne fut pas retenue, pour des raisons budgétaires.

Tourelleaux et tourelles de 20 mm (Planche 21)

0728 Le canon de 20 devenait l'arme la plus courante de défense anti-aérienne rapprochée, et remplaçait - ou complétait - progressivement les mitrailleuses de 7,62 mm et de 12,7 mm encore en service sur les tourelleaux et tourelles de véhicules. C'est ainsi qu'à partir de 1978, la MAS (Manufacture Nationale d'Armes de Saint-Etienne) étudia développa et fabriqua des tourelleaux et des tourelles, sous le nom de TOUCAN I et II; ils étaient prévus pour le combat en ambiance normale ou en ambiance NBC.

0729 Le tourelleau TOUCAN I (ou T20-13) permet de valoriser les VTT AMX 13 et peut se monter sur tout type de VTT. Il comporte un canon mitrailleur de type 20 mm F1 ou 20.621 plus léger, jumelé à une mitrailleuse de 7,62 mm. Le pointage en site peut varier de - 13° à + 50°, les armes ayant une double mission de défense terrestre et anti-aérienne.

0730 La tourelle biplace TOUCAN II (ou TH20) successeur du TOUCAN I, équipe l'AMX10P. L'optique de pointage est celle du Toucan I, mais complétée par une lunette à intensification de lumière pour le tir de nuit.

Le système lance-roquette Javelot (Planche 22

0731 Le système d'armement anti-aérien Javelot consistait en un lance roquette multitube, doté d'une grande puissance de feu (64 tubes) lançant par effet canon des roquettes de 40 mm d'un poids légèrement supérieur à un kilogramme (1.030 grammes) à une vitesse initiale de $V_0 = 1100$ m/s. Ces roquettes pourvues d'une propulsion additionnelle sur trajectoire et stabilisées par empennage atteignaient 1100 m/s, soit à 2.000 mètres une durée de trajet de 2,8 s. La charge de 400g de la tête militaire pouvait être déclenchée par une fusée à impact ou une fusée de proximité. Le tir s'effectuait par salve de 8 roquettes, « organisées » dans l'espace (directions de tir différentes) et répétées dans le temps (départ successif de salves). L'originalité de ce principe et la qualité de la conduite de tir sont à mettre au crédit de Thomson-CSF. Il est reconnu que, pour un même nombre de coups tirés, le tir de salves, s'il est plus contraignant pour l'affût que le tir en rafale, est plus efficace. L'organisation de la salve consistait à choisir les tubes lanceurs dans l'ensemble multitube, en fonction de la présentation de la cible avion (avion vient, avion défilant, etc ...) Les études Thomson-CSF ont été conduites par MM. BILLOTET et GUILBAUD. Le lance roquette et les munitions furent étudiées par THOMSON-BRANDT sous la direction de M.CREPIN..

0732 Le programme, qui était relativement important (environ 100 MF) a été financé par les États Unis (service de Chicago) au titre des échanges «*two way street*» entre la France et les USA , en ce qui concerne le développement exploratoire et la maquette probatoire lance roquettes multiples. Le programme suivi en France par la DTAT (ICA de BERNARDI), se déroula de 1970 à 1973 mais ne fut pas poursuivi.

----- * -----

Chapitre 8

Epilogue

----- * -----

Les tentatives d'exportation

- 0801 Malgré le renoncement de l'EMAT à adopter le VADAR, les divers industriels n'en restèrent pas là, et ils continuèrent à proposer à l'exportation des matériels à base de canons de 20mm, soit sous forme de système complet de défense anti-aérienne, soit sous forme de matériels, soit enfin en se limitant (en tant que sous-traitant), à des composants essentiels, tels en particulier les viseurs. Mais il faut bien constater que les succès furent rares.
- 0802 C'est ainsi que la société Electronique Marcel Dassault proposait un système complet de défense rapprochée de bases aériennes baptisé TA20-RA20 qui utilisait comme élément de base ses véhicules VDA dont il a été question plus haut. Ils étaient organisés en réseau avec un véhicule leader équipé du radar RA 20⁽³⁹⁾, qui transmettait aux véhicules satellites les éléments de tir. La société a fourni ce système à un pays étranger
- 0803 Une autre version de même type, l'AA 20, était constituée d'affûts répartis sur le terrain à protéger autour d'un poste central. Elle ne dépassa pas le stade de projet, même si on le voit apparaître dans les catalogues des expositions de Satory
- 0804 A la même époque Thomson-CSF prenait l'initiative de lancer le programme SPAAG avec une tourelle SABRE de la SAMM. Un prototype fut réalisé pour un pays étranger, avec un châssis AMX30B2 ou AMX10RC. Le radar était l'ŒIL VERT. Un autre matériel SYLLA ne fut pas non plus fabriqué en série
- 0805 De son côté, la SAMM proposait une tourelle TTB 40 qui fut réalisée en prototypes pour la Suisse et la Norvège avec canons de 40L70 BOFORS montée sur châssis AMX chenillé (cf. catalogue Satory 90).
- 0806 Le GIAT, lors des expositions de Satory présentait les affûts qui avaient été développés pour les armées françaises :
TARASQUE, dénomination du 53 T2 pour l'exportation.
CERBERE, autre nom du 76 T2, mais dans la version équipée du viseur BPTSG, qui n'avait pas pu être retenue par les services français, malgré ses incontestables qualités.
Il y eut aussi un affût bitube développé en collaboration avec la société CETME (Espagne) sur le principe du 53 T2, le CENTAURE.
Le 53 T4, affût bitube avec dispositif à visée optique d'aide à la désignation d'objectif (DALDO) qui ne fut pas fabriqué en série. DALDO consistait en un viseur de casque comportant un gyromètre auquel était asservie la motorisation de l'affût.
Enfin citons l'affût LM811 avec canon de 25 auto mécanique 25M811, avec viseur GSA de FERRANTI.

³⁹

Noter que le radar RA20 ne doit pas être confondu avec le RODEO

Tous ces affûts bénéficiaient des progrès réalisés dans les conduites de tir : les viseurs étaient gyrostabilisés rendant, comme on l'a vu plus haut, la visée et par suite la poursuite indépendante des mouvements du canon. Malgré cela on n'a pu relever aucun succès notable pour l'exportation de ces matériels.

Situation en 1990

0807 A l'approche des années 1990 il restait en service dans l'Armée de terre française, outre les missiles HAWK, ROLAND et bientôt MISTRAL, des canons de moyen calibres destinés essentiellement à l'autodéfense des unités. Il s'agissait de l'affût 53 T2 avec son canon de 20 mm, l'armée de l'air restant de son côté dotée de ses affûts 76 T2. ⁽⁴⁰⁾. Mais désormais, ni GIAT-Industrie, ni les autres industriels ne proposent de canons pour la lutte contre les aéronefs: Pour les avions on considère que seuls les missiles seront à même de s'opposer aux actions des appareils modernes, et pour les hélicoptères, on estime que les armes classiques du combat sol-sol pourront apporter un complément suffisant aux missiles SATCP, sans que cela justifie des développements spécifiques. Par ailleurs il est prévu le remplacement du système Hawk par le SAMP ASTER, et son radar ARABEL ⁽⁴¹⁾, avec interception des avions jusqu'à 30 kilomètres, mais aussi avec la capacité de s'opposer aux missiles ennemis

0808 Un groupe d'étude (cellule anti-aérienne DAT crée par note 695 DAT CST du 2 décembre 1986) étudia la question, en liaison avec la Direction des Engins. Les conclusions sont sans ambiguïté:

face à des cibles ne manoeuvrant pas et en défilement faible, les canons et les missiles ont une efficacité comparable

face à des hélicoptères en vol stationnaire, les canons et les missiles ont également une efficacité comparable

face à des hélicoptères en vol tactique, les missiles ont une efficacité double de celle des canons, c'est-à-dire que dans les scénarios considérés les missiles abattent deux fois plus d'hélicoptères que les canons

face à des avions effectuant des évasives, les canons ont une faible efficacité

0809 À l'approche des années 1990, on s'est posé une autre question. Etant donné la densité d'occupation de l'espace aérien basse altitude par les forces amies ou ennemies, il convenait de se préoccuper de s'opposer efficacement à celles-ci sans gêner celles-là. Telles fut l'objet du lancement de l'étude d'un système d'aide au commandement, baptisé MARTHA. Indépendamment des difficiles problèmes techniques que cela ne manquait pas de poser, il existait aussi une délicate question à propos de la délimitation entre les compétences de l'Armée de l'air et celles de l'Armée de terre d'une part, et d'autre part entre les domaines d'activité qui étaient dévolus à chacune des directions techniques de la DGA. Mais cela sort du cadre du présent ouvrage.

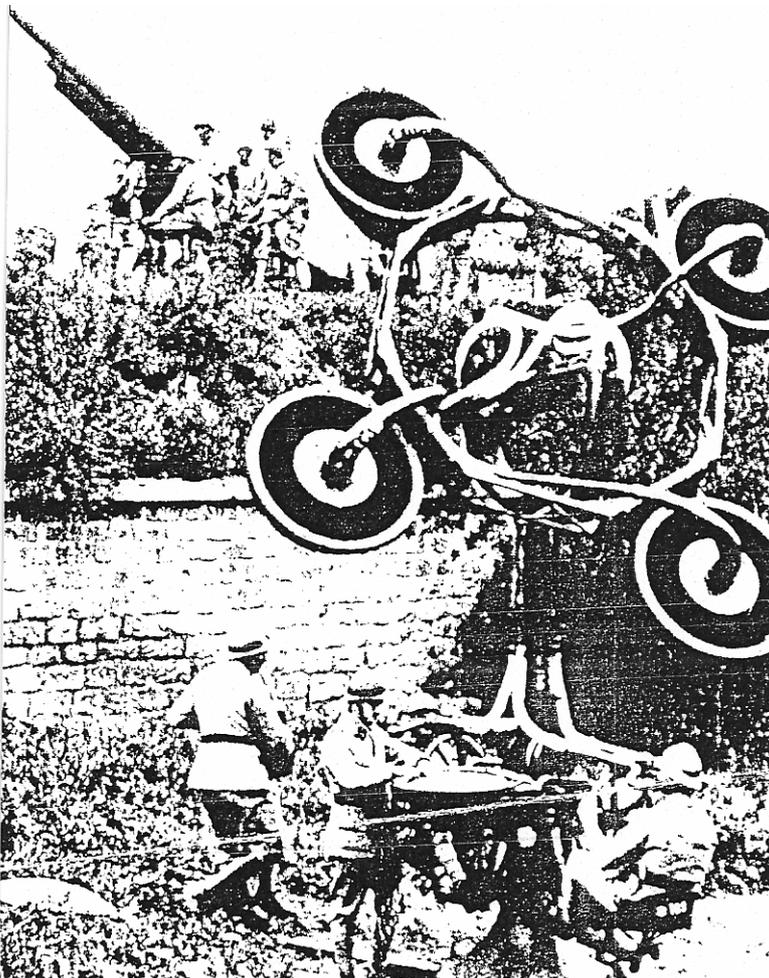
----- * -----

⁴⁰ Revue de l'armement N°70 (juin 2000), article de l'ICA Pauchon et du colonel Monpeysson

⁴¹ La DTAT, et plus précisément la SEFT, apporte son concours à la direction des engins pour l'étude du radar Arabel

PLANCHES

La batterie de 75 mm modèle 32



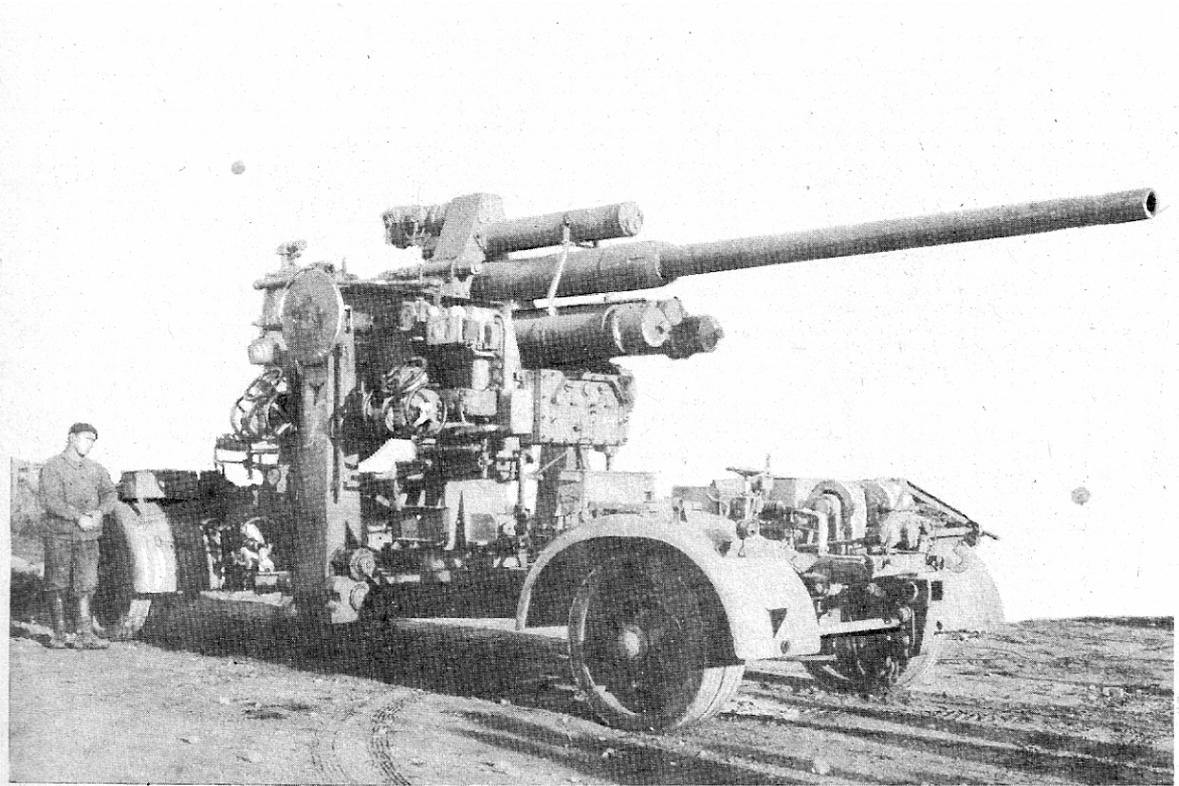
Poste d'écoute BBT M^{le} 1931 avec table d'extrapolation



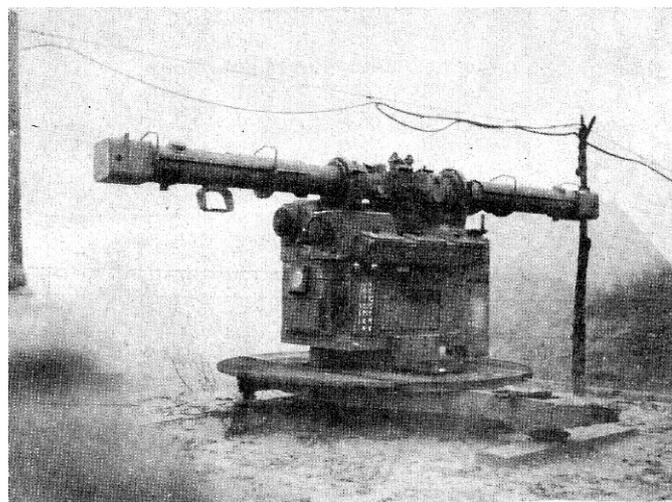
Télémetre SOM et PC Riberolles M^{le} 1932

Planche 2

**Le matériel de 105 FLAK allemand
et le Kommandogerät 40**



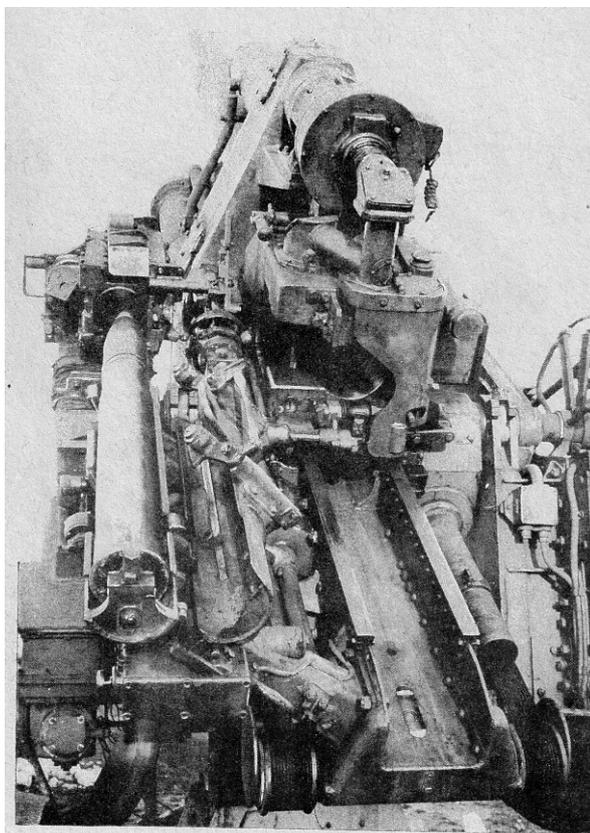
105 FLAK en position de route



Kommandogerät 40

Planche 3

Le temps mort de manœuvre



Pour obtenir l'éclatement de l'obus à proximité de la cible, on le provoque après un temps convenablement calculé par le poste de tir, et cela grâce à une fusée *tempée* qui devint très tôt chronométrique, avec un mouvement d'horlogerie démarrant au départ du coup.

D'abord réalisé à la main, ce *tempage* introduisait un délai, dit *temps mort de manœuvre* entre l'instant de détermination de la durée de trajet du projectile et le tir effectif (réglage de la fusée, chargement, fermeture de la culasse et tir), alors que le pointage du canon pouvait, lui, être ajusté jusqu'au moment du tir. On avait donc avantage à réduire au maximum ce temps mort de manœuvre

Un perfectionnement intervint en dotant la pièce d'un *réglair*: le projectile était déposé sur une planchette parallèle à l'axe du tube et solidaire de celui-ci. Le réglair était automatiquement poussé contre la fusée qu'il faisait tourner jusqu'à la position donnée par le calculateur, le réglage étant ensuite maintenu de façon continue. Au moment du tir, le chargeur actionnait un levier qui provoquait le transport du projectile dans l'axe du tube, et son chargement en vue du tir immédiat.

La photographie ci-dessus est celle du réglair du 105 FLAK allemand. Un dispositif similaire existait sur le 90 mm US

Bien entendu, ce temps mort de manœuvre n'avait plus de raison d'être avec un projectile muni de fusée de proximité.

Planche 4

Pièce 90 US
et son domaine d'efficacité

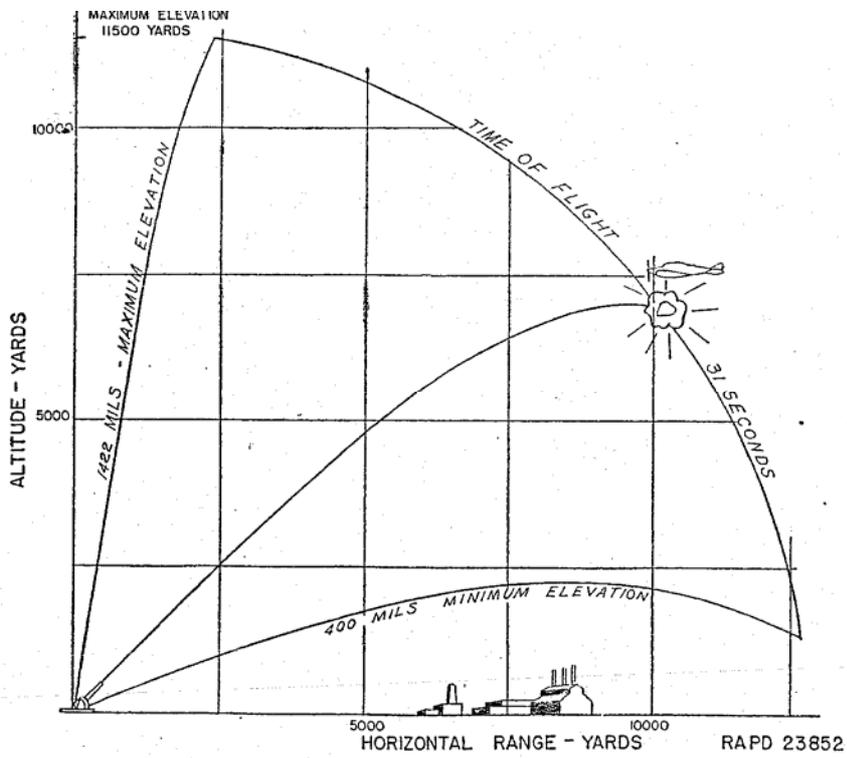
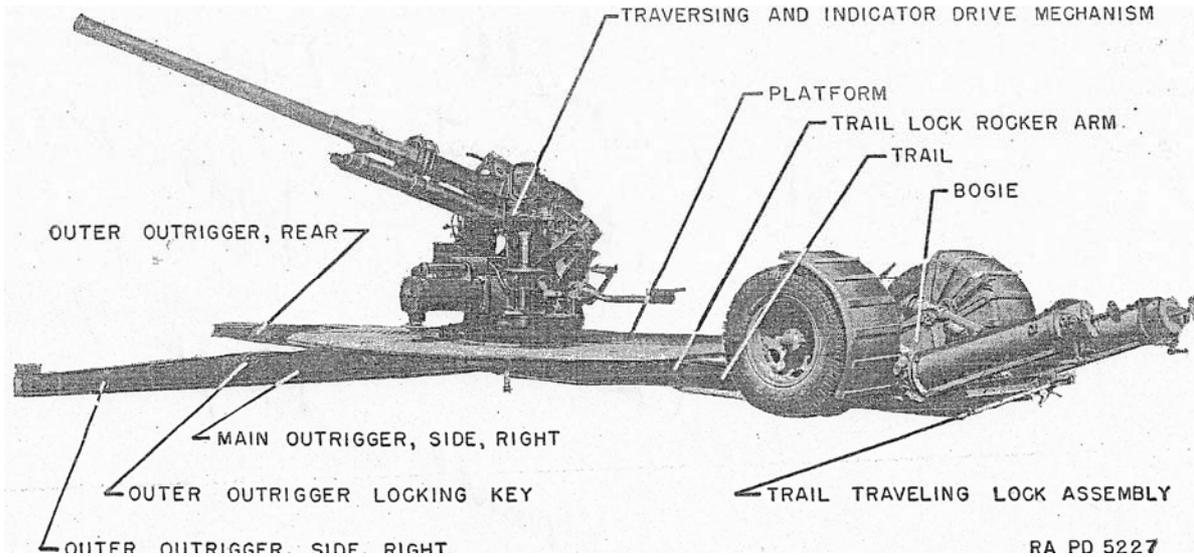
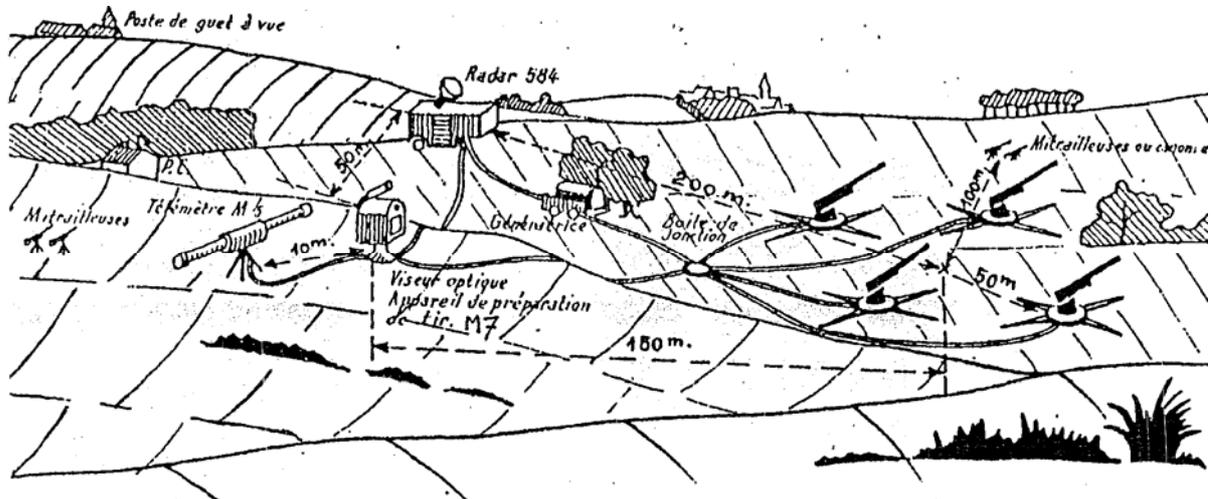
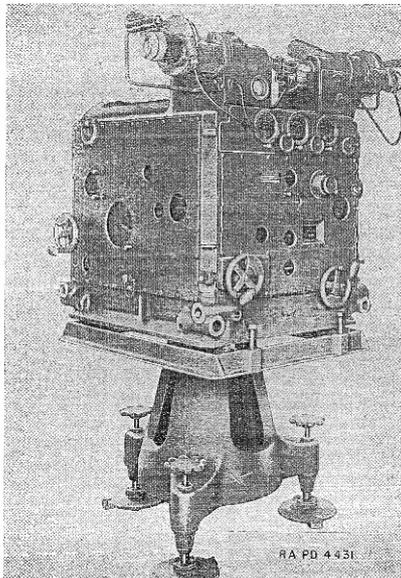


Planche 5
La batterie de 90 US
et le poste central M 7



Extrait de l'ART 408 de 1957



La batterie de 90 US comportait quatre canons, un radar d'acquisition R 584, un télémètre optique, et le poste central M 7 (ci-contre) avec sa lunette de visée. Il contenait un calculateur entièrement mécanique.

La batterie française conservait la même organisation, mais le radar 584 était remplacé le radar de tir COTAL, et le poste central M7 par le PHF 90 complété d'un poste optique OPL. Il s'y ajoutait un radar de veille et d'acquisition ACAL.

Les mitrailleuses ou canons de moyen calibre étaient destinés à assurer la protection rapprochée de la batterie.

Extrait du Manuel technique

Planche 6

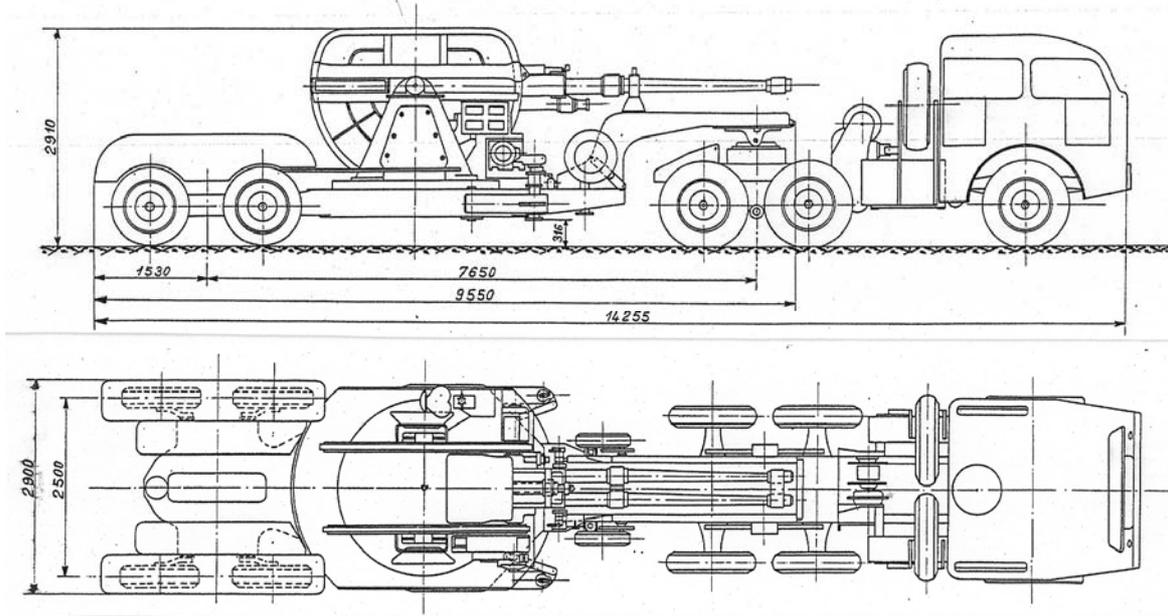
Canon SFAC antiaérien de 105 mm

(prototype)



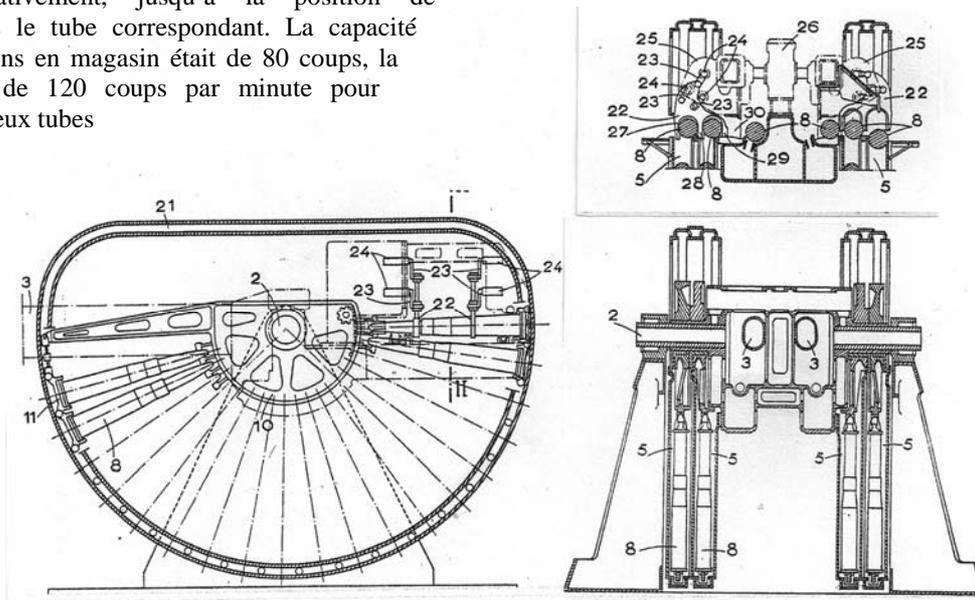
Planche 7
Projet SFAC de canon 90 bitube

Matériel en ordre de route tracteur attelé

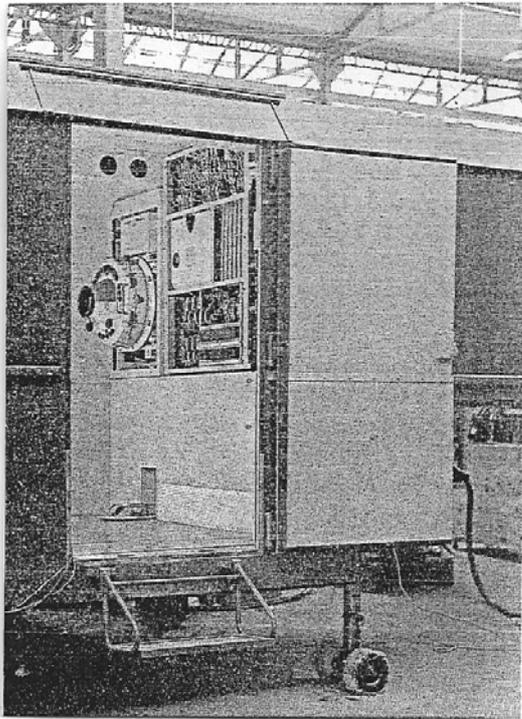


Système d'alimentation et de chargement automatique
 d'après un brevet de Société des Forges et Ateliers du Creusot

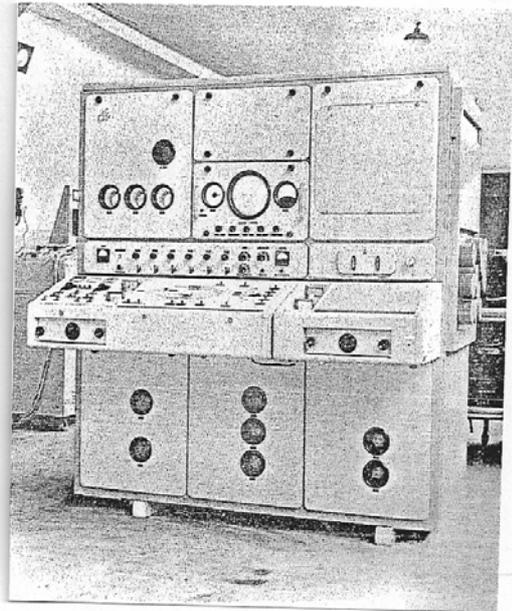
Pour chacun des deux tubes deux secteurs circulaires centrés sur l'axe des tourillons amènent les munitions parallèlement à l'axe du canon, puis par translation latérale, elles sont portées depuis chacun des secteurs, alternativement, jusqu'à la position de chargement dans le tube correspondant. La capacité totale de munitions en magasin était de 80 coups, la cadence de tir de 120 coups par minute pour l'ensemble des deux tubes



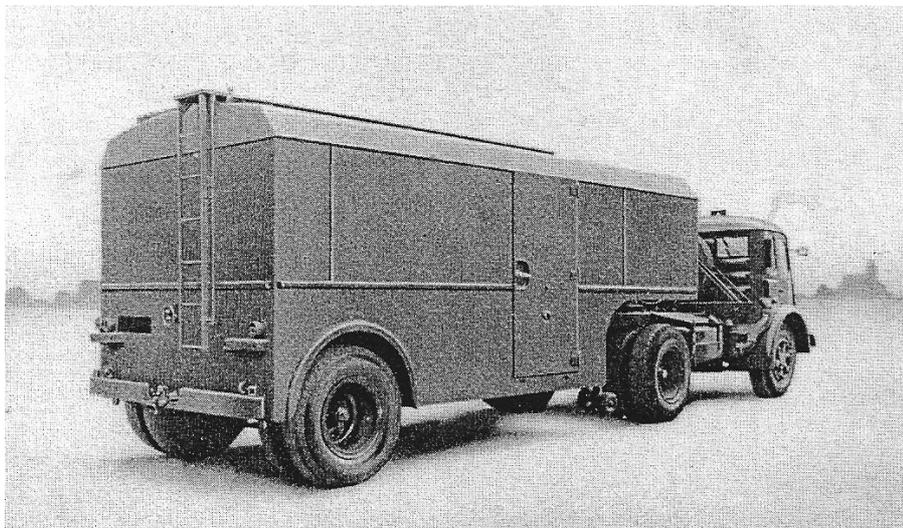
Appareil de préparation de tir PHF 90



Remorque ouverte laissant apercevoir l'indicateur panoramique

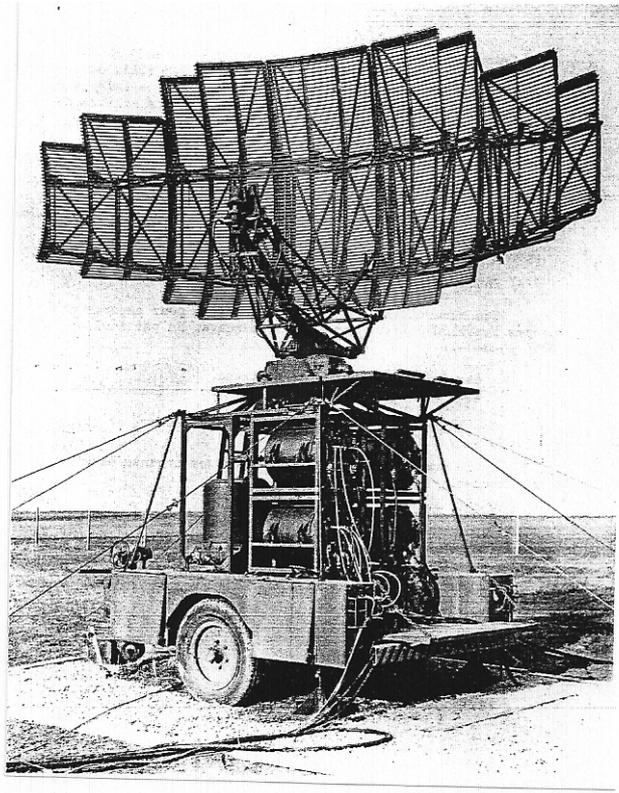


Meuble calculateur



Semi-remorque APT HF 90 attelée
Longueur de la semi-remorque 6 mètres, pour une largeur de 2,4 mètres et une hauteur de 2,75 mètres

Planche 9
Radars de la batterie française de 90

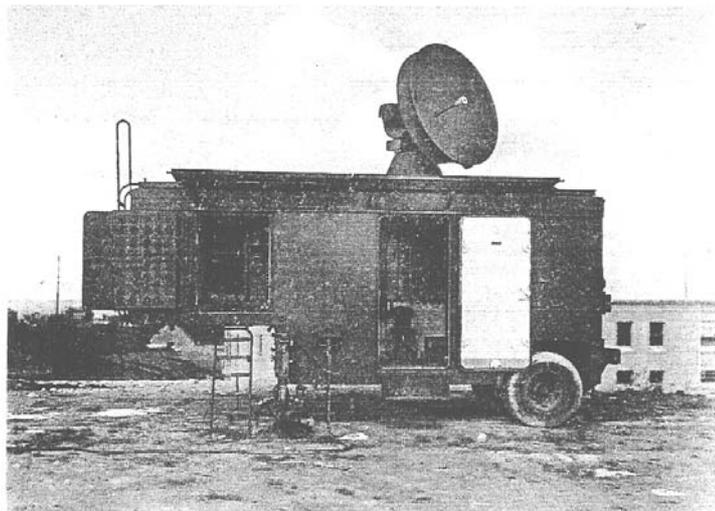


Radar d'acquisition ACAL

Le développement de ce radar fut mené jusqu'à son terme, mais il ne fit pas l'objet de fabrication en série en série

Radar de tir COTAL

Développé à l'origine pour la batterie de 90 US, ce radar devait par la suite recevoir de multiples applications



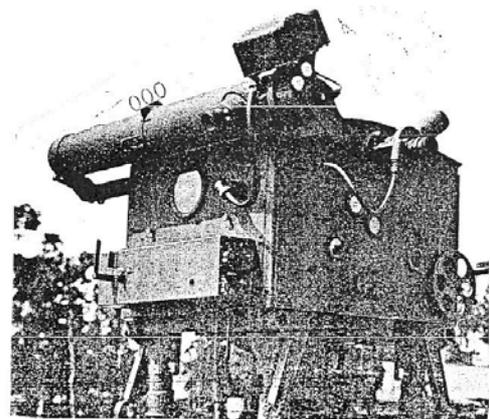
N.B. - Ces radars feront l'objet d'un exposé dans le tome des travaux du ComHArT relatif aux équipements électroniques

Planche 10
Pièce de 40 mm Bofors

en position de tir
et poste central M5



Pièce de 40 L 60 Bofors en position de tir

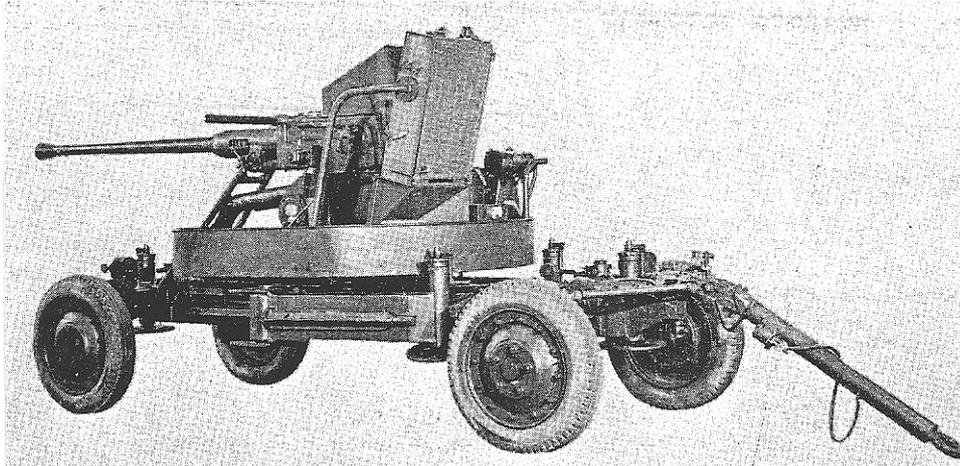


Appareil de préparation de tir M5

Planche 11

Canon de 40 L 60 Bofors

M^{le} 39-55-T1



Mise à feu au pied par le pointeur

Etagère à munitions : 6 lames chargeur, soit 24 cartouches

Poids d'une lame chargeur de 4 cartouches: 9 kg

Mise en batterie tir direct 2 minutes

 Tir indirect 30 minutes

Matériel en ordre de route 2967 kg

Pointage manuel

 hydraulique: G, 100 à 110 degré par seconde, S 50 degrés par seconde

Canon calibre 40 mm , longueur 56,24 calibres (2,25)

$V_o = 850$ m/s

Cadence 120 coups / minute

Autodestruction à environ 3 200 m et 7 secondes

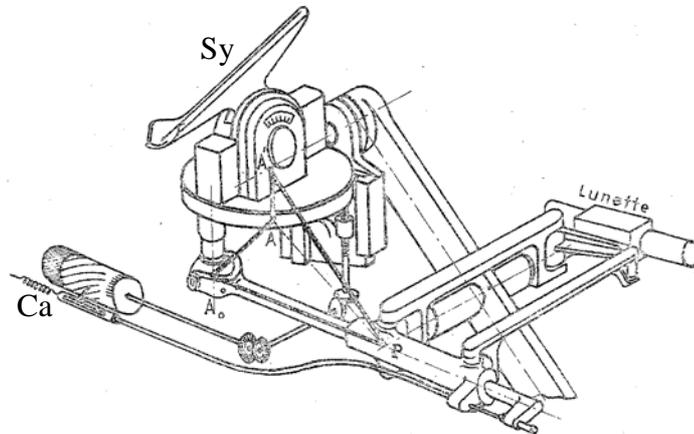
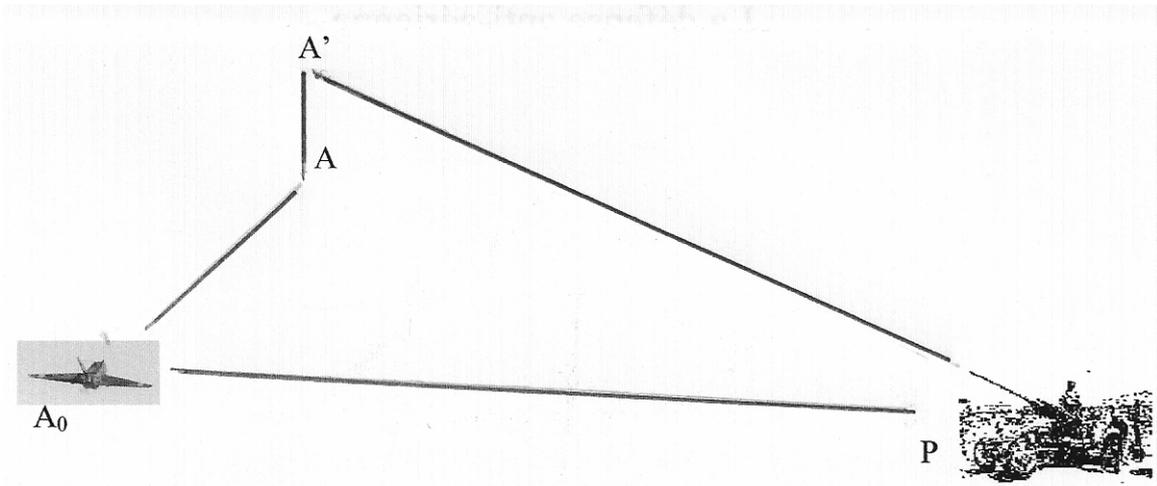
Portée maximale sans autodestruction 10 km

Distance efficace de prise à partie 1.500 mètres

D'après catalogue STAT 1959

Le correcteur de tir LPR

A_0 = avion actuel
 A = avion futur
 A_0A = route de l'avion
 $A'A$ = abaissement balistique
 PA_0 = visée actuelle
 PA' = axe du canon lors du tir

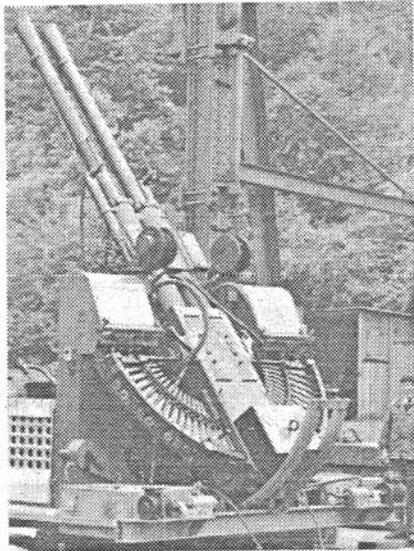


L'opérateur aligne le symbole Sy parallèlement au fuselage de l'avion ; et il affiche la vitesse estimée. La déformation du quadrilatère réalise alors automatiquement le décalage convenable entre la visée et l'axe du canon, en tenant compte des éléments balistiques introduits grâce au camoïde Ca

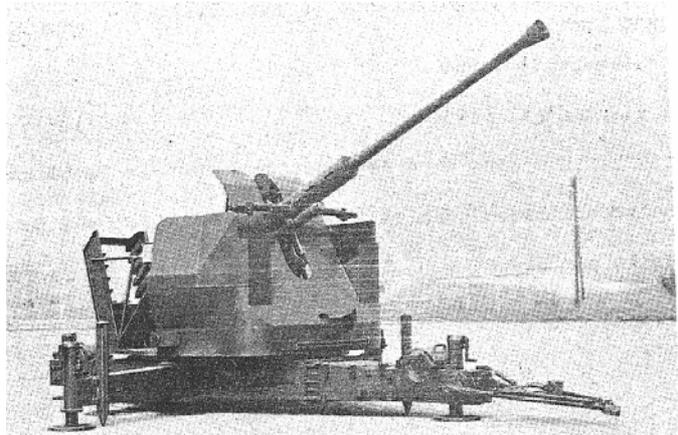
**Matériel 57 L 60 Bofors
sur affût Marine**

et

**Matériel 40 AA Mle 51 T1
(40 L 70)**



**Matériel Bofors 57 L 60
sur tourelle Marine**
d'après Ruelle



Matériel 40 L 70

Poids du matériel en ordre de route = 5060 kg

Poids du matériel en batterie (sans train de roues) = 3860 kg

Champ de tir horizontal = 6 400 millièmes

Champ de tir vertical = de -88 à +1 600 millièmes

Pointage manuel

moteur = max 1600 millièmes /sec en gisement

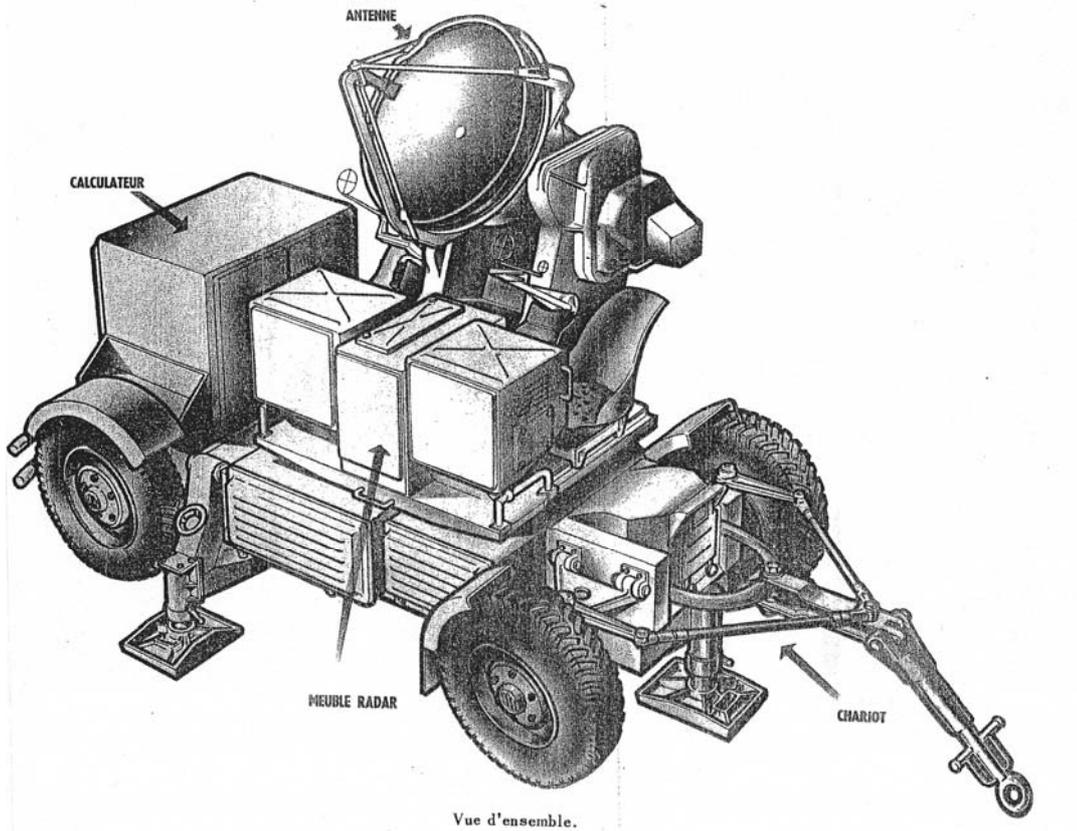
800 millièmes en site

Calibre = 40 mm

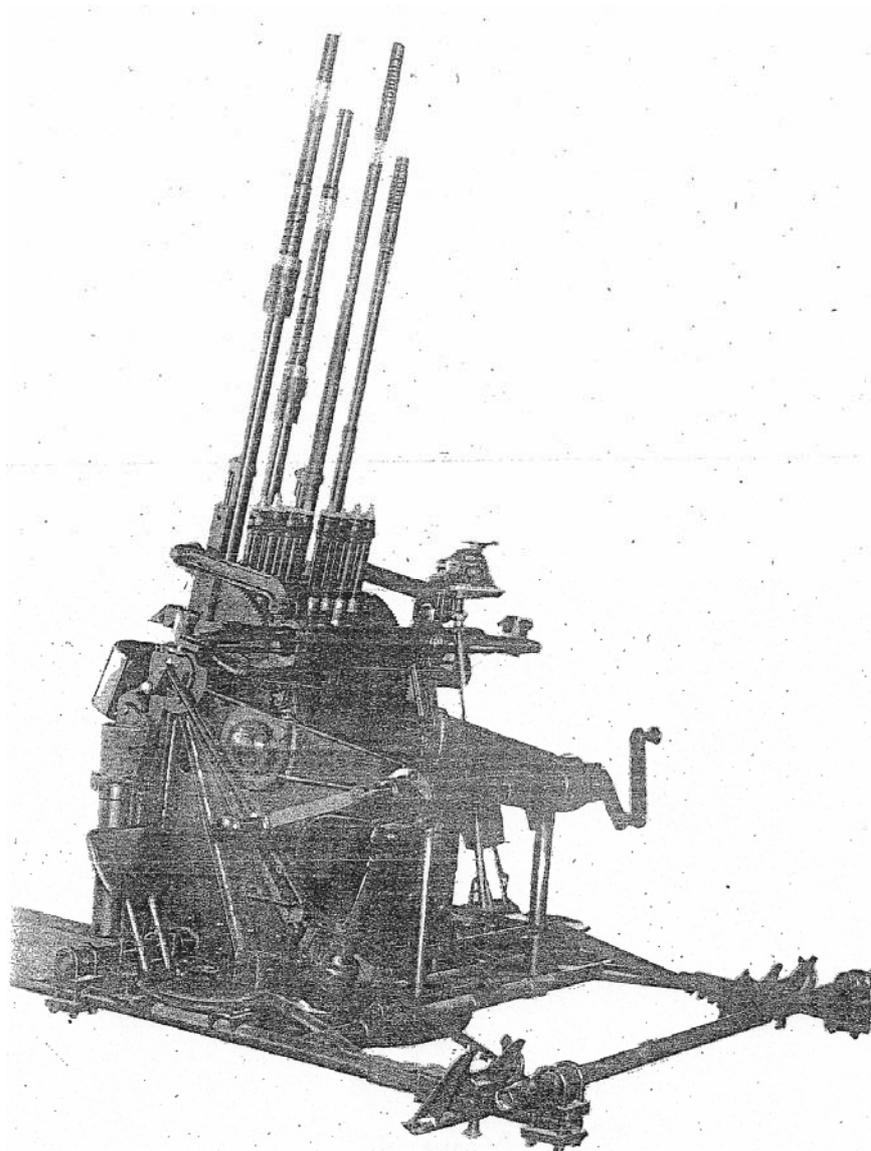
$V_o = 993$ m/s

d'après catalogue STAT 1959

Télépointeur calculateur pour canon de 40 L 70

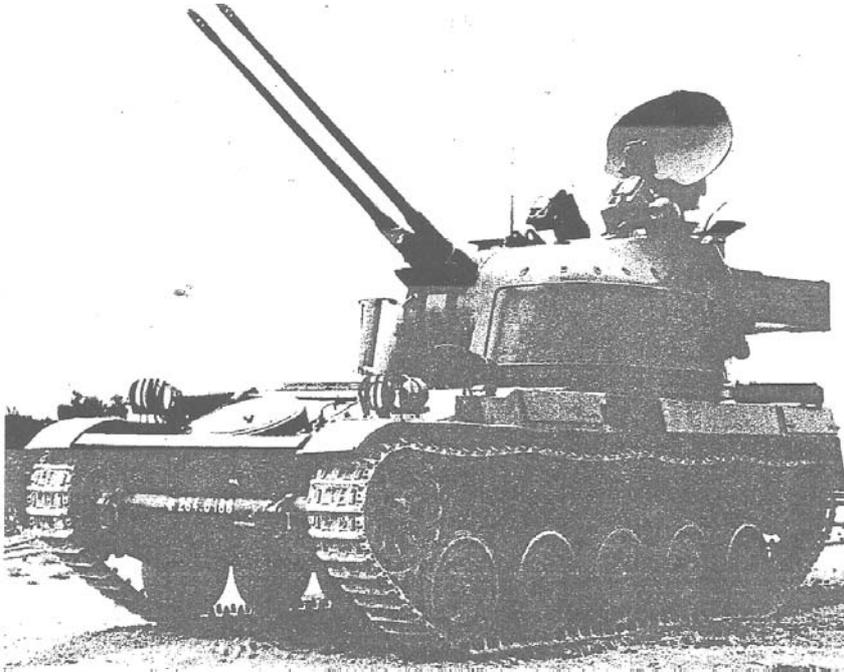


**Affût quadruple pour mitrailleuses de 20 mm
20 HS 404**



- poids de l'affût sans les armes et les chargeurs : 1300 kg
- rayon d'encombrement : 2,70 mètres
- chargeur à barillet de 60 cartouches de masse 17 kg
- masse de l'obus 130 grammes
- masse de la cartouche 250 grammes

Bitube de 30 mm antiaérien automoteur Sur châssis AMX 13



Système d'arme destiné à la protection antiaérienne à basse et très basse altitude

Tourelle SAMM - S 401A - Les armes sont des canons de 30 mm HSS 831 d'Hispano-Suiza, fabriqués sous licence à la MAT. La portée pratique est de 2 000 mètres

Le pointage est réalisé optiquement à l'aide d'un viseur correcteur. La correction de visée est définie par un calculateur analogique qui reçoit aussi la télémétrie du radar

Le radar Œil Noir est utilisé pour la veille et l'acquisition, ainsi que, au moment du tir, pour fournir la télémétrie. L'antenne peut se replier dans un le caisson situé à l'arrière de la tourelle. Son érection est commandée depuis le poste du tireur



N.B. La conception du radar Œil Noir fera l'objet d'un exposé dans le tome relatif aux matériels électroniques

Bitube de canon mitrailleur HSS 831 sur châssis AMX 30

Avec tourelle SAMM T 6920 A



Tourelle (production SAMM)

Pointage: vitesse maximale en gisement $80^{\circ}/s$, accélération $1200/s^2$ au démarrage, en hauteur $45^{\circ}/s$;
vitesse minimale en site et direction 2 millièmes /s

Organes d'observation: 8 épiscopes APX L 984 B

Organes de visée: contre objectif terrestres 2 épiscopes lunettes APX M 250

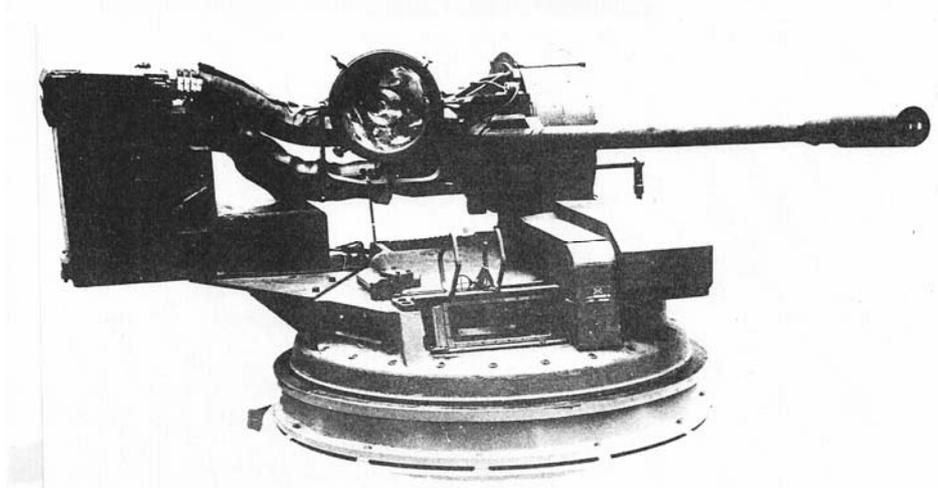
contre avions : 2 viseurs SAGEM avec correction de visée par rotation de glaces

Armement 2 canons de 30 mm HSS 831, cadence 650 coups/minute

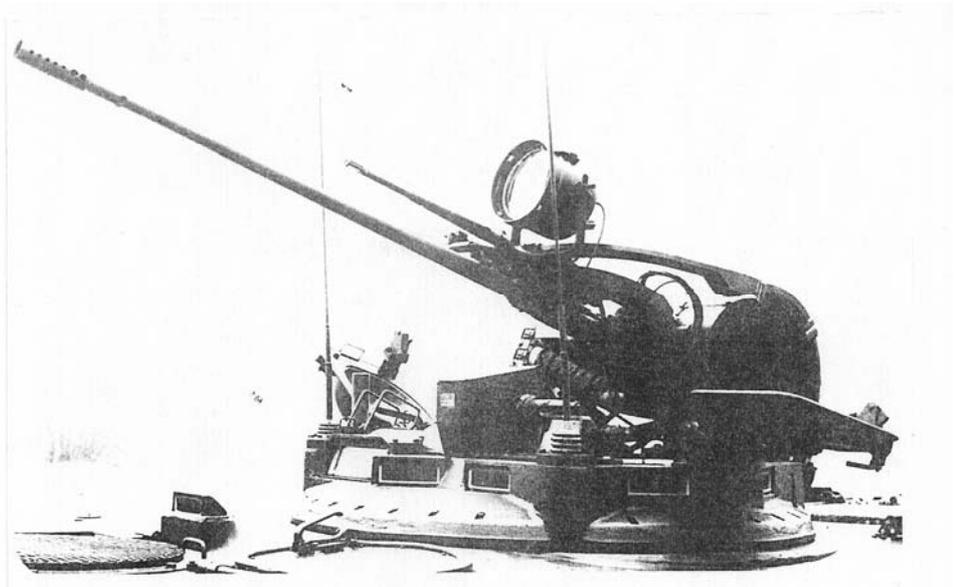
Munitions (1.200 coups, $V_0 = 1\,080$ m/s, portée pratique 3.000 mètres (4,7 secondes) ,
portée maximale 10 200 m

Radar (production Thomson CSF)

Tourelleaux TOUCAN I et TOUCAN II



Tourelleau TOUCAN I (montage du CN MIT 20-F1 sur char AMX 13)



Tourelleau TOUCAN II (Mas TH 20) installé sur AMX 10 P

Planche 19

Affût antiaérien tracté léger

53 T 2

TARASQUE

**à pointage intégral
avec canon mitrailleur 20 mm F2
et viseur SAS 90 de SAGEM**

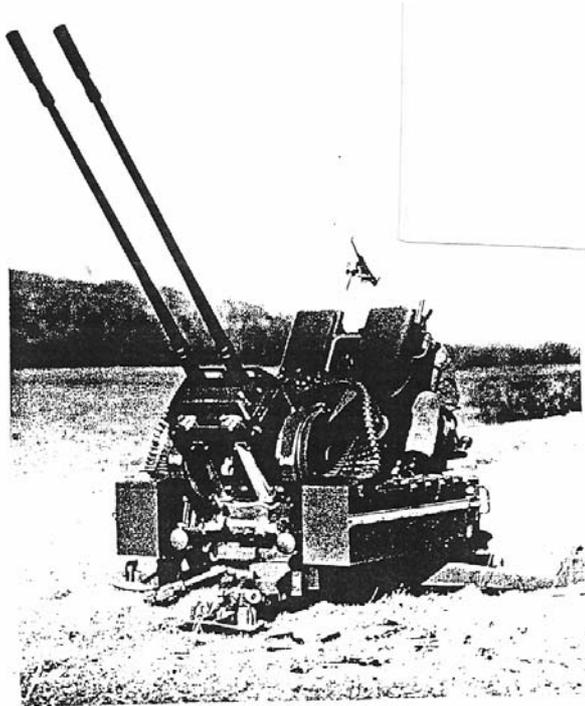


Planche 20

Affût antiaérien bitube de 20 mm

76 T 2

CERBERE



Affût bitube adopté par l'Armée de l'Air

Canons de 20 mm, 270 coups à poste par arme

Pointage hydraulique

0 à 80 degré par seconde en gisement

0 à 50 degré par seconde en site

Equipé d'un viseur calculateur Galileo P 56 :

la correction est calculée sur la base de deux valeurs préalablement affichées

la vitesse de la cible et de la distance nodale

Planche 21
Le VADA



Système d'arme destiné à la protection anti-aérienne rapprochée des unités du corps de bataille. Il est également conçu pour le tir contre objectifs terrestres
La tourelle biplace est armée de deux canons 20-693 modèle F2

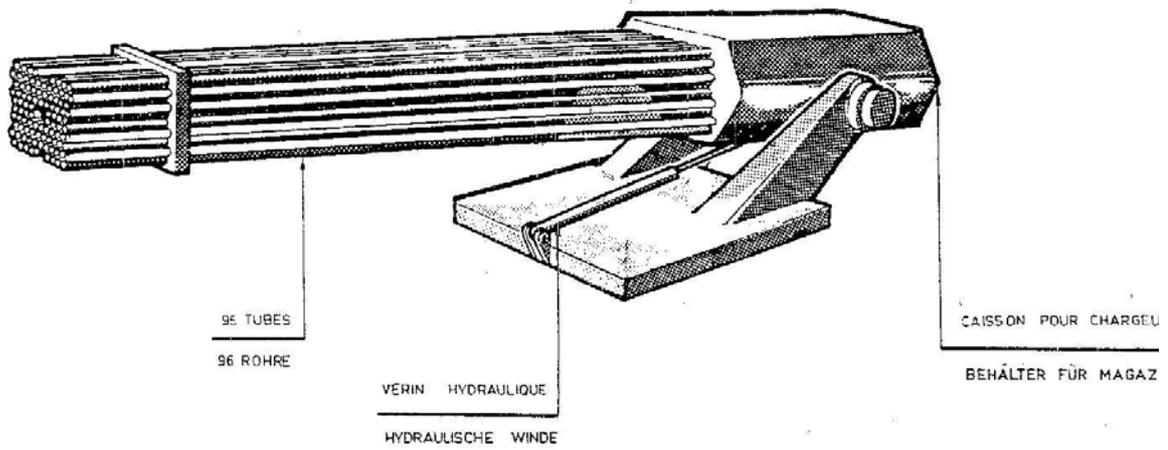
Equipage 3 hommes (1 pilote, un chef de char et 1 tireur)

Tourelle	Pointage 1,5 rad/s en gisement comme en site Veille radar radar Rodeo Veille optique lunette APX M/520 en mode veille panoramique Poursuite: Lunette APX M /520 en mode poursuite associée à un calculateur de tir évaluant l'extrapolation nécessaire
----------	---

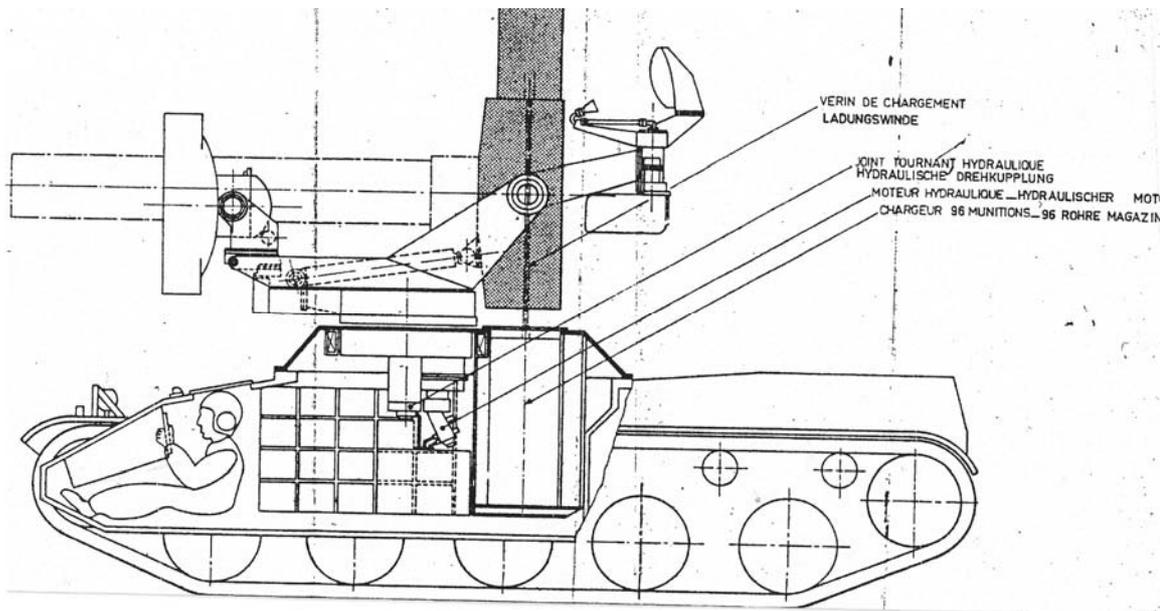
Le viseur APX M/520 est simultanément à la disposition du chef de char et du tireur, avec priorité au premier nommé. Il est équipé d'un renvoi caméra qui permet l'utilisation d'un écartomètre TV pour rendre la poursuite automatique

D'après Satory 7 (1979) équipements page 464

Le système d'arme Javelot



Arme Javelot



Système d'arme Javelot (maquette sur blindé)

Annexes

Bref historique de la DCA jusqu'en 1945

-----*-----

Cet historique a été rédigé en suivant de très près celui fait par R. JUND dans son cours de DCA à l'ENSAR en 1949

Avant 1914

L'aviation datant du début du XX^e siècle, et son utilisation à des fins militaires ayant été relativement tardive, on peut penser qu'il n'y a pas à remonter bien loin dans le temps pour commencer un historique de la DCA. Pourtant les historiens notent des antériorités. Ainsi le 20 mai 1794, lors du siège de Maubeuge par les Autrichiens, un aérostat, *l'Entreprenant*, fut utilisé pour observer l'ennemi. Le 2 juin ce dernier effectua des tirs, sans résultats mais qui apparemment furent assez dissuasifs, un boulet étant passé très près de l'aérostat alors que celui-ci s'apprêtait à atterrir. Plus tard, en 1870, il est bien connu que les parisiens assiégés utilisèrent des ballons pour assurer quelques liaisons avec l'extérieur : 52 ballons furent ainsi lancés. Les allemands furent alors conduits à aménager des pièces d'artillerie pour tirer sur eux, et ils firent même construire en urgence par les usines Krupp un *mousquet à canon* monté sur roues, qui fut donc la première arme spécifiquement antiaérienne connue. Un ballon fut d'ailleurs abattu..

Il faut ensuite attendre le début du XX^e siècle pour voir apparaître le souci d'une défense antiaérienne. On en était alors au tout début de l'aviation. On commençait à considérer que les aéronefs pouvaient constituer un moyen d'observation, qu'ils servaient à régler les tirs d'artillerie et qu'il convenait dès lors de les neutraliser. On décida donc, en 1906, d'étudier un matériel d'artillerie spécial, d'un calibre 75 mm, pouvant tirer à moins 60 degrés en site, avec un grand débattement en gisement. Il devait être monté sur un châssis automobile doté d'un moteur puissant. On pensait que ce véhicule pouvait se lancer, sur route, à la poursuite de l'aéronef. Il est vrai que, à cette époque, la vitesse des avions ne dépassait guère 60 km/h. L'étude, confiée à Puteaux, fut achevée en 1910, et, après essais, conduisit à la réalisation d'un matériel, L'AUTO-CANON, qui fut utilisé au début de la guerre 1914-1918, mais qui n'exista qu'en un nombre très limité d'exemplaires

Pendant la guerre de 1914-1918

Pendant la guerre, l'aviation devait faire des progrès considérables, et la nécessité de la combattre s'imposa vite. Au début les méthodes employées furent de nature très dispersées, chaque unité imaginant de son côté des procédés de fortune pour tirer aux grands angles et sur une cible bien différente de celles que l'artillerie avait l'habitude de traiter. On monta des pièces sur des troncs d'arbres, sur des margelles de puits afin d'augmenter le site de tir utilisable, on aménagea des circulaires de pointage pour obtenir des champs de tir en direction rapidement disponibles. Malheureusement, les liens élastiques des matériels de 75 M^{le} 97 n'avaient pas été conçus pour tirer aux grands angles et très vite on observa de nombreuses détériorations et mises hors d'usage. Dès la fin de 1914, le tir contre avion fut interdit pour tout matériel qui n'était pas doté d'un frein spécial.

Pendant cette période, les méthodes de tir sont restées très sommaires. La transposition au tir antiaérien des méthodes utilisées par l'artillerie de campagne fut rapidement apparaitre leus inadaptation, même avec les avions de l'époque qui n'étaient pourtant pas très rapides. Un centre d'étude de la DCA fut alors créé sous la direction du commandant PAGEZY pour étudier et mettre au point les méthodes les plus propres à tirer contre avion. C'es alors que l'on adopta l'hypothèse selon laquelle après le départ du coup, l'avion continue à voler à altitude et vitesse constantes, et les corrections de tir furent calculées en fonction de ces paramètres. On abandonna les méthodes comportant un réglage, car les corrections que l'on pouvait en déduire n'étaient en général pas valables pour le tir suivant, l'avion objectif étant susceptible de changer de direction et d'altitude. La formule qui prévalut alors était « *Un tir contre avion ne se règle pas, il se prépare* ». On procéda alors de la façon suivante:

- dans une phase préparatoire, on effectue un certain nombre de tirs d'essais, à une altitude moyenne, afin d'évaluer après dépouillement les corrections balistiques qu'il conviendra lors du tir réel

- lorsque l'avion ennemi se présente, on détermine sa vitesse et son altitude suivant des méthodes très simples indiquées ci-après

- on introduit les éléments ainsi mesurés dans des calculateurs sommaires, généralement à base d'abaques, qui permettent de calculer les corrections de tir.

Pour mesurer l'altitude on songea à utiliser des pointages bistatiques simultanés, depuis des postes distants de 3 à 4 kilomètres, mais cela se révéla vite impossible, car la simultanéité des mesures était par trop difficile à obtenir. On préféra choisir un système «*toit balayage*», toujours en bistatique. A chacun des postes on dispose d'une tourelle qui permet d'orienter en gisement l'axe LX. Autour de cet axe tourne un plan immatériel, dit «*plan de toit*» qui est balayé par la visée d'une lunette mobile autour d'un axe perpendiculaire à ce plan de toit. Quand l'axe LX sera parallèle à la route de l'avion, le plan de toit restera immobile et la lunette pourra le suivre sur son réticule. La manœuvre consistera donc à amener cet axe LX de façon que le plan de toit reste stationnaire, et à mesurer l'angle dièdre qu'il fait avec le plan horizontal. Ceci étant exécuté en deux points distants, on en déduit l'altitude de l'avion. Du fait que les angles mesurés ont été amenés à être stationnaires, la simultanéité des mesures n'a plus besoin d'être rigoureuse, et une simple liaison téléphonique entre les deux postes est suffisante. Certains dispositifs permettaient de tenir compte de la différence de niveau entre les deux postes

Pour mesurer la vitesse de l'avion, on mit au point un dispositif, baptisé «*tachyscope*», qui consistait en un cercle horizontal maintenu à une hauteur correspondant à l'altitude de l'avion. Le pointage se faisait à l'aide d'un œillette qui se déplaçait sur une réglette horizontale. La mesure consistait, par la manœuvre de l'œillette, à amener l'avion au centre du cercle, puis en maintenant l'appareil immobile ; à mesurer le temps que mettait l'image de l'avion pour atteindre le cercle. Le calcul de la vitesse se faisait instantanément par lecture sur un tableau à double entrée.

En 1916, on adopte également une nouvelle méthode, le *tir tachymétrique* qui consiste à mesurer la vitesse de déplacement angulaire de l'avion obtenue automatiquement en branchant une petite dynamo sur la manivelle de pointage. Le courant recueilli était multipliée par la durée de trajet grâce à un procédé électrique

Les matériels de DCA, de leur côté, connurent un rapide développement. Partie d'un seul matériel en 1914, la DCA possédait déjà en 1915 de 60 sections d'auto-canon et 500 plateformes fixes. En 1916, on voit apparaître un nouveau matériel, le 75 sur remorque, qui n'avait pas l'inconvénient de l'important angle mort que présentait l'auto-canon. Étudié par l'Atelier de construction de Puteaux, ce canon était monté sur une plateforme mobile à deux roues et munie de quatre flèches rabattables pour la mise en batterie.

Entre les deux guerres

L'effort considérable fait pendant la guerre 1914-1918 pour la DCA, effort auquel avait participé les meilleurs techniciens de l'artillerie et quelques savants, ne fut pas poursuivi après la guerre. Ce n'est qu'en 1924 qu'on s'y intéressa à nouveau, en mettant sur pied un programme de modernisation portant d'une part sur les armes elles-mêmes, et d'autre part sur les méthodes de tir.

Pour les mitrailleuses légères, on adopta entre 1924 et 1936 un correcteur à grille, un correcteur à lame et un correcteur à réglette. Et on mit au point des affûts pylones et des tourelles montées sur camion, genre tourelle d'avion

Pour les mitrailleuses lourdes, on décida d'adopter le calibre 13 mm. L'étude fut entreprise en parallèle par Hotchkiss, Chatellerauld et Saint Etienne, et c'est finalement l'arme de 13,2 mm d'Hotchkiss qui fut retenue sous le nom *mitrailleuse modèle 30*. Elle était montée sur un affût à un seul pointeur avec un correcteur genre Précision Moderne, qui préfigurait le correcteur LPR réalisé plus tard pour le 40 Bofors. D'autre part on mit au point un appareil très simple dû au capitaine IDATTE, qui fut adopté sous le nom de *Appareil orienteur tachymétrique modèle 34*

La société Hotchkiss développa entre 1932 et 1933 un canon mitrailleur de calibre 25 mm, qui constituait une extrapolation de sa mitrailleuse de 13,2 mm. Après des essais satisfaisants en 1934, on jugea utile d'apporter des améliorations, ce qui conduisit à un matériel bitube qui ne fut adopté qu'en 1939 sous le nom de 25 C.A. modèle 40. Mais entre temps, sous la pression des événements on avait commandé divers équipements, 25 mm Hotchkiss monotube, 20 mm Oerlikon

Il convient de signaler aussi des tentatives de réalisation par Schneider, en calibre 37 mm. Lors des essais en 1937, les prototypes purent donner satisfaction et restèrent sans suite. On se tourna alors vers les matériels 40 mm de Bofors, mais l'armistice de 1940 devait intervenir alors que l'on n'en était qu'à la préparation d'une fabrication en série sur le sol français. On avait prévu de remplacer le correcteur de tir suédois par un correcteur du type Précision Moderne

En ce qui concerne les canons, on recherchait une augmentation de la puissance, (plus gros calibre et plus grande vitesse initiale). Des consultations furent lancées, dès après la fin de la guerre, mais peu de constructeurs se portèrent sur les rangs. Finalement les établissements CHAIZE acceptèrent d'étudier en régie un matériel de 105 sur remorque et un auto-canon de 82 sur chenille. Ce fut dans les deux cas des échecs, et, les établissements

CHAIZE disparaissant, on ne put trouver un accord avec le repreneur ⁽⁴²⁾, et on dut renoncer à ces deux études.

Pourtant dès la fin de la guerre en 1918 on avait cherché à tirer parti des matériels existants en les améliorant et en les adaptant. On avait étudié des tubes de 75 allongés, permettant d'obtenir une vitesse initiale de 700 m/s. Ces études portaient d'une part sur une nouvelle masse oscillante avec un nouvel équilibrage, d'autre part sur un frein de bouche de façon à conserver la glissière réglementaire du 75 M^{le} 97 qui existait alors en un grand nombre d'exemplaires. Cela devait conduire à un matériel qui fut adopté sous le nom de **75 modèle 28 à frein de bouche G.B.** Ce matériel sera ensuite modernisé pour devenir, avec un appareil de tir direct de la Précision Moderne, le **75 C.A. sur remorque 17-34.** On étudie aussi son montage sur affût, mais ce n'est qu'après de profondes modifications que ce matériel donna naissance au **75 antiaérien modèle 32** dont il est question au chapitre 2.

A coté de cela, on peut noter un affût des ETABLISSEMENTS SCHNEIDER, qui fut adopté sous la désignation **75 C.A. modèle 33**, et un matériel léger de campagne dont les prototypes ne furent achevés qu'au début de 1940. Mais ces établissements avaient aussi réalisé pour la Marine un canon de 90 mm tirant à 920 m/s. Après des adaptations propres à un équipement de l'armée de terre, ce matériel fut adopté sous le nom de **90 C.A. modèle 40** et commandé en grande série ; mais à l'armistice, sept batteries seulement avaient été réalisées.

* * *

Pour ce qui est des conduites de tir, on imagina dans cette période de l'entre deux guerres des appareils centraux aussi bien pour le tir direct que pour le tir indirect (la définition de ces termes a été donnée au chapitre 2, § 0212)

Pour le tir direct, le général Pagezy avait proposé deux appareils l'un électrique, l'autre mécanique. Seul le premier, dont le développement était confié aux établissements Aufiere, fut finalement retenu. Parallèlement, la Précision Moderne réalisait un appareil mesureur de vitesse et d'orientation de l'objectif basé sur une addition par sphère et galets. Cette idée devait être retenue de leur côté par les allemands.

Pour le tir indirect un certain nombre d'inventeurs proposent des appareils. Trois d'entre eux sont retenus

- un appareil du colonel Pagezy, l'altitélépointeur
- un appareil mécanique proposé par le général Rougeul et le colonel Vauthier
- un appareil du commandant Le Prieur ⁽⁴³⁾

Ces appareils rencontrèrent de grandes difficultés de mise au point, et finalement, c'est un nouvel altitélépointeur, conçu par M. Riberolles qui fut mis à l'étude en 1930. Par altitélépointeur on entendait un poste central de tir indirect combiné à un télémètre stéréoscopique, l'ensemble constituant un poste complet élaborant automatiquement les éléments du point futur. C'est cet appareil qui fut adopté sous le nom de **P.C. de tir modèle 32**, et dont il est question au chapitre 2 et en annexe 2.

⁴² Le repreneur des établissements Chaize était la société Omnium

⁴³ Il faut prendre le terme « commandant » dans l'acception marine. Le Prieur était capitaine de vaisseau. Mais on le trouve toujours désigné comme écrit ici.

Ce poste central fut amélioré en 1935. Par ailleurs un autre poste central fut proposé par la Précision Moderne ; et les établissements Schneider avaient réalisé de leur côté un correcteur mécanique destiné à fonctionner avec leur matériel, mais il fut abandonné. Enfin en 1938 on mit un nouveau poste central à l'étude, pour prendre en compte l'augmentation de la vitesse des avions. Le prototype P.C. 40 ne fut jamais expérimenté, venant tout juste d'être achevé à l'armistice.

Statistiques de la guerre 39-45

On a cité les matériels réalisés par les belligérants entre 1939 et 1945. On a quelques statistiques matérialisant les progrès effectués par la DCA pendant la guerre

La Flak allemande a abattu 20 000 avions

La 1^{ère} armée américaine donne pour la période du 6 juin 44 au 8 mai 45

Nombre d'avion ayant survolé la 1^{ère} armée 5 372

Nombre d'avions abattus 797 sûrs + 449 douteux

Dans l'emploi contre les V1 pour la défense d'Anvers, la DCA a détruit 50% des engins pris à parti

Plus éloquent est le nombre de coup tirés pour un avion abattu

Au début de la guerre 14-18 8 000 coups

A la fin 3 000 coups

A la fin de la guerre 39-45 une statistique américaine donne les chiffres suivants

90 mm un avion abattu pour 364 coups

90 mm avec fusée pozit 233 coups

40 mm 500 coups

37 mm 622 coups

12, 7 mm 50 133 coups

----- * -----

Les correcteurs de tir électro-mécanique

Cette annexe utilise la note de Samuel et Libois, ainsi que le cours de Jund à l'ENSAR

----- * -----

Le service des études DCA installé la manufacture de Levallois reçut dès sa création la mission d'étudier les matériels américains et allemands en service à la fin de la 2^{ème} guerre mondiale et de réaliser de nouveaux matériels avec l'aide d'un ingénieur conseil, M. Riberolles, qui avait conçu avant la guerre, pour la batterie de 75 M^{lc} 32, le calculateur utilisé par l'armée française (qui fut aussi utilisé par l'armée allemande comme prise de guerre).

Les matériels américains étaient

- le PC M5 utilisé pour les canons de 40 mm Bofors télécommandés (d'autres 40 Bofors étant pointés manuellement étaient seulement équipés de correcteurs à grille).
- le PC M7 utilisé pour les canons de 90 télécommandés. La distance de l'objectif était fournie par téléaffichage soit à partir d'un télémètre optique de 4 m de base, soit à partir du radar SCR 584.
- le PC M9, plus récent, était le premier calculateur électromécanique.

Le matériel allemand était le K40, calculateur mécanique sur lequel était placé le télémètre optique de 4 m de base qui, faisant partie intégrante du poste, fournissait directement sa mesure de distance⁽⁴⁴⁾ aux organes de calcul.

Le problème de la DCA à cette époque était d'atteindre avec un objet mobile non guidé et non dirigé, l'obus, l'avion, et donc à partir de la connaissance actuelle de l'avion et de la balistique de l'obus connue elle-même par la table de tir (et ses corrections) et par la position du canon au départ du coup, de déterminer la position de l'avion futur où, en principe, l'avion et l'obus doivent se rencontrer.

Pour un pointage donné du canon et une valeur de T (durée de trajet) la position future de l'avion et celle de l'obus ne coïncident pas. L'écart de ces positions doit être rendu nul. Cet écart doit donc agir sur les valeurs I, G (inclinaison du tube et gisement de tir) et sur la durée de trajet T (tempage) pour s'annuler lui-même. C'est un exemple typique de servomécanisme, et qui dit servomécanisme dit apport extérieur de puissance

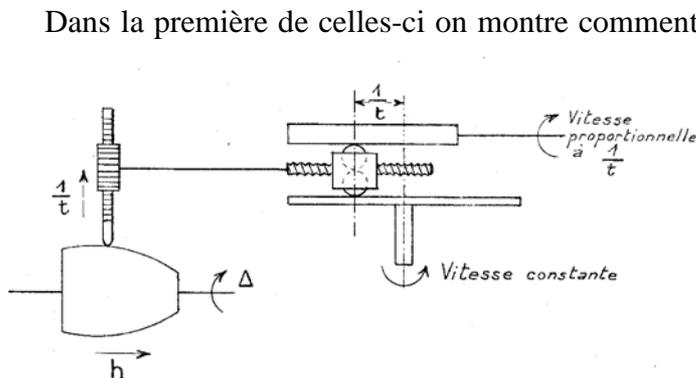
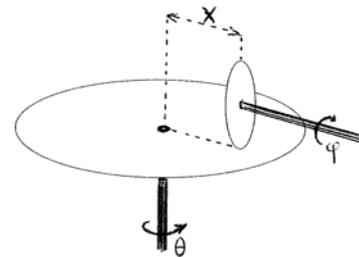
Les calculateurs de tir étaient alors des calculateurs mécaniques analogiques, c'est-à-dire des calculateurs dans lesquels les grandeurs étaient représentées par des analogues mécanique (position d'une pièce, vitesse de rotation d'un arbre, ...), et les calculs exécutés par des dispositifs purement mécaniques. Les moteurs électriques n'intervenaient que pour

⁴⁴ Ou plutôt l'inverse de la distance, puisque c'est l'angle entre la visée des deux objectifs qui était fournie.

animer ces ensembles, ou encore dans les servomécanismes Seul le PC M9 avait une représentation mixte des grandeurs, mécanique et/ou électrique.

Il n'est pas question ici d'entrer dans le détail de tel ou tel de ces matériels, en général très complexe, chaque étage de calcul donnant lieu à un agencement mécanique spécifique. Nous nous limiterons donc, pour fixer les idées, à quelques exemples

Un des dispositifs utilisé, dans diverses modalités, consistait à utiliser un plateau circulaire animé d'un mouvement de rotation, et une roulette reposant sur celui-ci à une distance x du centre. Si le plateau tourne d'un angle θ l'arbre de la roulette tourne de l'angle $\phi = x.\theta$ (à un facteur constant près). On a donc là un moyen de réaliser une multiplication. Dans une autre configuration, on anime le plateau d'une vitesse de rotation constante, et on a alors un dispositif qui transforme une grandeur de position, symbolisée ici par x , en une vitesse de rotation de l'arbre de sortie $\omega_{\phi} = K.x$. Mais plutôt que d'utiliser une simple roulette, ce qui présente des difficultés quand on veut faire varier la grandeur x , on a préféré utiliser dans le calculateur américain un dispositif appelé *cage à billes* qui ne présente pas cet inconvénient et dont le fonctionnement est facile à comprendre : Il consiste en deux billes roulant l'une sur l'autre d'une part, et d'autre part sur le plateau tournant d'un coté et sur un cylindre de l'autre. On a figuré plusieurs utilisations de ce dispositif dans les figures ci-dessous, à titre d'exemple

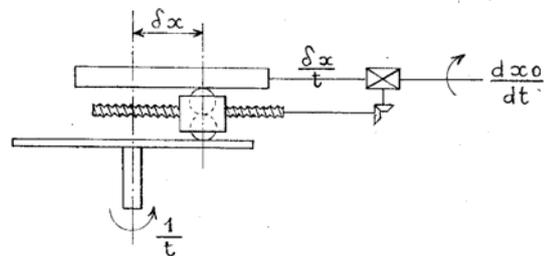


Dans la première de celles-ci on montre comment est généré le temps de parcours de l'obus (en réalité son inverse), à partir de la distance Δ et de l'altitude h de la cible, en l'occurrence l'avion futur. On utilise pour cela un camoïde sur lequel vient toucher un palpeur. Celui-ci actionne par l'intermédiaire d'un engrenage une vis qui commande la position de la cage à billes. En sortie on

obtient un arbre dont la vitesse de rotation est proportionnelle à la grandeur considérée.

A l'étape suivante, on utilise un servomécanisme pour calculer l'écart entre l'abscisse e l'avion actuel et celle de l'avion futur: elle se déduit de la vitesse de l'avion actuel dx_0/dt et du temps de trajet t .

Le signal d'erreur du servomécanisme est généré par un différentiel. Le résultat est donné cette fois par la position δx de la cage à billes



Des dispositifs du même genre permettent de traiter les différents calculs nécessaires. Un dispositif spécial était toutefois nécessaire si, comme c'était le cas pour le matériel américain, on voulait transformer les coordonnées polaires en coordonnées cartésiennes. On

utilisait alors deux tables superposées mobiles ; l'une en X, l'autre en Y, et qui étaient commandées par un téton dont le mouvement était réalisé à partir des données gisement et distance. Le système était réversible. On donne sur la planche proposée en fin de cette annexe une idée de la complexité de l'ensemble mécanique. Et encore ce schéma est-il simplifié, car pour entraîner toute cette « *tringlerie* » il fallait intercaler des organes (des moteurs asservis) permettant de fournir la force nécessaire. Le schéma proposé est celui du M7 américain. Les matériels français et allemands étaient un peu moins complexes, mais relevaient des mêmes principes.

Quant au PC M5 il ne méritait qu'à peine le nom de calculateur. Il s'agit plutôt d'un correcteur de tir. En effet, destiné à une arme de moyen calibre (40 Bofors), dont la distance utile d'utilisation n'était que d'environ 3 km, correspondant à une durée de trajet d'environ 5 secondes, l'hypothèse concernant la vitesse de l'avion n'était pas la constance de la vitesse en ligne droite, mais la constance des vitesses angulaires en site et gisement. Avec cette hypothèse simplificatrice de calcul, les angles apparents de correction entre le point actuel et le point futur se réduit à DG/dt . T et dS/dt . T. La valeur de T était déduite de la distance de l'avion à l'aide d'une came, distance introduite par un servant, soit par une estimation, soit par une transmission à partir d'un petit télémètre. La valeur de l'inclinaison du tube était donnée en ajoutant au site futur une hausse élaborée par un camoïde en fonction de la distance et du site.

* * *

Vers l'année 1947 l'étude et la réalisation d'un calculateur mécanique (avec le concours de M. Riberolles) avaient été entamées. Il s'agissait d'un projet ambitieux quant à la précision à atteindre (il était prévu une correction de la rotondité de la terre !). Ce calculateur, volumineux, devait être transporté dans une remorque.

Malheureusement les asservissements de recopie étaient réalisés par des inverseurs de marche à embrayages électromagnétiques commandés par tout ou rien, soit dans un sens soit dans l'autre, à partir d'un différentiel. Tout était réuni pour causer une instabilité de ces servomécanismes. Lors des premiers essais globaux de ce prototype, tous les asservissements se mirent à battre dans un grand bruit et les pignons coniques furent arasés en quelques heures. Quelques améliorations furent tentées sans grand succès et le prototype fut abandonné.

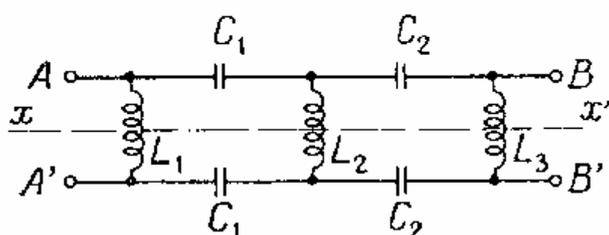
Vers la même époque on s'orientait en effet vers le calculateur analogique à courant porteur qui fait l'objet de l'annexe suivante, toujours à partir de la note de M. SAMUEL.

----- * -----

Les principes mis en œuvre dans le PHF 90

----- * -----

Le PHF 90 utilise, pour élaborer les corrections de tir et déterminer les éléments de pointage des canons, un calculateur analogique électrique. Mais à la différence de ses prédécesseurs, il utilise pour cela un courant porteur haute fréquence, à 472 kHz. La cellule de base est celle représentée ci-dessous. Dans cette cellule les capacités et les



inductances sont accordées de telle façon que chaque inductance est en résonance avec les capacités qui lui sont adjacentes, ce qui donne :

$$L_1.C_1 \omega^2 = 2$$

$$L_2.(C_1+C_2) \omega^2 = 2$$

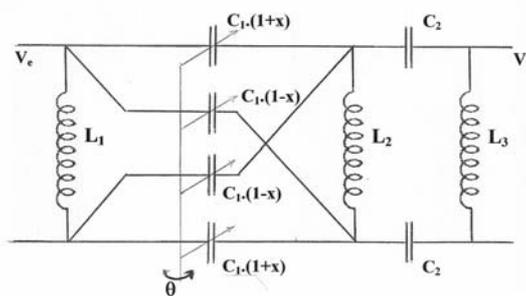
$$L_2.C_2 \omega^2 = 2$$

Dans ces conditions, si la cellule est chargée en sortie par une impédance infinie, son impédance d'entrée est elle-même infinie, et si elle est branchée en amont sur une source d'impédance interne nulle, elle se comporte avec une impédance de sortie nulle. Il en résulte que de telles cellules peuvent être mises en cascade sans que leurs propriétés individuelles en soient affectées. On peut ainsi réaliser grâce à elles des opérateurs de calcul qui peuvent être mis en séquence, sans qu'il soit nécessaire de prévoir des organes séparateurs pour les isoler les uns des autres ⁽⁴⁵⁾

Le rapport entre les tensions d'entrée et de sortie est définie par

$$V_s / V_e = - C_1 / C_2$$

et on vérifiera aisément que le courant qui parcourt l'inductance L_2 est nul ; ainsi que la tension à ses bornes. Ceci permet de réaliser un additionneur, mais avec une pondération constante des entrées. Pour introduire une variable, il faut faire varier les capacités, mais cela entraînerait, pour préserver les conditions de résonance, un réglage simultané des inductances. Pour éviter cela, on utilise le montage ci-contre dans lequel les quatre capacités variables sont réalisées dans un seul bloc, qui préserve automatiquement les rapports $(1+x)$ et $(1-x)$. Le rapport entre les amplitudes des tensions HF de sortie et d'entrée est alors



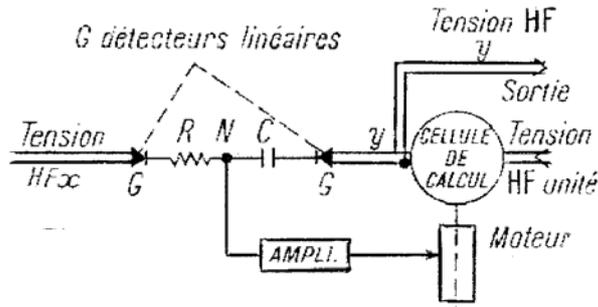
⁴⁵

Bien entendu, les capacités et inductances ne sont pas parfaites. La théorie complète de ce circuit a été présentée dans un article de Hubert-Jean UFFLER paru dans les Annales de Radioélectricité. On ne s'y attardera pas ici.

$$V_s/V_e = 2 C_1/C_2 \cdot x$$

De plus, en jouant sur la forme des armatures de ces condensateurs, on peut introduire des fonctions $x(\theta)$, telle que par exemple les sinus et cosinus indispensables dans le calcul du changement de coordonnées, de polaire en cartésienne ou réciproquement, ou encore pour introduire les fonctions balistiques. C'est donc cette *CELLULE DE CALCUL* qui constitue l'élément de base du calculateur PHF 90

Pour réaliser une dérivation on utilise circuit classique R C dans un servomécanisme, de la façon indiquée dans le schéma ci-contre : l'amplitude y de la tension HF de sortie est la dérivée par rapport au temps de celle, x , de la tension HF d'entrée. En permutant la résistance R et le condensateur C, on obtiendrait une intégration



* * *

Le calculateur étudié pour la conduite de tir des 40 L 70 utilisait la même technique que le PHF 90. Toutefois, dans ce dernier, il y avait deux options exclusives l'une de l'autre : ou bien la position était déterminée par les instruments (radar et/ou optique) ou bien on fonctionnait en mode régénéré, le calculateur prenant totalement le relais sur la base des informations précédemment acquises (position et vitesse). Dans le HF 40, au lieu d'utiliser l'une ou l'autre de ces options, il fut possible d'utiliser simultanément l'une et l'autre avec un dosage respectif variable de 0 à 1 et de 1 à 0 suivant le degré de confiance que l'on pouvait attribuer à l'une ou à l'autre.

Après la prise d'objectif (radar ou radar plus optique) on ne dispose d'aucune information antérieure et on attribue la confiance « 1 » aux instruments. La vitesse est alors calculée avec un filtrage minimum. Au bout de quelques secondes il est possible d'accroître la confiance dans l'information vitesse et de diminuer peu à peu celle dans l'information de position. Le taux de filtrage de la vitesse se trouve augmenté et le radar comme l'optique se trouvent commandés à la fois par l'information vitesse venant de l'autre bout de la chaîne. Le pointage s'en trouve amélioré puisque le radar reçoit une information sur la tendance de son déplacement. En même temps la vitesse continue à être calculée mais avec un filtrage plus important.

L'opérateur peut ainsi choisir à tout instant le filtrage qui lui paraît le plus convenable. Si l'avion émet un brouillage ou passe dans un nuage, l'opérateur doit augmenter jusqu'à « 1 » la confiance dans l'information « vitesse » et réduire simultanément à « 0 » la confiance dans l'information position. La vitesse est alors mémorisée et les ordres de pointage sont calculés à partir d'elle.

* * *

Les années 50 furent les années fastes des calculateurs analogiques qui firent l'objet d'études et de réalisations dans de nombreuses sociétés avant de disparaître quand apparurent les calculateurs digitaux.

L'idée de ce calculateur à courant porteur est due à deux ingénieurs MM. E. **Honoré** et E. **Torcheux**. Leur concept interessa **Gérard Bardet** ⁽⁴⁶⁾ président d'une société d'étude et de fabrication de machines automatiques pour l'industrie du bois, qui créa un petit laboratoire pour développer ce procédé. Plus tard, la CSF fut intéressé et fit l'acquisition de ce laboratoire, qui, en quelques années devint un département calculateur de la CSF. Sous l'impulsion des ingénieurs de la MLS et de la SEFT , principalement **G.Joyau, J. Rouiller, E.Rombout, P.Assens**, une application du procédé au calculateur de conduite de tir pour la batterie de 90 US fut mise au point

Le PHF 90 fut donc le premier de ces calculateurs analogiques à courant porteur. Des systèmes du même genre furent réalisés par la CSF, et cela devait conduire en 1962, sous la direction de Hubert-Jean. UFFLER, à la création d'une filiale , ANALAC, qui réalisa sur ces principes des calculateurs spécialisés, en particulier pour des simulateurs d'entraînement destinés aux contrôleurs civils de la circulation aérienne.

----- * -----

⁴⁶ Gérard Bardet est X22, E. Honoré X20, Joyau X32, Rouiller X37, Rombout X40, Assens X43, Uffler X40

Les fusées pozit de DCA en 1954

*Le texte ci-après est la transcription exacte
d'un rapport de la SEFT en 1952 (probablement)*

L'existence de la fusée POZIT avait été signalée à l'Etat-major de l'Armée en février 1945

La mise à l'étude de fusées analogues a été prescrite à la DEFA : programme d'études 1138 EMA ARMET en mars 1945. L'étude du fonctionnement de la fusée américaine POZIT a été entreprise à la même époque par la SEFT et le diagramme de rayonnement de la fusée relevé.

L'étude de tubes subminiatures semblables à ceux de la fusée POZIT fut confiée par le Centre National d'Etudes des Télécommunications (CNET) à la Compagnie des Lampes (Mazda) au début de 1945, mais se heurta à de grandes difficultés et n'aboutit pas, les renseignements concernant la fabrication des tubes faisant entièrement défaut. En octobre 1946, une mission comprenant le chef de la SEFT et ses adjoints fut envoyée en Angleterre ; elle mit en évidence les difficultés de construction des tubes suivant les méthodes américaines, qui dépassaient les possibilités de l'industrie française. Par contre, il apparaissait, que la réalisation de tubes selon les méthodes anglaises pouvait être menée à bien.. Dans cet esprit, le marché CNET-MAZDA fut modifié pour que les échantillons à fournir fussent fabriqués suivant le procédé anglais. Le directeur des études de la Compagnie des Lampes effectua dans ce but plusieurs missions en Angleterre où il reçut une assistance technique complète. Il fut décidé, au cours d'une réunion interministérielle tenue le 13 décembre 1946, que la DEFA assumerait la responsabilité de la construction par la société SADIR-CARPENTIER d'une fusée de proximité de type anglais.

Une nouvelle mission, groupant les représentants de la DEFA et de la société SADIR se rendit en Angleterre en mars 1947 sous la direction du chef de la SEFT. Des indications précieuses sur la construction de la fusée de proximité furent rapportées en France, mais malheureusement le WAR OFFICE s'opposa formellement par la suite à ce que le moindre renseignement concernant les fusées soit dorénavant fourni à la France.

Dans de telles conditions, la DEFA passa en juillet 1948 à la société SADIR-CARPENTIER un marché d'étude (8-2038-TA) pour la fabrication, le contrôle et la mise au point de fusées de proximité équipées de tubes subminiatures de type anglais. Ce marché devait aboutir à l'installation d'un atelier pilote capable de produire 500 fusées par semaine, et à l'exécution d'une présérie de 1000 fusées. Cinq prototypes furent livrés en avril 1949 et essayées en tir de robustesse le 13 mai 1949. Certains défauts furent éliminés et des modifications apportées

Une autre difficulté tenait à la réalisation des piles. SADIR-CARPENTIER avait eu recours à la société CARBONE-LORRAINE pour ce qui concernait le dépôt de graphite sur l'électrode en zinc. Les premières piles sortaient au début de 1949, mais leur capacité

n'atteignait pas celle des piles américaines. L'étude du graphitage par divers procédés (au rouleau, manuel au pinceau, par projection au pistolet, ...) fut arrêtée et reprises sur de nouvelles bases en 1950 en revenant au graphitage manuel

Enfin le service technique de la DEFA faisait étudier des amorces sensibles à la décharge d'un condensateur de 0,1 microfarad chargé sous 100 Volts

Par ailleurs, par une note N 112 AMA/ARMET du 11 décembre 1945, l'Etat major avait précisé les buts à atteindre ; il estimait opportun :

de ne pas étudier les fusées radioélectriques prévues au programme de mars 1945, d'après les seuls éléments de principe entrant dans la constitution de la Pozit

de rechercher de préférence une organisation radioélectrique telle que le fonctionnement soit à peu près indépendant des caractéristiques électriques de l'objectif et insensible à un brouillage ennemi.

Aussi, dès 1949, la SEFT avait pressenti divers constructeurs pour l'étude de fusées difficilement brouillables, c'est à dire protégées contre un brouilleur à émission continue (100 watts HF rayonnés) balayant une gamme de 50 MHz à une cadence suffisamment rapide. La société SADIR-CARPENTIER se vit dans ces conditions confier un marché d'études pour la mise au point d'un procédé qui avait été reconnu techniquement valable. Il semble toutefois qu'elle n'ait pas accompli dans ce domaine un grand effort, pour des raisons de moyens ou de difficultés de réalisation, et le marché n'a pas été mené avec la diligence voulue. Il fut donc décidé de mettre un terme à cette tentative

Parallèlement le chef de la SEFT avait à plusieurs reprises pris contact avec la société hollandaise PHILIPS au cours de missions techniques envoyées en 1949 et en 1950 en Hollande. Ces missions ont pu constater l'état d'avancement des études et l'importance des moyens mis en œuvre. Ces études ont d'ailleurs abouti à la fabrication de petites séries, en Suède, de fusées antipersonnel fonctionnant avec des rendements moyens de 90%.. L'attention de l'Etat-major fut donc attirée sur l'intérêt des fabrications de fusées Philips et la SOCIETE INDUSTRIELLE DES PROCEDES LOTH (SIPL) fut pressentie pour l'étude d'une fusée difficilement brouillable..

Comme, simultanément, l'Etat major de l'armée faisait connaître, notamment par note N° 11 851 EMFA/G/ARMET/SC du 5 octobre 1950 que « la mise au point d'une fusée terrestre est très opportune », et que l'expérimentation d'une fusée terrestre est infiniment plus facile à organiser et à interpréter, il fut décidé de confier à la SIPL l'étude de fusées de proximité antipersonnel de tir à terre. Les termes du marché correspondant ont été étudiés par la SEFT. Il était prévu que, en cas de succès, il serait possible de disposer, dix mois après la notification du marché, de fusées difficilement brouillables fonctionnant avec un rendement minimum de 60%

Afin de permettre un démarrage rapide de cette affaire et une expérimentation française des fusées Philips, 200 fusées Philips furent commandées à la société LOTH en octobre 1949 (marché 149/SEFT) et une certaine partie qui a été livrée au cours de 1950 a été essayée au tir antipersonnel . Mais sans attendre la notification de son marché, la SIPL avait installé un petit atelier et fabriqué un certain nombre de fusées (de plusieurs types : 2 fusées de type classique, 1 fusée du type protégé contre les brouillages) dont les derniers essais ont conduit à 30% de fonctionnement

De même que la compagnie des lampes avait étudié des tubes destinés aux fusées de la SADIR-CARPENTIER, la société RADIOTECHNIQUE, filiale de PHILIPS, se vit confier en octobre 1949 un marché d'étude de tubes subminiatures (1 200 jeux) pour fusées SIPL (marché N° 164 SEFT)

Les correcteurs de tir Galileo

L'officine Galileo a placé ses correcteurs de tir sur plusieurs affûts équipés d'armes de 20 ou 30 mm réalisés par divers constructeurs. En l'absence de télémétrie, le procédé utilisé était basé sur les principes décrits ci-après. Il était nécessaire, avant de commencer la visée, d'introduire une estimation de la vitesse de l'avion objectif, ainsi que la distance nodale de sa trajectoire, c'est-à-dire la plus courte distance entre celle-ci et le canon antiaérien. Avec ces données, et en faisant dans un premier temps une poursuite de l'aéronef, le tireur obtenait le décalage entre la ligne de visée et le canon

Le viseur comportait dans son réticule deux verres gravés, pratiquement au contact l'un de l'autre

Le premier portait une alidade mobile passant par le centre O du champ, et sur laquelle l'opérateur devait placer l'avion. Elle représentait la trace sur le réticule de la trajectoire de l'avion

L'autre verre portait une courbe telle que son intersection avec l'alidade devait désigner le point sur lequel devait se trouver l'objectif au moment du tir

Ces deux verres étaient commandés en rotation par un calculateur

Dans un premier temps donc, le tireur suivait l'avion en s'efforçant par tâtonnement et en pointant légèrement en avant de celui-ci, d'obtenir la position de l'alidade sur laquelle l'image de l'avion paraissait se déplacer. Quand il l'avait obtenue, il actionnait par son genou un petit levier et il portait alors l'image de l'avion en arrière du centre du réticule, donc de l'axe du canon, tout en la maintenant sur l'alidade. Celle-ci tournait en fonction de la position du canon, mais en conservant en mémoire de la route de l'avion. Le calculateur, utilisant les données introduites et les vitesses angulaires de défilement mesurées, élaborait la correction de tir et commandait en conséquence le deuxième verre pour que l'intersection de la courbe gravée sur lui avec l'alidade désigne la direction dans laquelle le tireur devait viser. Ce dernier pouvait alors continuer la poursuite en maintenant l'image de l'avion sur ce point, et faire désormais feu à tout moment.

La manœuvre demandait un certain doigté, mais le dispositif présentait un avantage : il pouvait être installé sur un affût sans aucune intervention sur le système de pointage de celui-ci, puisque le décalage était obtenu uniquement par changement de référence dans le réticule

Les premiers correcteurs étaient les P36. Les P56 apparus plus tard n'en différaient guère que par un calculateur plus moderne. Le correcteur P75 comportait un télémètre laser.

----- * -----

Annexe 7

Chronologies parallèles des programmes
de missiles sol-air et de canons antiaériens.

----- * -----

MISSILES	CANONS
1945	.....fabrication courte de HS 404 (cf. 0506)
1947	.....lancement de la modernisation des 40 L 60 à deux pointeurs (cf. 0403)
1947	..... <i>quadritube de 20 mm sur GMC</i>
1948	..... <i>tourelle quadritube de SAMM AB 140 sur châssis SOMUA</i>
1948	lancement de l'étude PARCA
1948	..... lancement à la SFAC d'un 105 mm AA (cf. 0305)
1949	..... <i>Quadritube 20 mm sur AMX 13, tourelle S 232 de SAMM</i>
1950	..... premières études de tourelle 30 mm bitube
1951	..... lancement du SFAC 90 mm bitube
1951	..... <i>monotube de 40 L 70 Bofors , tourelle SAMM S 980,(abandon en 1957)</i>
1951	..... quadritube de 20 mm PM 512
1952	..... essais comparatifs de matériels à Orange
1952	.....lancement de la modernisation un pointeurs du 40 L 60 (cf. 0416)
1952	..... <i>tourelle AB 320 de SAMM sur chenillette Hotchkiss</i>
1953	..... essai et abandon du 105 SFAC
1953	..... lancement du système 40 L 70
1953	..... bitube de 20 mm resté en prototype (cf. 0509)
1953	..... affût Consotium (cf. 0510)
1953	.....Unité légère de DCA
1954	décision de dissocier Parca-transition et Parca-programme
1955	premier tir de Hawk à White Sand missile range
1956	lancement de l'étude ACAM et de l'étude ACAR
1956	..... <i>maquette sur AMX 13 et EBR Panhardt de 30 mm HS 831</i>
1957	arrêt de l'étude ACAR
1957	remise à la STAT du premier PARCA de transition
1958	.....abandon du programme 40L 70
1958	Proposition des USA pour le Hawk
1958	arrêt de Parca-programme ; il reste Parca-transition
1958	partage de responsabilité sur les missiles entre directions techniques ; les sol-air échoient à la DTAT
1959	mise en place de l'organisation de production Hawk ; création de la SETEL
1959	arrêt du programme ACAM
1960	DEFA et Nord Aviation : le SABA précurseur du Roland
1961	dernière école à feu du Parca-transition à Naouas
1962	..... <i>bitube de 30 mm sur camion Berliet</i>
1962	décisions étatiques concernant le Roland
1963	premières livraisons de Hawk qui se poursuivront jusqu'en 1966 (401, 402 et 403 RAA)
1969	..... livraison des AMX 13 bitubes
1969	..... <i>SAMM présente à Satory une tourelle bitube de 20 mm S 530</i> - <i>commande du Venezuela</i>
1970	..... Javelot qui sera arrêté en 1973
1971	transfert du programme Hawk de la DTAT à la DEN
1972	..... modernisation des 53 T1
1973	..... affût à pointage intégral 53 T2
1974	accords sur le HIP
1974	..... VDA de Dassault
1975	..... lancement du VADAR

1975 tourelleaux GEC
1975 adoption du Roland 1
1976 adoption du Roland 2
1976 livraison du premier HIP
1976 fin de la SETEL
1977 76 T2 pour l'armée de l'air
1988 Mistral

Orientations documentaires

-----*-----

Contributions et documents de travail

1946-1976, trente années de DCA

par Claude Libois, 5 mai 1976

Note de 16 pages + 6 pages d'illustrations photocopiées de médiocre qualité

Historique des études et réalisations de DCA (1945-1980)

par Claude Libois (manuscrit du 10 décembre 1993)

Réflexions sur la DCA rapprochée

par Claude Libois

Note rédigée sur papier marqué SAGEM

Projet de rédaction du tome 8, volume 3

par René Lesavre (versions du 15 novembre 1995 et du 29 mai 1997)

Notes manuscrites informelles de René Lesavre relatant ses relations avec Claude Libois

Note sans titre du service des études de Levallois avec une annexe, intitulée

Répartition des erreurs dans les systèmes à plusieurs variables

rédigée par Claude Samuel et datée de juin 1990

Construction des matériels de 40mm et 57mm Bofors à l'atelier de construction de Puteaux en 1948-1950

note sans attache datée du 22 juin 1988

Canon automatique antiaérien de 40 mm L70

photocopie d'un document en français marqué Bofors daté du 5-10-1950

Canon automatique de 57 mm L60 sur châssis automobile spécial Bofors

photocopie d'un document vraisemblablement Bofors, mais en français

porte un N° d'origine (N° 6382) et un marquage manuscrit M 548

Compte rendu d'essais d'un correcteur LPR, PM 522, construit par «La Précision moderne»

et équipant la pièce de 40 Bofors modernisée

Liste des matériels versés au musée de Saumur lors de la fermeture de l'APX

photocopie d'un document communiqué par M. Aujas

Equipements optiques pour le tir antiaérien (canons automatiques et missiles)

par Marcel Deramond

manuscrit de la 3^e partie de ses travaux pour le ComHArT. A l'état d'esquisse

Dossier communiqué par le colonel (CR) Aujas

Documents publiés ou disponibles dans les centres d'archives

Le PHF

Par le capitaine Piron

Extrait du bulletin d'information de cours pratique antiaérien , 1951

La conduite de tir de DCA

cours de l'IMAC Joyau à l'ENSAR en 1957

disponible à Chatellerault sous la référence 776

Cours de DCA à l'ENSAr , 1949
par l'IMC 1 R. Jund

La défense contre avion
Article de l'IMCFA Joyau
In Revue Historique des armées 1956 / 4 , pages 141-155

Thèse de doctorat de Pierre Augustin (avril 1991)
à la bibliothèque de l'Ecole militaire sous la référence xxx. Cette thèse soutenue en xxx est très riche,
mais ne s'attarde guère sur les réalisations techniques

Cours armes et systèmes d'armes de l'ENSTA
Partie: armes et munitions de petits et moyens calibres
Edition revue et corrigée en 1976 - Description des principes utilisés dans les armes mais peu
d'information sur les affûts et les systèmes.

Rapports d'activités Etudes de la SEFT
La SEFT a en effet contribué, à la réalisation des systèmes antiaériens de 90 et de 40, en particulier en
pilotant le développement et la production des radars, mais aussi, en liaison avec Levallois et Puteaux,
à la conception des calculateurs. Elle est intervenue aussi pour les fusées de proximité

Canons ou missiles pour l'artillerie sol-air, Réponse canons et missiles
Par le général Schmautz (Revue de l'Armement N° 21, juin 1972). Un point de vue sur la perception
du moment.

Les systèmes de défense sol-air
Par l'ICA Pauchon et le colonel Mompeyssin (Revue de l'Armement n° 70, juin 2000)
Etat de l'art en 2000

Un démonstrateur pour la future défense sol-air « basse couche »
Par l'IPETA Coutelle (Revue de l'Armement n° 86 , juin 2004)

Matériel de 90 mm DCA M1 et M1A
² Manuel technique N° 9-370 –Washington 22 septembre 1943
Edition française, disponible à Chatellerault sous la référence ET 38

Catalogues SATORY
Les catalogues postérieurs à 1993 existent au GICAT

Jane's

Les véhicules blindés français
Par Pierre Touzin, éditions EPA 1978
Les pages 184 à 199 sont consacrées à l'armement antiaérien
Ouvrages essentiellement constitué d'illustrations, mais qui contient aussi des repères chronologiques

Machines à calculer électroniques
Par M. Pelegrin , Dunod 1964 (2° édition)
Le calculateur haute fréquence est traité au chapitre 3

Sur un nouveau procédé de calcul par courants haute fréquence
Par H.J.Uffler
Article dans Annales de radioélectricité tome XI , N° 46 (juillet 1956). Article très technique prenant
en compte, outre les principes, les imperfections inévitables de réalisation

Au SHAT Vincennes

Dossiers 15T348 à 15T431 (artillerie sol-air) soit 83 cartons

En particulier

15T355

- documentation sur la protection AA du corps de bataille (1970-72)
- autodéfense AA du corps de bataille , solution proposée par la DTAT (1971)
- étude et projet VADAR (1971-1972)
- emploi de missile antichar en défense antiaérienne (197-72)

15T 356 études générales sur la protection antiaérienne du corps de bataille, notamment contre les avions basse altitude. Comparaison de systèmes d'armes. Concept de défense AA du corps de bataille (1970-72)

15T362 Hawk: notices et caractéristiques techniques

15T368 Programme HELIP (Hawk European Limited Improvement Programm) 1966-72

15T 385 Comparaison Crotale Roland (1969-73)

15T 389 simulation Roland par le CELAR (1967-71)-simulateur d'instruction Roland

15T395 Emploi du Roland

15T 396, 397, 3998, 399 SAMP

15T 400 à 405 Crotale

15T406 Courte portée Arbalette, Sabarcane, Javelot (1962-1972)

15T416 bitube de 40 mm notamment bitube Bofors

INDEX

5 CGF	0516, note 22
20. 151	0507, 0510, 0514, 0516, 0518, 0620, 0705
20. 621	0619, 0620-0621, 0712, 0730
20. 693	0615, 0620, 0704, 0714, P21
20 mm F1	0705, 0713, 0719, 0725,0729
20 mm F2	0704, 0718, 0723, 0726, P19, P21
20 mm F2 ACA	0727
20 X 139	0619, 0620 (munition de 20 mm)
40 L 60	canon Bofors
40 L 70	canon Bofors
53 T1 (affût)	0513, 0704, 0705 à 0707, 0725
53 T2 (affût)	0513, 0704, 0707, 0725, (0733)
53T4	0733
57 L60	canon Bofors
76 T2	(affût) 0723, 0724, 0726, 0806, 0807
ABS	(Atelier de Bourges) 0110, 0111, 0202, 0705
AME	0516 (Atelier de Mulhouse)
AME 621	voir 20.621
APX	(Atelier de Puteaux)
ARE	(Atelier de Roanne)
BPTSG	(viseur) 0727, 0806
Bofors	0112, 0208, 0301, 0305, chapitre 4
Cerbère	(affût) voir 76 T 2
Consortium	(affût)
COTAL	(radar) 0310, 0311, 0313, 0315, 0316, P5, P9
Dassault	0112, 0613, 0718, 0802
EMAT	Etat Major de l'Armée de Terre
EMD	(Electronique Marcel Dassault) voir Dassault
EFAB	(Etablissement de Fabrication de Bourges) 0620
ESD	(Electronique Serge Dassault) voir Dassault
ETBS	(Etablissement d'expériences techniques de Bourges) 0111, 0202
ETTN	(Etablissement d'expériences techniques de Toulon)
GIAT	(Groupement Industriel des Armements Terrestres)
HS 804	0620
HS 820	0510, 0620, 0718
HS 830	0516
HS 831	0515, 0516, 0611, 0617, P16, P17
Hispano Suiza	0112, 0506, 0510 à 0516, 0521, 0619 à 0621, 0705, 0718
Hotchkiss	0201, 0206
Javelot	0731, 0732
K40	Appareil de préparation de tir allemand
L 834-13	(viseur) 0621
LATTA	préface, 0106 note
LPR	(Le Prieur-Ricordel)
MAS	(Manufacture d'arme de Saint Etienne) 0728
MAT	(Manufacture d'arme de Tulle) 0111, 0515, 0617
MG 151	0507, 0510, 0514 , 0516, 0518, 0620, 0705
Oerlikon	0112, 0207, 0514,0516, 0719, 0721, 0724, A1
Panhard	0621, 0718

PM 512	0508
Précision moderne	0112, 0201, 0402, 0408, 0508, 0511, A1, A7
Reille-Soult	(viseur) 0406, 0610
Rheinmetal	0619, 0723, 0727
RH 202	0619, 0620, 0718
Riberolles	0211, 0310, P1
SAGEM	0112, 0411, 0417, 0511, 0512, 0519, 0612, 0615, 0701, 0705 à 0707, 0723, 0727
SAMM	(Société d'application des machines motrices)
SEFT	(Section d'études et de fabrication des telecommunications)
SFAC	Société des Forges et Ateliers du Creusot
SFIM	Société Française d'instruments de mesure
Tarasque	(affût 53T2) 0806, P18
TGS 521	(tourelle SAMM) 0621
TGS 530	(tourelle SAMM) 0621
Thomson	0314, 0416, 0610, 0617, 0703, 0720, 0721, 0724, 0728, 0733, 0737
TTB 40	(tourelle SAMM) 0805