

COMHART

COMITÉ POUR L'HISTOIRE DE L'ARMEMENT TERRESTRE

TOME 9

L'ARMEMENT DE GROS CALIBRE

par l'ingénieur général de l'armement Michel MAREST
et l'ingénieur en chef de l'armement (retr.) Michel TAUZIN

Centre des hautes études de l'armement
Division Histoire
2008

L'édition de ce volume a été assurée au Département d'histoire de l'armement
par Mireille Gilbert, Bruno Trilli, Jean-Sébastien Dewallers et Patrice Bret

Comité pour l'histoire de l'armement terrestre

Plan général d'édition des travaux

Ouvrages déjà publiés

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, 2008.

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 Marest et l'ICA Tauzin. Paris, CHEAr/DHAr, 2008.

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 LIMINAIRE

Par la génération à laquelle il appartenait, par les fonctions qu'il a exercées durant toute la période 1945-1975 et l'autorité technique qu'il y avait acquise, l'IGA Marest était certainement la personnalité la plus à même d'écrire le Tome 9 – Armement de gros calibre – des travaux du ComHart.

Son exigence de perfection ne lui a pas permis de terminer avant sa mort en 1997 le travail exhaustif qu'il avait entrepris.

A la demande de l'IGA de Launet, j'ai repris sept ans plus tard la réalisation de ce Tome 9. Cependant, ayant quitté il y a 38 ans ce domaine d'activité je ne me suis senti ni l'autorité ni la possibilité matérielle de réécrire le Tome 9 dont la sortie avait été déjà tant différée.

J'ai seulement réuni des documents déjà écrits par l'IGA Marest et je les ai complétés par les raccords nécessaires à la cohérence de l'ensemble.

Michel Tauzin

SOMMAIRE

NOTE DE PRÉSENTATION.....	9
----------------------------------	----------

PARTIE I GÉNÉRALITÉS

CHAPITRE 1

ÉVOLUTION DANS L'EMPLOI DE L'ARTILLERIE

AU COURS DU SECOND CONFLIT MONDIAL ET TENDANCES EN 1945	13
--	-----------

MATÉRIELS D'ARTILLERIE DE CAMPAGNE	13
---	-----------

MATÉRIELS D'ACCOMPAGNEMENT IMMÉDIAT ET AÉROPORTÉS	14
--	-----------

<i>Matériels à tir courbe</i>	<i>14</i>
-------------------------------------	-----------

<i>Matériels à tir tendu.....</i>	<i>14</i>
-----------------------------------	-----------

CANONS DE CHARS	15
------------------------------	-----------

MATÉRIELS ANTI-CHARS	16
-----------------------------------	-----------

MATÉRIELS DE DCA	17
-------------------------------	-----------

ANNEXES	19
----------------------	-----------

<i>Matériels d'artillerie de campagne étrangers en 1945.....</i>	<i>19</i>
--	-----------

<i>Caractéristiques des lance-roquettes multiples allemands</i>	<i>21</i>
---	-----------

<i>Matériels d'accompagnement immédiat de l'infanterie.....</i>	<i>22</i>
---	-----------

<i>Pouvoir perforant des munitions des chars moyens et lourds allemands de 1940 a 1945</i>	<i>23</i>
--	-----------

<i>Caractéristiques des canons anti-chars allemands (1940-1945).....</i>	<i>24</i>
--	-----------

<i>Lance roquettes anti-chars d'infanterie 1943/1945</i>	<i>26</i>
--	-----------

<i>Artillerie de DCA en 1945.....</i>	<i>27</i>
---------------------------------------	-----------

CHAPITRE 2

ORGANISATION DU DOMAINE « ARTILLERIE » (1939-1975)	29
---	-----------

AVANT-PROPOS.....	29
--------------------------	-----------

ORGANISATION DU DOMAINE « ARTILLERIE »	29
---	-----------

<i>Rappel de l'organisation en 1939-1940</i>	<i>29</i>
--	-----------

<i>Reprise de l'activité à la libération (1944-1945).....</i>	<i>30</i>
---	-----------

<i>Évolution de l'organisation (1945-1975)</i>	<i>35</i>
--	-----------

<i>Matériels : les activités d'études et de fabrications de matériels d'artillerie se concentrent progressivement sur Bourges (ABS puis EFAB après la fusion ABS/ECP).....</i>	<i>35</i>
--	-----------

<i>Munitions.....</i>	<i>37</i>
-----------------------	-----------

ANNEXES	39
----------------------	-----------

<i>Matériels d'artillerie de nouvelle génération en 1939-1940</i>	<i>39</i>
---	-----------

<i>Principaux intervenants dans la production des munitions en 1939-1940.....</i>	<i>40</i>
---	-----------

<i>Recherches d'informations entreprises par la DEFA sur des matériels allemands récupérés (État d'avancement au 1^{er} janvier 1946)</i>	<i>41</i>
---	-----------

<i>Liste des matériels d'artillerie récupérés à réparer par ordre d'urgence.....</i>	<i>43</i>
--	-----------

<i>Historique de la création du bureau d'études "artillerie" du Service technique</i>	<i>45</i>
---	-----------

<i>Activités du bureau d'études d'artillerie de l'ABS entre 1940 et 1945.....</i>	<i>46</i>
---	-----------

CHAPITRE 3

ÉVOLUTION TECHNIQUE DE L'ARTILLERIE ENTRE 1945 ET 1975	47
MATÉRIAUX.....	47
<i>Acier à canons et cahiers des charges</i>	<i>47</i>
<i>Autres matériaux pour matériels et munitions d'artillerie.....</i>	<i>51</i>
MATÉRIELS	54
<i>Bouches à feu</i>	<i>54</i>
<i>Liens élastiques</i>	<i>63</i>
<i>Affûts</i>	<i>66</i>
ÉQUIPEMENTS DE TIR MONTÉS SUR LES MATÉRIELS	67
<i>Conduites de tir des véhicules de combat.....</i>	<i>68</i>
<i>Appareils de pointage d'artillerie de campagne</i>	<i>70</i>
MUNITIONS.....	72
<i>Munitions pour véhicules blindés</i>	<i>72</i>
<i>Munitions d'artillerie de campagne</i>	<i>74</i>
<i>La fusée de proximité radioélectrique</i>	<i>76</i>
ANNEXES	77
<i>Freins de bouche.....</i>	<i>77</i>
<i>Artilleries installées sur véhicules, comportement au tir ; masses et quantités de mouvement de recul</i>	<i>79</i>
<i>Liens élastiques</i>	<i>81</i>
<i>Considérations techniques relatives au tir des véhicules de combat</i>	<i>86</i>
<i>Équipements de conduite de tir pour canons de véhicules blindés-télémetres et correcteurs – développés par le Service optique de l'APX entre 1950 et 1960.....</i>	<i>89</i>
<i>Conduite de tir pour AMX-13, tir à la mitrailleuse de réglage</i>	<i>91</i>
<i>Schéma de l'appareil de pointage ABS 1950.....</i>	<i>92</i>
<i>Appareils de pointage des automoteurs d'artillerie de 105 mm et 155 mm montés en tourelle (1955-1960).....</i>	<i>95</i>
<i>Conditions d'utilisation des obusiers de 105 et 155 de première génération en tir direct et commentaires</i>	<i>96</i>

PARTIE II LES DÉVELOPPEMENTS ET RÉALISATIONS INDUSTRIELLES

CHAPITRE 4

PREMIÈRES ÉTUDES DEMANDÉES PAR LE GOUVERNEMENT PROVISoire EN OCTOBRE 1944.....	99
CANON DE 75 MM SA 45 DE L'AMD 178 PANHARD (OCTOBRE 1944 – NOVEMBRE 1945)	99
ARMEMENT PRINCIPAL DU CHAR DE TRANSITION ARL 44 (PÉRIODE 1944-1954)	100
<i>Canon de 75 mm SA 44 dérivé du canon de 75 CA 32.....</i>	<i>101</i>
<i>Canon de 90 mm SA 45</i>	<i>103</i>
ANNEXES	107
<i>Caractéristiques techniques du canon 75 SA 44 destiné au char ARL 44</i>	<i>107</i>
<i>Caractéristiques techniques principales du canon de 90 SA 45 du char ARL 44</i>	<i>108</i>

CHAPITRE 5

RENAISSANCE DES VÉHICULES BLINDÉS FRANÇAIS (1945 - 1955)	
ARTILLERIES, MUNITIONS, CONDUITES DE TIR	109
RÉORGANISATION DES ÉTUDES À LA DEFA	109
ORGANISATION DES ÉTUDES D'ARMEMENT PRINCIPAL DES VÉHICULES DE COMBAT EN 1945-1950 (CHARS ET CANONS D'ASSAUT, AUTOMOTEURS D'ARTILLERIE)	110

ENSEIGNEMENTS DE LA GUERRE EN ARTILLERIES ET MUNITIONS DES VÉHICULES DE COMBAT DE L'AVANT – TENDANCES EN 1945	110
DÉVELOPPEMENTS D'ARTILLERIES ET DE MUNITIONS DE VÉHICULES BLINDÉS DE COMBAT 1944/1956	113
AUTOMOTEURS D'ARTILLERIE	120
FABRICATIONS D'ARTILLERIES ET DE MUNITIONS	124
ANNEXE	125
« <i>L'ingénieur général Carougeau, homme d'action</i> »	125

CHAPITRE 6

ARMEMENT PRINCIPAL DES VÉHICULES DE COMBAT DE L'AVANT

DÉVELOPPEMENTS ET RÉALISATIONS INDUSTRIELLES PÉRIODE 1956-1975..... 127

LES OBUS ANTI-CHARS	127
<i>L'obus de 105 « G »</i>	127
<i>Les points faibles</i>	129
<i>L'obus de 90 empenné</i>	129
<i>Le choix difficile entre projectile à énergie cinétique et projectile à charge creuse</i>	132
L'ARMEMENT DU CHAR AMX-30	134
L'ARMEMENT DE L'AUTO MITRAILLEUSE LÉGÈRE PANHARD AML 90	136
LES REVALORISATIONS DE L'EBR ET DE L'AMX-13	137
L'ARMEMENT DE L'AMX-10 RC	138
LES PREMIÈRES ÉTUDES DE PROJECTILES FLÈCHES	141

CHAPITRE 7

RÉARMEMENT DES OUVRAGES DE LA FORTIFICATION PERMANENTE 1946-1961

..... 145

PRÉAMBULE	145
RAPPEL DES CAPACITÉS DE FEUX DE LA FORTIFICATION PERMANENTE EN 1939	146
GENÈSE DE LA REMISE EN ÉTAT DE LA FORTIFICATION PERMANENTE AUX FRONTIÈRES DU NORD-EST ET DU SUD-EST (1946-1950)	147
LANCEMENT DE L'OPÉRATION DE RÉARMEMENT DE LA FORTIFICATION PERMANENTE AUX FRONTIÈRES DU NORD-EST ET DU SUD-EST (1950-1951)	149
EXÉCUTION DES COMMANDES NOTIFIÉES À LA DEFA (1951-1956)	150
<i>Matériels</i>	150
<i>Munitions</i>	151
<i>Études de nouveaux matériels</i>	153
DESCRIPTION DES ÉTUDES DE MODERNISATION	154
<i>Armement antichar</i>	154
<i>Armement des casemates d'artillerie</i>	156
<i>Armement des tourelles d'infanterie à mitrailleuses jumelées, des cloches et des créneaux de cloches</i>	157
<i>Bilan</i>	159
ANNEXES	161
<i>Armement des ouvrages de la fortification permanente en 1939</i>	161
<i>Le Comité technique des fortifications</i>	164
<i>Recherche de matériels de substitution (1950/1951)</i>	165

<i>Commandes de fabrications</i>	167
<i>Tableau des besoins en munitions pour le stock de guerre (Estimation du CTF à la fin 1951)</i>	172
<i>Étude de la nouvelle embrasure pour les casemates d'artillerie à canons de 105 mm de la fortification permanente</i>	174
<i>Zone fortifiée au sud-est (8ème et 9ème RM), casemates rééquipées de leur armement recettées au tir (Juin 1961 à octobre 1961)</i>	175

CHAPITRE 8

L'ARTILLERIE DE CAMPAGNE (PÉRIODE 1945-1975)	177
OBUSIERS DE 105 TRACTÉS	177
OBUSIERS DE 105 AUTOMOTEURS	179
LES MUNITIONS D'ARTILLERIE DE 105 MM	180
L'OBUSIER DE 155 MM TRACTÉ	181
LES AUTOMOTEURS D'ARTILLERIE DE 155 MM	184
LES MUNITIONS D'ARTILLERIE DE 155 MM	187
LE CANON DE 175 PUISSANT	191

CHAPITRE 9

ÉTUDES RELATIVES AU TIR INDIRECT ANTI BLINDÉS PÉRIODE 1945-1975	193
VUE D'ENSEMBLE	193
ARME DE SATURATION DE 150 MM (1950-1963)	194
FEUX CLASSIQUES À GRAND RAYON D'ACTION	197
SYSTÈME D'ARME MULTITUBES D'ARTILLERIE : AVANT-PROJETS ET PREMIÈRE PHASE DE DÉVELOPPEMENT DU PROGRAMME SYRA (1968-1975)	203
<i>Première phase de développement du programme (1973-1976)</i>	208
ANNEXES	210
<i>Arme de saturation de 150 mm (1955)</i>	210
<i>Efficacité anti-blindés par tir indirect</i>	213
<i>Projectile explosif de 155 mm à fragmentation prédéterminée FPD</i>	214
<i>Chronologie de l'étude de l'obus mine antichar de 155 mm (OMAC), 1963-1970</i>	218
<i>Caractéristiques militaires du lance-roquettes multitubes Réf. : directive d'orientation de l'EMAT du 10 juillet 1968</i>	219
<i>Canon à chambres latérales sans recul – CLSR</i>	220

CHAPITRE 10

L'ÉVOLUTION DU MORTIER DE L'APRÈS GUERRE AUX ANNÉES 1980	221
LES MORTIERS DE 60 MM	222
LES MORTIERS DE 81 MM	225
LES MORTIERS DE 120 MM	228
ANNEXES	232

INDEX DES NOMS PROPRES	241
-------------------------------------	------------

NOTE DE PRÉSENTATION

Sous l'appellation « Armement de gros calibre », le tome 9 traite :

- d'une part de l'armement principal à tir direct, à base de canons, des véhicules blindés de l'avant,
- d'autre part, des appuis-feux sol-sol à tir indirect : obusiers et canons tractés et automoteurs, lance-roquettes multiples, mortiers. Un article particulier est consacré à l'artillerie de la défense permanente remise en état aux frontières du nord-est et du sud-est au cours des quinze années qui ont suivi la Libération (chapitre 7).

L'étude porte non seulement sur les matériels et les munitions mais également sur les conditions de service en campagne en particulier sur les équipements de tir.

Ne sont pas traités dans ce tome :

- les canons antichars sans recul qui sont intégrés, comme les roquettes antichars, dans le tome 10,
- les derniers développements d'artillerie anti-aérienne de gros calibre, engagés après 1945, qui sont évoqués dans le tome 11.

Une première partie est constituée de trois chapitres :

Un rappel de l'évolution de l'emploi de l'artillerie sous toutes ses formes au cours du deuxième conflit mondial et des tendances prévisibles en 1945 (chapitre 1). L'organisation du domaine Artillerie est ensuite traitée avec le rappel de l'organisation en place en 1939/1940, l'examen des conditions de reprise de l'activité en 1944-1945 et de l'évolution entre 1945 et 1975 (chapitre 2). Cet article sur « l'organisation » est suivi d'un article sur « les techniques spécifiques de l'artillerie » portant sur l'évolution dans le domaine des matériaux, de la conception des matériels, des munitions et des équipements de tir (chapitre 3).

Une deuxième partie est consacrée, par spécificité d'emploi opérationnel, aux études, développements et réalisations industrielles, qu'il s'agisse de programmes décidés officiellement ou d'études engagées à l'initiative de la Direction technique, que ces études et développements aient donné lieu ou non à adoption.

Pour les véhicules de combat de l'avant, dont la nature de la cuirasse varie peu entre 1945 et 1970, l'évolution de la capacité de feu se situe à la fois dans l'augmentation du pouvoir perforant des projectiles et dans l'augmentation du champ des interventions efficaces : passage des munitions perforantes classiques des modèles de la fin du deuxième conflit mondial (période 1945-1955) aux charges creuses (période 1955-1970) et aux projectiles flèches à grand allongement en matériau lourd, tirés à des vitesses supérieures à 1 600 m/s, dont les études sont lancées au milieu des années 1960 ; élargissement du champ des interventions efficaces char à l'arrêt¹ sur cible fixe ou mobile : utilisation de télémètres optiques ou laser, dispositifs tachymétriques de mesure de vitesse de cible, correcteurs de dévers.

L'armement à vocation principale antichar des véhicules de combat de l'avant, fait l'objet des chapitres 4 à 6.

¹ Les premières études de tir en marche, canon stabilisé, ont été engagées à l'occasion des réflexions sur la modernisation du char AMX-30 (après 1970).

Pour l'artillerie de campagne, les obusiers de 105 et 155 tractés et automoteurs conçus dans le cadre du premier plan d'armement de 1945 sont des extrapolations des matériels existant à la fin de la guerre. Les innovations apparaîtront ultérieurement :

- montages en tourelles sur automoteurs (1955-1960) des artilleries de 105 et 155,
- adaptation à l'initiative de la Direction technique d'une artillerie de 155 sur châssis AMX-13,
- artillerie de 155 à grande cadence de tir (GCT) sur châssis AMX-30.

L'évolution des équipements et de l'environnement ont porté principalement sur :

- l'automatisation du tir de l'artillerie (programme ATILA – années 1965-1970),
- l'augmentation de portée des projectiles (*base bleed*) (post 1975),
- les appareils de pointage à mise en direction inertielle (post 1975).

Le chapitre 8 retrace les différents programmes relatifs à l'artillerie de campagne.

D'autre part, les forces blindées de l'adversaire potentiel représentant une menace importante, des études ont été entreprises vers le milieu des années 1960 pour examiner la capacité létale du tir indirect anti-blindés (TIAB) en profondeur de champ de bataille². Ces investigations en recherche opérationnelle ont été à la base du lancement du programme SYRA (Système roquettes d'artillerie) puis ultérieurement des recherches sur les munitions à guidage terminal, sur le programme LRM (Lance roquette multiple) en coopération, et sur les munitions dites « intelligentes ». Le chapitre 9 traite des développements relatifs au tir indirect anti-blindé.

Pour les mortiers, où Brandt a su établir un quasi-monopole, on en est resté aux trois calibres traditionnels de 60, 81 et 120 mm. L'effort principal de Brandt a porté sur les projectiles à propulsion additionnelle dont la technique a été bien maîtrisée, mais au détriment d'une certaine diminution de l'efficacité terminale. M. Henri Tron a passé de nombreuses années dans cette société (devenue plus tard Thalès armement) et il en a occupé les fonctions de directeur général adjoint. Il a pris en charge la rédaction du chapitre 10 relatif aux mortiers.

L'ingénieur général Marest avait souhaité rendre hommage à un des hommes qui a le plus marqué le domaine technique et industriel concerné jusqu'en 1960, l'ingénieur général Carougeau, qui, avant de devenir directeur de la DEFA, fut pendant les dix premières années suivant la Libération, chef du Bureau artillerie du Service technique puis quelques années plus tard (1957-1958) chef de ce Service technique, fonctions où il donna la mesure de ses capacités de création associées à un extraordinaire pouvoir d'animation, d'entraînement des hommes et de rayonnement.

On lira à ce sujet le texte en annexe au chapitre 5.

² Étude menée à la fois au plan national et en coopération franco-allemande.

PARTIE I
GÉNÉRALITÉS

CHAPITRE 1

ÉVOLUTION DANS L'EMPLOI DE L'ARTILLERIE AU COURS DU SECOND CONFLIT MONDIAL ET TENDANCES EN 1945³

Cette évolution prend des formes différentes selon les missions à remplir allant de la confirmation de l'emploi des matériels d'artillerie avec des modifications plus ou moins sensibles de leurs caractéristiques militaires jusqu'à leur remplacement par d'autres catégories de matériels mieux adaptés à certaines missions.

MATÉRIELS D'ARTILLERIE DE CAMPAGNE

D'une manière générale, l'efficacité des projectiles pour chaque calibre de bouche à feu a très peu varié entre 1940 et 1945, conséquence des progrès très limités dans la conception des corps d'obus – forme aérodynamique, capacité en explosif, matériaux⁴ – et dans le pouvoir létal (nature de l'explosif, formation des éclats).

Il en résulte un maintien des calibres qui permet l'utilisation de tout en partie des stocks existants de munitions : calibres de 105 mm et 155 mm coté allié (hormis les Anglais qui restent attachés à la cotation en pouces) calibres de 10,5 cm et 15 cm côté allemand pour l'artillerie divisionnaire ; calibre de 155 mm coté américain, calibres de 15 cm, 17 cm et 21 cm côté allemand pour l'artillerie lourde de corps d'armée.

En ce qui concerne l'artillerie divisionnaire, il y a lieu de retenir que du côté américain on a privilégié la simplicité des matériels et des systèmes de charges propulsives, au détriment des portées maximales qui restent modestes (105HM2, 155HM1).

La mobilité a été accrue grâce aux moyens de traction automobile⁵ et au développement accru des montages de masses pivotantes sur châssis chenillés (le plus souvent des châssis de chars en service). Par contre, tous ces matériels présentent, par conception des champs de tir en direction limités⁶ qui ne permettent pas de très grands déplacements des feux en gisement sans changement d'orientation de l'ensemble du matériel.

D'autre part, les artilleries allemandes, quel que soit le calibre, sont dotées de culasse à coin et utilisent des munitions avec douilles ou culots obturateurs, cette disposition facilitant l'augmentation des cadences de tir alors que du coté allié on en est resté pour toutes les artilleries de calibre supérieur ou égal à 155 mm au système de culasse à vis pour tir de charges propulsives en gargousses et système de mise de feu par étoupille.

En ce qui concerne l'artillerie lourde à grande portée, il apparaît qu'elle n'a pas joué un rôle aussi important que pendant le premier conflit mondial, à cause de la grande mobilité du combat.

³ Écrit par l'Ingénieur général de l'Armement Marest.

⁴ Tous les obus sont en acier ; la fonte aciérée est abandonnée.

⁵ Alors que les affûts des matériels tractés sont dotés de roues à pneumatiques côté allié, les matériels allemands sont restés équipés de roues à bandages.

⁶ Matériels tractés monoflèches ou biflèches, automoteurs avec artillerie en casemate... Il n'y a pas de matériels à champ de tir « tous azimuts » en position de batterie.

Enfin, pour l'ensemble de l'artillerie de campagne classique, il n'y a pas eu, entre 1940 et 1945, d'évolution sensible des méthodes et moyens de commandement pour la mise en place des tirs.

Le tableau de l'annexe I rassemble quelques caractéristiques importantes des matériels les plus utilisés en 1945.

A côté de cette artillerie classique caractérisée par la précision de ses feux, sont apparus à partir de 1941 de nouveaux matériels de tir indirect destinés à des interventions sur zone, massives et de courte durée, basés sur l'autopropulsion des projectiles :

- *Nebelwerfer*⁷ côté allemand de 15 cm, 21 cm, 28 cm, 30 cm, 32 cm,
- *Katioucha* et « orgues de Staline » coté russe.

Il s'agit de lance roquettes multiples légers, de construction rustique, tractés ou montés sur véhicules délivrant très rapidement, en rafale, des roquettes à tête explosive, incendiaire ou fumigène, les portées maximales se situant entre 2 000 m et 7 800 m selon les modèles. Le tableau de l'annexe II rappelle quelques caractéristiques des lance-roquettes multiples allemands.

MATÉRIELS D'ACCOMPAGNEMENT IMMÉDIAT ET AÉROPORTÉS

Matériels à tir courbe

Les mortiers de 60 mm et 81 mm restent d'actualité en 1945 ; il est difficile de concevoir des armes plus simples pour le même compromis puissance de feu anti-personnel/poids. Le mortier de 120 mm plus lourd et moins maniable a, par ailleurs, fait la preuve de son efficacité pour des portées de l'ordre de 7 000 m. Le mortier de 4,5 pouces anglais surpassé par le mortier de 120 mm en puissance de feu présente toutefois des caractéristiques de manoeuvrabilité nettement supérieures, l'association des qualités de ces types de mortiers devant pouvoir aboutir à un nouveau mortier de 120 mm plus performant au regard de l'ensemble des conditions d'emploi.

Matériels à tir tendu

Pour l'accompagnement immédiat de l'infanterie, Américains et Allemands ont d'abord utilisé des canons classiques tractés : 7,5 cm IG 18 et IG 37, 15 cm IG 33 côté allemand⁸, 75 mm Pack Howitzer M1⁹ et 105 mm HM3 pour les Américains. Le tableau de l'annexe III rassemble les caractéristiques principales de ces matériels. Il y apparaît qu'en dehors des canons de 75 mm les solutions américaines et allemandes sont lourdes et ne répondent pas au souci de mobilité et maniabilité recherché.

Au cours des dernières années du conflit, la maîtrise de la propulsion par réaction a conduit à la réalisation de canons sans recul légers de 57 mm et 75 mm côté américain de 7,5 cm et 10,5 cm côté allemand mieux adaptés à cette mission¹⁰ en particulier pour

⁷ A l'origine (expérimentation en Allemagne en 1938), il s'agissait d'un armement destiné à des unités dont la mission était d'établir des masques de fumée (*Nebeltruppen*) d'où le nom *Nebelwerfer*.

⁸ IG : *Infanterie Geschütz* (canon d'infanterie).

⁹ Pack : *Package* (décomposable en fardeaux).

¹⁰ Ces matériels présentent toutefois des inconvénients non négligeables au tir : zone dangereuse d'éjection des gaz, en arrière de la tuyère, sur plusieurs dizaines de mètres et manque de discrétion.

l'infanterie aéroportée. Ces canons sans recul peuvent tirer, en plus des munitions à obus explosif anti-personnel, des munitions anti-char à charge creuse¹¹. Le tableau de l'annexe III donne les caractéristiques principales de ces armes.

CANONS DE CHARS

Le rôle primordial joué par les chars dans le combat terrestre au cours du second conflit mondial a conduit les belligérants à rechercher à tout moment la supériorité de leurs propres forces blindées sur celles de l'adversaire. Il en est résulté une escalade entre protection et perforation qui a conduit, pour ce qui concerne l'armement principal des chars, à une augmentation rapide entre 1940 et 1945 de la puissance balistique des canons et des munitions, en pouvoir perforant et en allonge d'intervention efficace.

En 1940 et pour l'ensemble des belligérants, l'artillerie des chars pour les forces principales des divisions blindées (chars de 20 tonnes environ) était constituée de canons de 37 mm à 47 mm dont la longueur était inférieure à 2 m. En 1945, les meilleures artilleries de char sont des canons de calibre supérieur ou égal à 75 mm ayant des longueurs de l'ordre de 5 m et plus :

- 75 mm KWK 43 du char Panther de 45 tonnes (longueur : 5,45 m),
- 83,4 mm (dit *25 pounders*) du char Charrioteer de 29 t,¹²
- 88 mm KWK 43 du char Tigre de 56 tonnes (longueur : 6,15 m).

Cette évolution dans la « cylindrée » des canons de char a permis des gains importants de perforation des blindages dans les tirs « à la hausse de combat »¹³ avec les boulets perforants classiques. A partir des années 1942/1943, les Allemands ont mis au point des projectiles à noyau lourd (*Kern*) en carbure de tungstène¹⁴ de masse totale inférieure à celle des boulets perforants, à calibre égal, et qui permettent d'augmenter à la fois la perforation et la hausse de combat¹⁵. En poursuivant dans une voie parallèle, les Anglais, à la fin du conflit maîtrisent la technique des projectiles sous calibrés dépotables qui permet d'améliorer encore les performances des projectiles/noyau par réduction de la perte de vitesse sur trajectoire. Ce type de projectile sera mis en service dans l'armement du char Centurion (1945).

Dans une autre voie, les Allemands ont développé des munitions à obus à charge creuse dont le principe général de fonctionnement était connu en 1939. De telles munitions figurent en particulier en 1940 dans les dotations des chars moyens PZ IV mais l'organisation de la charge creuse et les conditions balistiques de tir (vitesse initiale faible,

¹¹ Efficacité limitée, s'agissant de tirs dans des tubes rayés.

¹² Les chars allemands Panther et Tigre ont été mis en service en 1942-1943, le char anglais Charrioteer en 1944 (le canon du Charrioteer équipera le char Centurion de 50 tonnes en 1945) ; Il n'est pas tenu compte du canon de 122 mm/45 calibres du char russe Staline (46 tonnes) ce char ayant été retiré du service entre mai 1944 et mai 1945.

¹³ Portée utile de combat de l'ordre de 1 000 à 1 100 m avec les canons les plus modernes.

¹⁴ Le tungstène est fourni à l'Allemagne pendant la guerre par la Turquie.

¹⁵ L'augmentation du pouvoir perforant des munitions des chars moyens et lourds allemands entre 1940 et 1945 fait l'objet de l'annexe IV. On peut y noter en particulier que :

- sur le char PZ KW IV, le plus récent en 1940, le changement de canon et de projectile perforant effectué en 1943 a permis de doubler la perforation à 900 m ;
- l'augmentation de « cylindrée » des canons entre le 75 L48 du PZ KW IV et le 88 L71 du Tigre a permis d'accroître de plus de 100 % les épaisseurs de blindage traversées à distance égale.

stabilisation gyroscopique du projectile avec entraînement en rotation de la charge creuse) en limitant considérablement l'intérêt dans la lutte contre le blindage.

Par ailleurs, on constate qu'il n'y a pas eu de progrès pour augmenter les distances d'intervention efficace – au-delà de la portée utile de combat – par une meilleure connaissance de la position de la cible. En 1945, tous les chars ne sont encore dotés que d'une simple lunette de tir graduée.

L'évolution précitée qui guidera les premières études françaises à partir de 1945 ne fait pas mention de l'armement principal des chars américains¹⁶ car, intrinsèquement, la puissance balistique des canons était en 1944/1945 nettement inférieure à celle des chars allemands.

MATÉRIELS ANTI-CHARS

Au début du conflit, les moyens spécifiques de défense anti-char par tir direct – en dehors des chars eux-mêmes – sont des matériels légers d'artillerie (masse inférieure à 500 kg) à silhouette basse dotés de canons dont les calibres varient entre 25 mm et 47 mm¹⁷ tirant des boulets perforants à des vitesses de l'ordre de 800 m/s. Au cours de la guerre, l'évolution de la puissance de ces canons a suivi celle de la protection des chars à détruire. C'est ainsi que l'on passe chez les Allemands au calibre de 5 cm au début 1941 (canon de 5 cm PAK 38) puis de 7,5 cm à la fin 1942 (canon de 7,5 cm PAK 40) et de 8,8 cm à fin 1943 (canon de 8,8 cm PAK 43), particulièrement redoutable ; de même du côté allié on met en service des canons anti-chars de 57 mm (États-Unis) et de trois pouces – 76,2 mm – (Royaume Uni). Les munitions perforantes de ces canons profitent de l'évolution des munitions des chars, en particulier du côté allemand (obus à noyau lourd et à charge creuse). Mais la puissance de feu de ces nouveaux canons nécessite des affûts beaucoup plus lourds et moins maniables ; le poids des pièces tractées est de l'ordre de 900 à 1 000 kg pour les canons de 57 mm, de 1 500 kg pour le 7,5 cm allemand de 3 000 kg pour le 76,2 anglais, de 4 500 et 5 000 kg¹⁸ pour le 8,8 cm allemand. Pour palier cet inconvénient, de nouvelles solutions apparaissent :

- le montage des canons anti-chars puissants sur châssis chenillés. Ce sont les chasseurs de chars Tank destroyers (TD) américains et Jagd-panzers allemands ayant la mobilité des chars dont ils possèdent le châssis ;
- chez les Allemands la mise en service entre 1941 et 1943 de trois modèles de canons dénommés canons « Gerlich » à alésage conique tirant des projectiles à noyau lourd montés avec des jupes déformables assurant l'étanchéité et la mise en rotation au cours de déplacement dans l'âme du canon. Il s'agit de la première réalisation de « sous-calibrage » des projectiles (si on se réfère au calibre du tube au début de la partie rayée). Les Allemands mettront ainsi en service en 1941 et 1942, trois modèles de canons Gerlich de 2,8 cm S.P.Z.B.41, de 4,2 cm PAK 41 et de 7,5 cm PAK 41, les calibres d'appellation de ces matériels étant ceux de l'âme

¹⁶ Les chars Sherman étaient équipés en 1944 de canons de 75 mm de faible « cylindrée » ($V_0 = 560$ m/s et 625 m/s). Le canon de 3 pouces anglais (76,2 mm) dit de « 17 pounders » à $V_0 = 860$ m/s ne sera monté que sur les chasseurs de chars (Tank destroyers).

¹⁷ Il s'agit de canons anti-chars spécifiques ; le canon de 75 Mle 97 était également capable d'actions anti-char avec sa munition à obus perforant coiffé PCO 40 (vitesse initiale de 620 m/s environ).

¹⁸ Ces masses correspondent à deux types d'affût : 4 500 kg pour le montage sur affût biflèche, 5 000 kg pour le montage sur affût cruciforme permettant le tir tous azimuts. Un exemplaire de chacun de ces deux matériels se trouve au musée d'artillerie de l'EFAB.

au début de la partie rayée, les calibres à la volée – qui sont ceux des projectiles en vol – étant respectivement de 2 cm, 2,8 cm et 5,5 cm.

- Cette solution nouvelle aboutit à un ratio pouvoir perforant rapporté à la masse du matériel supérieur à celui des canons 50 PAK 38 et 75 PAK 40 en service en 1941/1942 : le canon Gerlich de 4,2 cm PAK 41 et le canon de 50 PAK 40 tirant tous deux des projectiles à noyau lourd ont des pouvoirs perforants du même ordre alors que le premier pèse 450 kg et le second 920 kg mais le principe du canon Gerlich a l'inconvénient majeur (étant donné son principe) d'une usure rapide des tubes et elle ne sera pas extrapolée à des solutions balistiques plus puissantes entre 1942 et 1945.

Ainsi pour les canons anti-chars à haut pouvoir perforant à grande distance, le montage sur véhicule reste en 1945 la seule solution permettant une mobilité suffisante. Par contre, en ce qui concerne les anti-chars d'infanterie portables, efficaces à courte distance apparaissent des matériels légers où le pouvoir perforant n'est pas lié à l'énergie cinétique à l'impact du projectile : il s'agit de matériels tirant des roquettes à charge creuse, stabilisées par empennages. Ce sont les *Panzer Faust* et *Panzerschreck* allemands, le *Bazooka* américain, le PIAT anglais dont les masses s'échelonnent entre 5 kg et 16 kg dont les portées efficaces compte tenu de leurs caractéristiques – vitesse initiale, dispersion – est de l'ordre de 100 m. Les Allemands réaliseront sur les mêmes principes un matériel tracté léger – 150 kg – un peu plus puissant en portée et effet terminal, le *Raketen Werfer 43*¹⁹. Mais cette technique n'était pas à l'époque susceptible d'application pour des anti-chars intervenant au-delà de 200 m (probabilité d'atteinte au premier coup insuffisante).

Le tableau de l'annexe V rappelle les caractéristiques principales des canons anti-chars allemands de la période 1940-1945 (canons classiques et canons Gerlich) et celui de l'annexe VI les performances des lance-roquettes anti-chars d'infanterie en service chez les belligérants en 1945.

MATÉRIELS DE DCA

Le canon reste en 1945 le seul moyen de feu en défense sol-air mais une évolution s'est produite, pendant le conflit, liée à la vitesse des avions et à l'altitude à laquelle ils évoluent. Cette évolution de la menace a conduit à :

- Augmenter la puissance balistique des canons (calibre, vitesse initiale) pour augmenter le plafond d'intervention ;
- Améliorer les dispositifs de pointage (télécommandes), les cadences (tir automatique) et l'organisation des projectiles (nouvelles fusées) pour augmenter l'efficacité des interventions.

Le tableau de l'annexe VII rassemble un certain nombre de caractéristiques des matériels spécifiques de DCA utilisés par les belligérants. Ce tableau fait apparaître en particulier que l'augmentation de puissance des matériels lourds de DCA pour passer de 9 500 m à 12 000 m de plafond d'intervention aboutit à augmenter de six tonnes à vingt-sept tonnes la masse des matériels, sans augmentation importante de la probabilité de destruction ou d'attrition de l'adversaire, le débit de projectiles restant du même ordre. Cette constatation laisse à penser que des progrès techniques importants seraient

¹⁹ Appelé vulgairement « *Puppchen* » (poupée).

indispensables pour que l'artillerie lourde conserve un intérêt comme armement anti-aérien d'intervention à moyenne et grande portée.

En résumé, pour ce qui concerne l'armement de gros calibre, la situation en 1945 se caractérise par :

- Une confirmation du besoin d'artillerie de campagne, l'accent étant mis sur l'artillerie divisionnaire en recherchant mobilité terrestre et grands déplacements des feux, avec un intérêt à conserver les calibres de 105 et 155 mm compte tenu des stocks existants de munitions utilisables en tout ou partie. A côté de ces matériels classiques, de nouveaux moyens de tir sur zone sont apparus, utilisant des lance-roquettes multiples dont les portées restent toutefois limitées (2 000 m à 7 000 m) ;
- Une confirmation du besoin de matériels lourds pour l'accompagnement immédiat de l'infanterie et pour les unités aéroportées à base de mortiers dont les calibres sont conservés, un accent particulier étant mis sur le mortier lourd de 120 mm ; l'intérêt est maintenu pour un matériel d'artillerie léger, aérotransportable. Des moyens de feu à tir tendu sont apparus sous forme de canons sans recul tirables à l'épaule ou adaptables à des véhicules légers ;
- Une escalade vers les gros calibres pour les canons des chars de bataille pour conserver avec une grande allonge, une capacité de destruction des blindés dont la protection a considérablement augmenté. En ce qui concerne les munitions, l'accent est mis sur les projectiles à noyau lourd tirés à grande vitesse initiale ; par contre le projectile à charge creuse à stabilisation gyroscopique tel qu'il est conçu en 1945 a un pouvoir perforant faible par suite de la vitesse de rotation de la charge ;
- L'apparition de moyens nouveaux dans le domaine des anti-chars légers (lance-roquettes et canons sans recul) utilisant des projectiles à charge creuse stabilisés par empennage. Le problème de l'anti-char lourd pour intervention à une distance au moins égale à l'allonge des chars n'est convenablement résolu que par l'adaptation de canons de chars sur des châssis chenillés (chasseurs de char, canons d'assaut) ;
- la confirmation du besoin d'artillerie pour la défense anti-aérienne à très courte portée avec des canons de calibre limité à cadence de tir élevée. L'augmentation du plafond d'évolution de l'aviation rend plus difficile l'intervention de l'artillerie lourde anti-aérienne, l'évolution constatée dans ce domaine à la fin de la guerre aboutissant à des tonnages très élevés limitant la mobilité pour des matériels dont les cadences de tir demeurent insuffisantes pour espérer obtenir une attrition sensible de l'adversaire.

ANNEXE I

Matériels d'artillerie de campagne étrangers en 1945

Matériels	Poids total (kg)	Portée (m)		Champ de tir		Observations
		Maximum	Minimum ²⁰	En hauteur	En direction	
Matériels tractés						
Obusiers divisionnaires :						
105 HM2 américain	2 000	11 300	2 000	- 5° à + 65°		
25 <i>pounder</i> ²¹ anglais	1 800	11 800				
10,5 cm LFH 18/40 allemand	1 900	12 300		- 6° à + 40°		
12,2 cm obusier russe	2 200	11 800				
155 HM1 américain	5 900	15 060	3 000	- 2° à + 63°		
15 cm SFH 18/40 allemand	5 650	15 500		0° à + 45°		
15,2 cm obusier russe	7 120	17 000		- 2° à + 65°		
Canons longs :						
10,5 cm K 18/40 allemand	5 160	21 000		0° à + 45°	56°	Affût 15 cm SFH 18/40
12,2 cm canon russe	7 000	20 800				
15 cm K 18 allemand	12 600	25 000 ²²		-4° à + 45°	60°	
17 cm K 18 allemand	17 500	29 100 ²³		0° à + 50°	16°	Affût du 17 cm K 18
21 cm K 18 allemand	16 400	16 700		0° à + 70°	16°	Tir sur plate-forme
21 cm K 39 allemand	35 000	30 000 ²⁴		-4° à + 45°	tous azimuts	
155 Gun M1 américain	13 800	23 500		0° à + 63°	60°	

²⁰ En tir vertical, en charge 1.

²¹ La désignation anglaise se réfère au poids, en livres, de l'obus. Le calibre de la bouche à feu est de 87,6 mm.

²² Obus de 43 kg à $V_0 = 695$ m/s.

²³ Obus de 68 kg à $V_0 = 910$ m/s.

²⁴ Obus de 130 kg à $V_0 = 870$ m/s.

Matériels	Poids total (kg)	Portée (m)		Champ de tir		Observations
		maximum	minimum	En hauteur	En direction	
Matériels automoteurs						
Wespe allemand ²⁵	11 000			-5° à + 42°	32°	Châssis de PZ KW II
STU H.42 allemand ²²	22 000	12 300		-6° à + 20°	20°	Châssis de PZ KW III
105 mm Priest américain ²⁶	16 000	12 300		0° à + 33°	37°	Châssis Sherman
15 cm Hummel allemand ²⁷	23 000	11 300		0° à + 39°	32°	Châssis de PZ KW IV
155 mm M4 américain ²⁸	22 000	12 150		0° à + 30°	28°	

²⁵ Masse oscillante de 10,5 cm LFH 18/40.

²⁶ Masse oscillante de 105 HM2.

²⁷ Masse oscillante de 15 cm SFH 18 avec frein de bouche.

²⁸ Masse oscillante de 155 mm Mle 18 M1.

ANNEXE II

Caractéristiques des lance-roquettes multiples allemands

Appellation	Nombre de tubes	Masse	Poids roquette	Portée maximum	Observations
15 cm <i>Nebelwerfer</i> 41 tracté	6	540 kg	32 kg ¹	7 200 m	(1) roquette à tête explosive
15 cm <i>Panzerwerfer</i> 42« Maultier » automoteur	10	matériel monté sur véhicule semi-chenillé, mêmes roquettes que le 15 cm <i>Nebelwerfer</i> 41.			
21 cm <i>Nebelwerfer</i> 42 tracté	5	600 kg	112 kg ²	7 800 m	(2) roquette à tête explosive
28/32 cm <i>Nebelwerfer</i> 41 tracté	6		83 kg ³	2 200 m	(3) roquette à tête explosive de 28 cm
	6		79 kg ⁴	2 200 m	(4) roquette à tête incendiaire de 32 cm
28/32 cm <i>Wurfgerät</i> 40 et 41		cadre de lancement à 4 roquettes, posé au sol. Mêmes munitions que le 28/32 cm <i>Nebelwerfer</i> 41.			
28/32 cm <i>Wurfrahmen</i> 40		cadres individuels de lancement montés par 6 sur véhicule semi-chenillé. Mêmes munitions que le 28/32 cm <i>Nebelwerfer</i> 41.			

Nota : Une expérimentation du 15 cm *Panzerwerfer* 42 (Maultier) a été faite par la STA après la guerre à la demande de la Direction de l'armée blindée qui envisageait de doter certaines unités de tels multitubes montés sur tourelles.

ANNEXE III

Matériels d'accompagnement immédiat de l'infanterie

Canons classiques								
Matériel	Poids (kg)	Portée maximum (m)	Champ de tir		Observations			
			En hauteur	En direction				
75 Pack HOW.m1 américain	950	8 500	- 10° à + 50°	45°	décomposable en fardeaux (adopté au Royaume-Uni) tire une munition AC à charge creuse décomposable en fardeaux munitions du 105 HM2 aux charges faibles			
7,5 cm LIG. 18 allemand	400	3 500	- 10° à + 73°	12°				
7,5 cm IG.37 allemand	510	2 500	0° à + 23°	60°				
3,7 pouces anglais	1 000	6 000						
105 HM3 américain	1 130	7 500						
15 cm SIG.33 allemand	1 500	4 700	0° à + 70°	11°				
Canons sans recul								
Matériel	Poids (kg)	Projectile		Portées		Champ de tir		Observations
		Poids (kg)	V ₀ m/s	Max (m)	Distance d'assaut AC (m)	En hauteur	En direction	
57 mm américain	25	2,3	360		450			tir à l'épaule projectile explosif projectile à charge creuse projectile explosif projectile à charge creuse projectile à charge creuse projectile explosif projectile à charge creuse
75 mm M20 américain	76	6,5	310	6 400	500	0° à + 35°	tous azimuts	
7,5 cm LG40 allemand ²⁹ et ³⁰	145	5,9	310	6 000	500	0° à + 42°	60°	
		4,5	370		500			
7,5 cm RFK43 allemand	50		160		250			
10,5 cm LG40 allemand	390	14,8		7 000			80°	
		12	350		600	- 15° à + 40°		

²⁹ LG : *Leicht geschutz* (canon léger).

³⁰ Décomposable en fardeaux (deux pour le parachutage ; trois pour le transport à dos d'homme).

ANNEXE IV

Pouvoir perforant des munitions des chars moyens et lourds allemands de 1940 à 1945

Sigle	Char		Canon ³¹	Projectile		Pouvoir perforant			Observations
	Masse	Année de référence		Masse	V ₀	Distance X m	Épaisseur blindage traversée Incidence 0°	Incidence 30°	
PZ KW III	18 t	1940	37 mm	0,7 kg	787 m/s	460 m	48 mm	36 mm	
	19/20 t	1942	50 mm L32	1,7 kg	1 053 m/s	1 090 m	54 mm	44 mm	
	20/22 t	1943/45	50 KWK 39	1,7 kg	1 130 m/s	1 090 m	63 mm	52 mm	
PZ KW IV	18/20 t 20/22 t	1940 1943/45	75 mm L24	6,8 kg	480 m/s	900 m	40 mm		Projectile à noyau lourd
			75 KWK 40	6,8 kg	770 m/s				
			(L48)	3,2 kg	1 100 m/s	900 m	97 mm	80 mm	
PZ KW V Panther	45 t	1943/45	75 KWK 43 (L71)	6,8 kg	920 m/s	900 m	133 mm	110 mm	Projectile à noyau lourd
				4,5 kg	1 100 m/s	900 m	170 mm	123 mm	
						1 370 m	145 mm	100 mm	
PZ KW VI Tigre	56 t	1942/45	88 KWK 43 (L71)	10 kg	1 000 m/s	900 m	222 mm	164 mm	Projectile à noyau lourd
				7,3 kg	1 130 m/s	1 370 m	194 mm	136 mm	

³¹ Les appellations L24, L32, L48, L71 de certains canons représentent les longueurs des tubes exprimées en calibres.

ANNEXE V

Caractéristiques des canons anti-chars allemands (1940-1945)

Sigle	Canon		Projectile		Pouvoir perforant			Observations
	Masse	Année de référence	Masse	V ₀	Distance x M	épaisseur blindage traversée		
						Incidence 0°	Incidence 30°	
5 cm PAK 38 ³²	920 kg	1941	2 kg	810 m/s	450 m	78 mm	61 mm	Projectile à noyau lourd
			0,9 kg	1 180 m/s	1 100 m	53 mm	45 mm	
					450 m	120 mm	86 mm	
					1 100 m	70 mm	44 mm	
7,62 cm PAK 36 ³³	1 700 kg	début 1942	8,1 kg	730 m/s	450 m	118 mm	94 mm	Projectile à noyau lourd
			4,15 kg	1 060 m/s	900 m	105 mm	83 mm	
7,5 cm PAK 40	1 450 kg	fin 1942	6,6 kg	850 m/s	450 m	132 mm	112 mm	Projectile à noyau lourd
			4,4 kg	975 m/s	900 m	120 mm	102 mm	
					1 350 m	108 mm	92 mm	
8,8 cm PAK41/43 ³⁴	4 500 kg	fin 1943	10 kg	1 000 m/s	900 m	222 mm	164 mm	Projectile à noyau lourd
			7,3 kg	1 130 m/s	1 370 m	194 mm	136 mm	
2,8 cm S.PZ B 41 ³⁵ Gerlich	270 kg où 120 kg ³⁶	1941	0,130 kg	1 350 m/s	360 m	72 mm	56 mm	Calibre du tube : entrée des rayures = 2,8 cm volée = 2 cm
					720 m	49 mm	41 mm	

³² Du côté allié, il y aura un matériel comparable (d'origine anglaise) au calibre 57 mm tirant un projectile perforant de 1,4 kg à V₀ = 820 m/s.

³³ Ancien canon de campagne russe transformé par les Allemands en canon anti-char (balistique intérieure plus puissante, frein de bouche).

³⁴ Canon de 8,8 cm L71 identique à celui du char Tigre.

³⁵ SPZB : *Schwere Panzerbuchse*.

³⁶ La masse de 120 kg correspond à un modèle allégé pour troupes aéroportées, l'allègement portant sur l'affût, (en tubes métalliques), le berceau (en alliage léger) et le train de roulement (diminution de moitié du diamètre des roues). Un exemplaire de ce modèle se trouve au musée d'artillerie de l'EFAB.

Sigle	Canon		Projectile		Pouvoir perforant			Observations
	Masse	Année de référence	Masse	V_0	Distance x M	Épaisseur blindage traversée		
						Incidence 0°	Incidence 30°	
4,2 cm PAK 41, Gerlich	450 kg	début 1942	0,330 kg	1 230 m/s	450 m	94 mm	77 mm	Calibre du tube : entrée des rayures = 42 mm volée = 28 mm
7,5 cm PAK 41 Gerlich	1 360 kg	fin 1942	2,6 kg	1 240 m/s	450 m 900 m 1 350 m	170 mm 151 mm 134 mm	146 mm 130 mm 114 mm	Calibre du tube : entrée des rayures = 75 mm volée = 55 mm L'âme du tube est cylindrique et lisse au diamètre de 55 mm sur environ 1 m en volée.

ANNEXE VI

Lance roquettes anti-chars d'infanterie 1943/1945

Désignation	Masse	Portée maximum d'utilisation efficace	Perforation incidence 25°
Panzerfaust allemand	5 kg ³⁷	30 m	200 mm
Panzer Schreck allemand	9,5 kg	120 m	150 mm
Bazooka américain			
PIAT anglais	15 kg	100 m	110 mm
Raketen Werfer 43 allemand (<i>Puppchen</i>)	150 kg	220 m	160 mm

³⁷ Tête à charge creuse hors du tube de lancement (surcalibrage).

ANNEXE VII

Artillerie de DCA en 1945

Matériel	Masse totale (tonnes)	Projectile		Cadence de tir (Coups/min)	Plafond (m)
		Masse (kg)	V ₀ (m/s)		
40 mm Bofors ³⁸ – UK et USA	2 t	0,920 kg	875 m/s	120 c/m	3 500 m
3,7 cm FLAK – Allemagne			725 m/s		
5 cm FLAK – Allemagne			725 m/s		
8,8 cm FLAK 36 – Allemagne	6 t	9 kg	820 m/s	15 c/m	9 500 m
10,5 cm FLAK – Allemagne	14 t	15 kg	880 m/s	15 c/m	10 000 m
12,8 cm FLAK – Allemagne	27 t	26 kg	880 m/s	8 c/m	12 000 m
3,7 pouces (94 mm) – UK	10 t	12,7 kg	790 m/s	12 c/m	10 000 m
85 mm – URSS		10 kg	800 m/s	15 c/m	10 000 m
90 mm M1 – USA	8,6 t	10,5 kg	820 m/s	15 c/m	10 000 m
119,4 mm - USA	27 t	22,5 kg	945 m/s	12 c/m	12 000 m

³⁸ Matériel suédois utilisé pendant la Seconde Guerre mondiale par le Royaume-Uni et les États-unis.

CHAPITRE 2

ORGANISATION DU DOMAINE « ARTILLERIE » (1939-1975)³⁹

AVANT-PROPOS

Sous le vocable « Armements de gros calibre » sont englobés, pour l'essentiel, non seulement les systèmes d'armes d'appui feu sol-sol de tir indirect⁴⁰ – artillerie de campagne à base de canons et roquettes, mortiers, munitions, moyens de mise en place des feux... – mais également les systèmes d'armement puissants des véhicules blindés de combat à base de canons – armes, munitions, conduites de tir...

Ce regroupement privilégie l'aspect technique et industriel de la spécificité « artillerie », les moyens humains et matériels étant les mêmes pour satisfaire aux besoins, aussi bien au niveau de la conception que des fabrications et des évaluations, les avancées techniques étant dans la plupart des cas utilisables dans les deux domaines d'application.

En ce qui concerne les systèmes d'armes de défense antiaérienne à base de canons puissants, les dernières études menées en France dans la période 1945-1960 et qui n'ont pas débouché sur des mises en service sont évoquées au Tome 8.

ORGANISATION DU DOMAINE « ARTILLERIE »

Rappel de l'organisation en 1939-1940

S'agissant d'un secteur puissamment structuré en France avant le second conflit mondial, il est nécessaire pour éclairer les conditions de reprise de l'activité à la Libération, de rappeler les caractéristiques principales de l'organisation qui était en place en 1939-1940.

A cette époque, l'emploi des matériels d'artillerie est très diversifié : les matériels sont destinés à satisfaire non seulement les besoins d'appuis-feux en profondeur du champ de bataille et ceux de l'armement principal des véhicules blindés de combat, mais également les besoins d'armements anti-chars, antiaériens et de fortification.

La Direction des fabrications d'armement (DFA), responsable des armements terrestres, assume elle-même, dans le domaine des matériels d'artillerie, l'essentiel de l'activité industrielle – études et fabrications – à partir des établissements hérités de la Direction de l'artillerie en 1934 et de certaines usines nationalisées en 1937. Cette prééminence n'exclut pas la participation de l'industrie privée spécialisée qui a conservé, après les nationalisations d'établissements de 1937, non seulement des moyens de production mais également un potentiel de conception :

- étude et production d'artillerie par Schneider, Chantiers de la Loire, SAGEM...
- étude et production de mortiers et munitions de mortiers par E. Brandt.
- production d'éléments principaux de bouches à feu (tubes, culasses...) par les aciéristes (Schneider, Cail, Firminy...).

³⁹ Par l'Ingénieur général de l'Armement Marest.

⁴⁰ Hormis l'armement de dissuasion nucléaire.

A la DFA, les établissements spécialistes d'artillerie sont les Ateliers de construction de Bourges (ABS), Puteaux (APX), Tarbes (ATS) et Le Havre (AHE). Ces quatre établissements ont la responsabilité de conception des matériels et disposent chacun d'un bureau d'études orienté préférentiellement – mais non exclusivement – vers une des finalités d'emploi précitées :

- l'ABS sur l'artillerie de campagne de moyenne portée
- l'ATS sur l'artillerie lourde
- l'APX sur l'armement de char, les canons anti-chars et de fortification⁴¹
- l'AHE sur les matériels antiaériens.

Ces établissements assument la maîtrise d'œuvre de production, réalisant eux-mêmes les éléments spécifiques d'artillerie (bouches à feu, systèmes de recul) qui nécessitent des moyens industriels spécialisés (ateliers de canonnerie et de liens élastiques) et font participer l'industrie privée à la conception et à la réalisation d'ensembles mécaniques classiques (affûts, moyens de transport, accessoires...).

En dehors des quatre établissements précités dont les matériels d'artillerie constituent l'activité principale, un autre établissement de la DFA est également concerné par la fabrication de constituants majeurs de ces matériels ; il s'agit de l'Atelier de construction de Roanne (ARE) qui, tout en étant principalement orienté vers la production d'obus, dispose d'un atelier de mécanique⁴² qui réalise des éléments spécifiques d'artillerie : bouches à feu, freins de tir, supports d'appareils de pointage...

Une liste – non exhaustive – des matériels les plus récents réalisés en 1939-1940 fait l'objet de l'annexe I.

Dans le domaine des munitions d'artillerie, l'activité est organisée en faisant participer à la fois l'industrie d'État et l'industrie privée. Une liste des principaux intervenants, par spécificité industrielle, figure en annexe II.

Les matériels et munitions d'artillerie (nouveaux ou modifiés après mise en service) font l'objet d'essais techniques dans les établissements de la DFA auxquels les décrets de juin 1933 ont attribué cette responsabilité. Il s'agit, d'une part de l'Établissement d'expériences techniques de Bourges (EETBS) avec ses annexes de Calais, Saint-Pierre Quiberon et Toulon et d'autre part du Laboratoire d'études de balistique intérieure de Versailles. Ces établissements participent à l'étude et à la mise au point des matériels et des munitions (instruction du 29 avril 1936). Ils traitent en particulier tous les problèmes de balistique – intérieure, extérieure, terminale, tables de tir...

Auprès de l'EETBS est implantée une Commission d'expérimentation de l'artillerie dépendant de la Direction de l'artillerie⁴³ chargée :

- Des essais destinés à s'assurer de l'aptitude à l'emploi en corps de troupe, avant adoption des matériels
- Des épreuves de recette en phase de production après adoption des matériels.

Reprise de l'activité à la libération (1944-1945)

Cette reprise est marquée par le souci de redonner vie au secteur spécialisé dans le domaine de l'artillerie avec deux objectifs majeurs :

- dans le très court terme :

⁴¹ L'APX, par son service optique est également le concepteur et le réalisateur d'équipements de tir : appareils de pointage, goniomètres, télémètres...

⁴² Atelier « Somme ».

⁴³ Il existe de même à Versailles une « Commission des poudres de guerre » dépendant également de la Direction de l'artillerie.

- Assurer de manière prioritaire le soutien des matériels en service
- Remettre en état les matériels récupérés – français et étrangers – intéressant l’armée de Terre
- Rassembler le maximum d’informations techniques sur les matériels et munitions les plus récents et les plus performants de l’ennemi.
- À moyen terme, mettre en place une organisation adaptée aux besoins futurs tels qu’ils peuvent être envisagés à la lumière des diverses formes d’emploi de l’artillerie à la fin du second conflit mondial.

La capacité des établissements spécialistes d’artillerie à participer aux opérations du très court terme dépend essentiellement du degré de destruction ou de pillage de leurs moyens entre 1940 et 1944 ; alors que les établissements de la zone occupée ont dans cette période cessé toute activité (c’est le cas de l’AHE, de l’APX, de l’ABS et de l’ECP) et qu’une partie importante de leur potentiel en machines-outils a été transférée en Allemagne⁴⁴ les établissements situés en zone dite libre (ARE, ATS) qui s’étaient reconvertis à des fabrications civiles verront à partir de 1943 leurs moyens – personnels et machines – employés sur place par l’ennemi à ses propres fins militaires.

Ainsi, en ce qui concerne les objectifs à très court terme en 1944-1945 tels qu’ils sont définis ci-dessus, si l’ensemble des établissements participe aux recherches d’informations techniques, seuls l’ATS et surtout l’ARE participent aux actions de soutien et de remise en état.

L’annexe III dont un aperçu de l’avancement des travaux en recherches d’informations à la date du premier janvier 1946.

L’annexe IV reproduit la liste des matériels d’artillerie récupérés à réparer (artillerie de campagne, artillerie AC, artillerie de DCA) et l’ordre d’urgence définie par EMA/ARMET (note n°3401 EMA/ARMET du 5 septembre 1945). Cette demande de réparations est liée aux besoins d’équipement des unités d’artillerie prévues par le Plan, ces besoins ne semblant pas pouvoir être totalement satisfaits en matériels américains. C’est ainsi que l’ARE réparera en 1946 :

- des canons anti-chars de 50 PAK et 75 PAK.
- des obusiers de 105 LFH et de 150 SFH, certains obusiers de 150 SFH étant modifiés pour permettre le tir des munitions américaines de l’obusier de 155 mm HM1 (réalésage, chambrage, rayage, rééquilibrage).

Tous ces matériels réparés seront recettés par la STA à l’ARE puis à l’ETBS à partir de la fin 1946.

D’autre part, pendant cette période qui suit la Libération, l’ARE entreprendra grâce à son bureau d’études de machines-outils créé pendant l’Occupation et dirigé par l’IM Adamowicz, le développement de mortiers de 81 mm et 120 mm (mortier de 120 Mle 44) qui seront réalisés sur place avec les moyens industriels disponibles. C’est ainsi qu’au moment de l’Armistice, l’ARE aura fabriqué plus de 1 000 mortiers de 120 Mle 44 R.

Au-delà de cette reprise d’activité, variable selon les établissements, se mettent en place les moyens capables de satisfaire à l’objectif à moyen terme défini au début de ce

⁴⁴ Des « opérations commandos » de récupération seront effectuées en Allemagne après l’Armistice. Au nombre des machines retrouvées il y a lieu de citer le cas des machines à pointer « La Genevoise », essentielles pour la fabrication des outillages, dont la localisation en Allemagne avait été signalée par le constructeur suisse à la suite de demandes de réparation émanant des industriels allemands (machines repérées par n°ach eteur).

chapitre, l'échéance de remplacement des matériels existants étant de l'ordre de cinq ans⁴⁵.

Le problème le plus aigu est celui de la reconstitution d'équipes de conception compétentes, autour d'un nombre très limité de spécialistes chevronnés. A cette reconstitution menée dans chacun des établissements constructeurs d'artillerie s'ajoute la création d'un bureau d'études d'artillerie au sein du Service technique central, ce qui constitue une évolution fondamentale par rapport à l'organisation d'avant-guerre.

Cette évolution correspond à une volonté de centralisation que l'on trouve exprimée par l'ingénieur général, Inspecteur technique des études et fabrications d'Armement dans une correspondance du 15 janvier 1947 adressée au directeur de la DEFA :

« La création en 1945 d'un Service technique fortement étoffé répondait à une nécessité.

Sans doute ce dernier ne doit-il effectuer que des études d'ensemble et s'appuyer constamment sur les bureaux d'études des établissements d'armement ou de l'industrie privée pour l'établissement des dessins d'exécution⁴⁶.

Encore faut-il cependant que soient exercées une centralisation et une coordination convenables seules capables de permettre la mise au point rapide de projets bien étudiés, sans doubles emplois désolants ni pertes de temps ridicules par luttes entre conceptions d'origines différentes.

Tel est bien le rôle qu'assume le Service technique actuel. Ceci lui donne dès maintenant et lui donnera de plus en plus dans l'avenir la forte position qu'il doit avoir pour le bien général vis-à-vis de l'état-major de l'Armée à propos de l'élaboration des programmes et vis-à-vis des établissements constructeurs d'État ou privés à propos des études de détail et des réalisations ».

Ce modèle sera en 1945 plus particulièrement mis en place dans deux bureaux du Service technique, le bureau « Auto-chars » (ST/AC) pour les études de tourelles, le bureau « Artillerie » (ST/ART) pour les études d'armement de véhicules blindés de combat⁴⁷ ce voisinage des deux bureaux facilitant la conception d'ensemble et la résolution des problèmes d'interfaces.

L'historique de la constitution de ce bureau d'études de matériels d'artillerie, sous la direction du chef du bureau ST/ART, l'Ingénieur en chef Lafargue fait l'objet de l'annexe V.

Ce bureau d'études s'appuiera sur les établissements de Puteaux, Tarbes et Le Havre pour la réalisation des prototypes et leur mise au point.

L'Ingénieur en chef Lafargue quittera le bureau ST/ART en octobre 1945 pour prendre la direction du nouveau département « Études et recherches techniques » (ST/ERT) du Service technique central. Il sera remplacé par l'Ingénieur en chef Carougeau qui animera sans relâche le bureau d'études de ST/ART jusqu'à la fin 1954.

Comme il l'a été dit précédemment, ce bureau d'études va mener les développements des canons et munitions perforantes pour véhicules blindés de combat.

Des anciens bureaux d'études des établissements d'artillerie de la DFA de 1939, seul celui de l'ABS reprendra en 1945 une activité importante à vocation bien définie.

⁴⁵ Échéance figurant dans une étude présentée par l'EMGDN en septembre 1945 et qui préfigure la première génération de matériels nouveaux du début des années 1950.

⁴⁶ Une comparaison avec l'organisation du Service technique des constructions navales ne peut manquer de venir à l'esprit. L'inspecteur technique connaissait bien cette organisation étant lui-même ingénieur de l'artillerie navale.

⁴⁷ Ce bureau aura également la responsabilité de tout ce qui doit être réglementé et unifié : cahiers des charges générales (aciers à canons, aciers à blindages) normalisation d'organes et accessoires communs spécifiques du domaine artillerie, constitution des dossiers de définition...

Constituée, au départ, de personnels du bureau d'études de 1939 de l'ABS (Ingénieurs de travaux et personnels civils)⁴⁸ cette équipe sera renforcée par une cellule de conception de projectiles d'artillerie dirigée par un ingénieur civil, ancien chef du bureau d'études de munitions de l'AHE réplé à l'ATS. Ce groupe est placé sous la direction de l'Ingénieur en chef Rivals⁴⁹ venu de l'ATS et se voit confier les développements de matériels d'artillerie de campagne.

Les autres établissements impliqués jusqu'en 1940 dans les développements d'artillerie voient leur domaine d'intervention se restreindre ou changer de finalité.

L'APX reprend sa mission de concepteur d'équipements d'optique de tir et joue un rôle de soutien rapproché du bureau d'études du ST/ART dans la réalisation et la mise au point des prototypes d'artilleries pour véhicules blindés légers. Son potentiel industriel se remet en place pour permettre des fabrications de ce type (calibre max. de l'ordre de 75 mm). En liaison avec la MLS – qui lui sera rattachée en septembre 1954 – l'APX va s'intéresser pour le compte de ST/ART et de ST/DCA à des études d'aménagement d'affûts et de conduites de tir de canons de défense antiaérienne (40 mm et 57 mm Bofors, 90 mm et 105 mm Schneider).

La novation pour l'APX découlera de la décision de la DEFA de confier à cet établissement une mission de soutien du bureau ST/ERT dans les études d'autopropulsion⁵⁰ puis de guidage. De là naîtra une vocation nouvelle de l'APX dans le domaine des anti-chars d'infanterie, des projectiles à propulsion additionnelle, des engins guidés anti-chars (ACRA) qui l'éloignera progressivement du domaine de l'artillerie.

L'ATS, dont l'activité études jusqu'en 1940 était centrée sur l'artillerie lourde, va se limiter à un rôle de soutien des deux bureaux d'études principaux du ST/ART et de l'ABS⁵¹. Son potentiel de production d'artillerie n'ayant pratiquement pas souffert de l'Occupation, l'ATS va participer aux nouveaux développements pour la réalisation des tubes et se verra confier par ST/ART des études exploratoires (chemisage des tubes de canons) et des études de concepts (artillerie de 155 à lien élastique concentrique au tube pour montage en tourelle d'automoteur de 25/30 t) mais progressivement le bureau d'études de l'ATS s'orientera vers d'autres domaines (rampes de lancement d'engins autopropulsés...).

L'AHE qui a conservé un noyau de techniciens chevronnés de son bureau d'études d'avant-guerre va avoir la responsabilité de réalisation et de mise au point des prototypes d'artilleries pour char moyen (100 mm et 120 mm) conçues par le bureau ST/ART. Il interviendra sur quelques développements décidés (matériel léger d'artillerie pour troupes aéroportées en liaison avec SAGEM, masse oscillante de 90 mm de l'AML) et sur des études de concept demandées par ST/ART (obusier de 105 tracté biflèche utilisant la masse pivotante du 105-50 triflèche, concept d'obusier-mortier...) mais s'orientera peu à peu vers des études de tourelles pour engins blindés légers.

L'ARE dont le bureau d'études de machines d'outils créé sous l'occupation, a conçu à la Libération le mortier de 120 Mle 44 R va continuer à participer à des études et

⁴⁸ Voir en Annexe VI un sommaire des activités de ce bureau d'études entre 1940 et 1945.

⁴⁹ Affecté aux études d'artillerie à l'ATS avant-guerre, l'Ingénieur en chef Rivals sera le successeur de l'Ingénieur en Chef Lafargue comme professeur du cours d'artillerie à l'École nationale supérieure de l'Armement. Il succédera à l'Ingénieur général Carougeau à la tête du bureau artillerie du Service technique au 1^{er} janvier 1955.

⁵⁰ L'annexe de Levallois de l'APX entreprendra ainsi l'étude de l'armement de saturation (lance-roquettes multitube de 150 mm).

⁵¹ Ainsi le bureau d'études de l'ATS concevra à la fin des années 1940 le premier modèle de culasse à coin « obturatrice » (à volet) pour artillerie de gros calibre tirant des gargousses ; un prototype fut réalisé pour l'obusier de 155 Mle 50.

développements du domaine Artillerie bien que l'établissement prenne une vocation de production et de reconstruction de véhicules blindés. Ce bureau s'intéressera aux matériels de forteresse mais surtout, sous l'égide de l'IMP Larroumets, aux développements des canons sans recul de 75 mm et 105 mm et des munitions empennées à charge creuse associées à ces matériels.

La responsabilité du bureau d'études de ST/ART et des bureaux d'études des établissements couvre, dans chaque cas, le matériel et sa munition principale⁵² – de guerre et d'exercice – les munitions complémentaires étant de la responsabilité du bureau munitions du Service technique (ST/MU).

Pour tous les développements ainsi engagés, le bureau balistique du Service technique (ST/BAL) joue un rôle de coopérant pour ce qui concerne la balistique intérieure – en liaison avec la Direction des poudres – la balistique extérieure et l'établissement des tables de tir. Pour l'exécution de ces tâches, ST/BAL s'appuie sur les établissements d'essais (EETBS, ETVS).

Cette répartition des tâches qui pourrait apparaître aujourd'hui comme une source de dilution des responsabilités et de conflits se révélera en réalité très efficace par la haute compétence et la volonté d'aboutir des responsables des bureaux concernés du Service technique travaillant en équipe sans formalisme.

Dans l'industrie privée, les études et développements d'artillerie sont réanimés chez Schneider et SAGEM⁵³ ainsi qu'aux Chantiers de la Loire. Ces industriels se voient confier en particulier la conception de l'armement principal du char ARL 44 : les Chantiers de la Loire pour l'armement de 75 mm, Schneider pour l'armement de 90 mm, SAGEM participant aux deux développements.

Les activités d'études sont également reprises dans le domaine des mortiers, par Brandt qui conçoit et réalise un mortier de 120 mm (120 Mle 44 A) voisin du mortier de 120 mm de l'ARE (120 Mle 44 R).

Dans le domaine des fabrications de matériels d'artillerie, gérées par le bureau SI/5 du Service Industriel, l'ATS est, comme il l'a été écrit précédemment, le seul établissement de la DEFA à posséder l'ensemble des moyens spécifiques de production (canonerie, atelier de liens élastiques) dans toute la gamme des calibres envisageables pour les besoins de l'armée de Terre.

A l'ARE les moyens de production d'artillerie de l'atelier « Somme » ont été sauvegardés. Ces moyens seront utilisés à la reprise d'activité de 1945 pour la remise en état des matériels en service et récupérés ainsi que pour la production d'une partie des bouches à feu du char de transition ARL 44.

Le rééquipement des autres établissements est effectué en rationalisant les capacités des moyens de production : l'APX dans le bas de gamme (40 mm à 75 mm), l'ABS dans les dimensions moyennes, l'ATS restant le seul impliqué pour le haut de gamme, une installation d'autofrettage des tubes de canons étant créée à l'ABS en complément de celle de l'ATS.

Dans l'industrie privée, parmi les industriels cités précédemment ayant repris une activité de conception c'est la SAGEM à son usine de Montluçon qui possède la capacité la plus sensible de production de bouches à feu ; cette capacité sera utilisée pour la production d'une partie des bouches à feu du char de transition.

⁵² Munition à projectile perforant pour les artilleries de véhicules blindés, munitions à projectile explosif pour les artilleries de campagne.

⁵³ Le colonel Deleuze chez Schneider et l'IMC Steck chez SAGEM animent ces activités d'études (l'IMC Steck avait avec l'IMC Lhomme participé avant-guerre à l'ABS au programme d'artillerie anti-aérienne de 75 CA 32).

Par contre, l'industrie privée ne participe pas à la fabrication des liens élastiques d'artillerie qui restent de la seule compétence des établissements de la DEFA.

Dans le domaine des fabrications de munitions d'artillerie (gérées par le bureau SI/2 du Service industriel) les changements les plus sensibles par rapport à la situation de 1940 sont :

- l'arrêt des fabrications de corps d'obus à l'ARE, ces fabrications étant concentrées, pour ce qui concerne les établissements de la DEFA, à l'ALN ;
- l'arrêt du chargement en explosif à l'ECP pour les commandes de production, cet établissement conservant toutefois des moyens lui permettant de mener à bien les études de munitions ;
- la participation de la FOMHAR (Mulhouse) à la fabrication des douilles ;
- une sensibilisation de l'industrie électronique à la production des fusées radioélectriques.

Évolution de l'organisation (1945-1975)

L'évolution de l'organisation dans le domaine de l'artillerie (armes et munitions) est – en dehors des répercussions induites par les changements dans l'organisation générale de la DEFA et de la DTAT – marquée, pour l'essentiel, par les faits suivants :

Matériels : les activités d'études et de fabrications de matériels d'artillerie se concentrent progressivement sur Bourges (ABS puis EFAB après la fusion ABS/ECP).

La présence dans cette ville de trois établissements complémentaires – ABS, ECP, ETBS – pouvant assurer la conception, la réalisation et la mise au point des prototypes, les essais au tir des canons et des munitions et la production de série des matériels faisait de Bourges un lieu privilégié d'implantation totale de l'activité « Artillerie » d'autant plus que les quantités et variétés de matériels à produire tant pour les besoins nationaux que pour l'exportation, ne nécessitaient pas le maintien de moyens industriels spécifiques dans plusieurs établissements.

Ainsi en ce qui concerne les établissements spécialisés de la DTAT :

- l'ARE dont la vocation générale était orientée sur la production et la reconstruction des véhicules blindés cessait toute activité de fabrication d'artillerie au début des années 1950 après la réalisation de bouches à feu de 90 mm pour le char de transition ARL 44 ;
- l'AHE qui avait participé à la réalisation des bouches à feu prototypes du char de 50 tonnes et à la fabrication de série de culasses pour l'obusier de 105 Mle 50 en sous-traitance de l'ABS voyait son activité industrielle dans le domaine de l'artillerie s'achever au début des années 1960 avec les fabrications des premières masses oscillantes de 90 mm d'AML⁵⁴ et se consacrait à la conception et à la réalisation de tourelles de véhicules blindés légers (AML 60, AML 90, ERAC...) ;
- L'APX après avoir fabriqué les artilleries de 75 mm SA 49 des EBR Panhard achevait sa mission de production d'artillerie avec la réalisation, sous licence des matériels de DCA de 40 mm Bofors et transférait ses machines-outils de canonnerie à l'ABS dans le courant des années 1960 ;
- l'ATS qui avait réalisé tous les obusiers de 155 Mle 50 tractés ainsi que les bouches à feu et liens élastiques du canon de 175 mm étudié à l'ABS au milieu

⁵⁴ Fabrications reprises par l'ABS.

des années 1950 arrêtaient sa production d'artillerie avec la fabrication des masses pivotantes des canons de 155 automouvants (155 F3 Am).

Ainsi, les activités de production d'artillerie qui avaient été relancées à Bourges (ABS) au début des années 1950 par les commandes de canons de 75 Mle 50 équipant les chars AMX-13 et d'obusiers de 105 Mle 50 tractés étaient, elles, totalement concentrées à l'EFAB au milieu des années 1970.

Dans le domaine des études et développements, l'activité principale de conception au sein de la DEFA puis de la DTAT a été progressivement concentrée sur les deux bureaux d'études du Service technique central et de l'ABS, où le potentiel humain a été renforcé essentiellement au niveau des techniciens formés par les ETN, chaque bureau conservant son domaine propre, armement des véhicules blindés au bureau ST/ART, artillerie de campagne à l'ABS.

La participation « en soutien » des bureaux d'études de l'AHE et de l'ATS ne s'avérait plus nécessaire ; quant au bureau d'études de l'ARE il cessera toute activité à la fin des années 1950 mais le travail remarquable de défrichage réalisé par l'IMC Larroumets dans le domaine des projectiles empennés « au calibre » sera poursuivi et mené à bonne fin à l'ABS par l'IMP Arène muté de l'ARE.

La dernière phase de la concentration à l'ABS des responsabilités de conception et de développement de l'armement à base de canons de gros calibre pour véhicules blindés et artillerie de campagne (arme + munition principale) correspondra au transfert à Bourges des responsabilités du bureau d'études de ST/ART au fur et à mesure des départs en retraite ou des besoins d'affectation d'ingénieurs et de techniciens à des tâches plus fondamentales de service technique.

Le premier transfert (1955/1957) a été celui des études de munitions perforantes cinétiques à projectile sous calibre pour canon de 75 mm de l'AMX-13 que l'ABS poursuivra aux calibres 105 et 120, puis vers la fin des années 1950 le transfert des études d'artillerie de 90 mm pour véhicules blindés légers (AML, ERAC, véhicule EVEN...) utilisant la munition de 90 mm empennée développée à l'ABS par l'IMP Arène ; enfin, au milieu des années 1960, le transfert de la responsabilité de l'artillerie de l'AMX-30 mettait un terme à l'activité de développement du bureau ST/ART. Ce transfert des responsabilités n'était accompagné d'aucune mutation de personnels et le bureau ST/ART conservait pour un des plus créatifs de ses techniciens rompus aux problèmes de l'artillerie (ITEF Frayman) une mission de réflexion conceptuelle hors développements décidés. Parmi ces réflexions, on peut citer :

- Au milieu des années 1960, sous l'égide de l'IC Biarotte du Bureau artillerie du Service technique et en liaison avec l'ABS, les premières esquisses d'organisation d'une tourelle d'artillerie de 155 mm adaptable au châssis AMX-30 qui seront le point de départ du développement ultérieur de la tourelle de 155 AU F1 ;
- À la même époque et à la demande de l'IC Marest directeur de l'ABS, le concept d'une culasse à coin obturatrice (obturateur entièrement métallique) pour cartouche de char sans résidu de tir. La réalisation et les essais sur un canon de 105 mm de char AMX-30 de ce concept seront à l'origine de la solution de culasse adoptée pour l'automoteur de 155 AU F1 ;

- au début des années 1970 et à la demande l'IC Marest les concepts de montage de mortiers de 81 mm et 120 mm sur véhicules légers (tourelle d'AML, châssis AMX-10) avec amortisseur à ressorts-bagues⁵⁵ et culasse.

Dans le même temps les bureaux d'études de l'industrie privée qui avaient participé aux nouveaux programmes d'armement lancés entre 1945 et 1948 voyaient leurs activités dans le domaine de l'artillerie se réduire puis s'éteindre au début des années 1960 : ainsi, Schneider qui avait eu la charge, après l'armement de 90 mm du char de transition, du développement de l'artillerie de 90 mm pour char moyen (25-30 t) ainsi que des artilleries de DCA de 90 mm bitube et de 105 mm monotube voyait son activité dans les programmes d'études de l'EMAT s'achever entre 1955 et 1960 par une participation à la définition du canon d'action lointaine de 175 mm tracté d'après tracés d'ensemble établis par le bureau d'études de l'ABS. Il en était de même de SAGEM après l'étude, sans suite, du canon de 105 léger aérotransportable mené en liaison avec l'AHE⁵⁶ et des Chantiers de la Loire après l'étude, également sans suite, d'une masse oscillante de 105 obusier pour tourelle de char léger de 12 tonnes.

Ainsi, avant la création du GIAT, le potentiel de conception et de production (moyens spécifiques) des matériels d'artillerie terrestre en France, est concentré à l'EFAB.

Dans le domaine des mortiers, Brandt, après le changement d'orientation des missions de l'ARE, a acquis un monopole industriel en France qui ne lui est pas contesté compte tenu de la réussite des nouveaux matériels.

Munitions

- En ce qui concerne les études et développements des nouvelles munitions d'artillerie, les missions respectives des établissements de la DEFA (puis de la DTAT) d'une part et de l'industrie nationalisée et privée d'une part sont confirmées, en particulier :
 - L'ABS et l'ECP (puis l'EFAB) dans le domaine des projectiles d'artillerie de toute nature,
 - La Direction des poudres (puis la SNPE) dans le domaine des poudres à canon, des explosifs de chargement et plus particulièrement du développement des douilles combustibles,
 - L'industrie des alliages lourds (Ugine, CEA) dans le développement de nouveaux matériaux pour projectiles perforants,
 - L'industrie horlogère – Jaz, Lip – dans le développement des fusées chronométriques,
 - L'industrie électronique – Thomson, TRT – dans le développement des fusées altimétriques (fusées transistorisées, fusées à hauteur d'éclatement réglable très peu sensible à l'angle de chute...).

Cette politique est accompagnée de mesures d'investissement en moyens d'investigation parmi lesquels on peut citer à l'ECP les équipements modernes de laboratoire et la création d'un stand de tir doté de moyens de radiographie ultrarapide en vol des projectiles.

⁵⁵ Les ressorts bagues – comme les rondelles Belleville – ont la propriété, lorsqu'ils sont montés en série, de ne pas restituer par détente toute l'énergie qu'ils ont accumulée par compression. Ils sont utilisés en particulier par la SNCF dans les tampons de wagons et buttoirs.

⁵⁶ Le choix de l'état-major s'étant porté sur le canon de 105 italien après expérimentation des deux matériels.

- En ce qui concerne la production des munitions d'artillerie l'évolution a été marquée, pour l'essentiel :
- Au sein de la DTAT, par des concentrations :
- Fermeture de l'ALN et concentration à l'ATS des fabrications de corps d'obus forgés,
- Fermeture de la FOMHAR de Mulhouse et concentration à l'ARS de la fabrication des douilles,
- Fermeture des ateliers de chargement à l'exception de l'ASS où sont concentrées toutes les opérations de cette nature.

Dans l'industrie privée :

- Rôle plus important de Luchaire qui, en plus de la confirmation de sa position de producteur de corps d'obus (usine de Cresancy) et de douilles (usine d'Issy-Les-Moulineaux transférée près de Dieppe) prend une dimension de maître d'œuvre de production avec l'acquisition des établissements de chargement Billand (banlieue de Bourges),
- Intervention passagère de certains industriels à l'occasion des commandes offshore, par exemple, la société Jeumont pour la fabrication de douilles roulées en tôle d'acier pour semi-cartouches,
- Changement de portage dus aux évolutions techniques : ainsi les aciéristes spécialistes d'aciers spéciaux (Imphy, Bedel, Cail, Firminy ...) impliqués dans la production des projectiles perforants de première génération (EBR, AMX-13) ne sont plus concernés ni par la deuxième génération à base de projectiles à charge creuse (AMX-30, AMX-10, EBR et AMX-13 modernisés) ni par la 3ème génération à base de projectiles aiguilles en alliage lourd,
- Confirmation de l'intervention de l'industrie électronique – Thomson, TRT – dans la production de fusées altimétriques modernes.

Enfin, à partir des années 1970, l'organisation générale des fabrications de munitions de toute nature en France est régie par une directive de la DPAI de « politique industrielle de production des munitions » qui désigne le GIAT et Luchaire comme maîtres d'œuvres de production des munitions d'artillerie.

ANNEXE I

Matériels d'artillerie de nouvelle génération en 1939-1940

Domaine de l'artillerie de campagne :

- obusier de 105 C Mle 35 B étudié et réalisé par l'ABS
- obusier de 105 Mle 34 et canon de 105 L 36 (matériels Schneider)
- canon de 155 GPF.T (modernisation du 155 GPF au niveau du train rouleur étudiée et réalisée par l'ATS)⁵⁷

Domaine des canons anti-chars :

- canon de 47 Mle 37, étudié et réalisé par l'APX (Ingénieur militaire Lafargue)⁵⁸

Domaine de l'armement principal des véhicules blindés de combat :

- canon de 37 SA 35 et SA 38, de 47 SA 35 et de 75 SA 35

Domaine de l'armement de fortification :

- canons de 37 SA 35, de 47 SA 34 et SA 35, de 75 mm et 132 mm en casemate et tourelle

Domaine de la DCA :

- canon de 75 CA 32⁵⁹
- canon de 75 CA 33⁶⁰
- canon de 90 CA 39⁶¹
- canon de 75 CA 39⁶²
- canon de 75 CA 40⁶³

⁵⁷ Conception reprise pour le train rouleur de l'obusier de 155 Mle 1950.

⁵⁸ Le canon de 47 Mle 37 tracté de série est monté sur affût biflèche ; une adaptation au tir tous azimuts sur affût triflèche a été étudiée de même que le montage sur véhicule Laffly réalisé en janvier 1940.

⁵⁹ Matériel étudié à l'ABS (ingénieurs militaires Steck et Lhomme) ayant fait l'objet d'un dépôt de brevet sur les freins de tir à recul variable.

⁶⁰ Matériel étudié par Schneider à partir de la masse oscillante du 75 Mle 28 de l'APX.

⁶¹ Étude lancée en 1936 par Schneider et achevée par l'AHE après la nationalisation de 1937.

⁶² Matériel étudié en 1939 par l'ABS pour les besoins de la Défense aérienne du territoire (plates-formes et affûts nouveaux pour canons de 75 Mle 28).

⁶³ Matériel développé par Schneider (usine du Havre) en 1935 à partir d'un projet de l'ABS, remanié et adopté en 1940 sous la dénomination « 75 CA 40 » et lancé en fabrication à l'AHE et à l'ABS.

ANNEXE II

Principaux intervenants dans la production des munitions en 1939-1940

Corps d'obus :

- Ateliers de construction de Lyon (ALN) et de Roanne (ARE)
- Industrie privée

Chargement des obus :

- École centrale de pyrotechnie de Bourges (ECP)
- Atelier de construction de Rennes (ARS)
- Ateliers de chargement de Clermont-Ferrand (ACF) de Moulins (AMS) de Salbris (ASS) et de Saint-Florentin (ASF)
- Industrie privée : Ets Billand...

Douilles :

- Atelier de construction de Rennes (ARS)
- Industrie privée

Composants pyrotechniques

- École centrale de pyrotechnie de Bourges (ECP)
- Atelier de construction de Tarbes (ATS)

Fusées :

- École centrale de pyrotechnie de Bourges (ECP)
- Industrie privée : industrie horlogère...

Pour mémoire :

Les poudres propulsives et les explosifs de chargement sont fabriqués par les établissements de la Direction des poudres.

ANNEXE III

Recherches d'informations entreprises par la DEFA sur des matériels allemands récupérés (État d'avancement au 1^{er} janvier 1946)

Responsable des recherches	Matériels		Urgence ⁶⁴	Nature des travaux engagés
	Sigle	Emploi		
APX	88 PAK 43	anti-char quadriflèche	1	Relevé des tracés des principaux organes : tube, culasse, mise de feu, frein, récupérateur, équilibreur
	88 PAK-FLAK mle 41	anti-char et antiaérien	1	**
	75 PAK 40	anti-char	1	
	75 RFK 43	anti-char sans recul		Bien que le canon sans recul 75 RFK43 ne figure pas au tableau de l'annexe IV (matériels à remettre en état), EMA/ARMET a demandé d'entreprendre l'étude d'une munition à charge creuse pour ce matériel.
ARE	50 PAK	anti-char	1	Relevé des tracés sur l'ensemble des matériels
	75 PAK 40	id	1	Étude demandée de modification de la voie du 75 PAK 40 pour réduction du hors tout à 1,50 m (matériel destiné aux troupes aéroportées ; aptitude au transport par planeur).
	105 LFH 18	obusier de campagne		**
	105 K 18	canon de campagne	4	**
	15 cm K 18	id	1	Révision d'un canon de 150 k 18 pour envoi à l'ETBS (étude de poudres allemandes)
	88 PAK 43/41 ⁶⁵	anti-char biflèche	1	Relevé des dispositions intérieures de bouche à feu, douille et projectiles du 88 PAK 43/41

⁶⁴ Les nombres portés dans cette colonne sont ceux des numéros d'urgence demandés par EMA/ARMET pour la réparation des matériels d'artillerie récupérés (voir annexe IV).

⁶⁵ La bouche à feu de ce matériel équipait également le char Tigre. Un matériel de 88 PAK 43 remis en état se trouve au musée d'artillerie de l'EFAB. Le système d'ouverture automatique de culasse de ce matériel (fonctionnement indépendant des conditions de rentrée en batterie) a été repris, dans ses principes pour le canon de 105 du char AMX-30.

Responsable des recherches	Matériels		Urgence	Nature des travaux engagés
ABS	75 PAK 40	anti-char	1	Relevé des tracés et établissement des notices sur l'ensemble des matériels.
	105 FLAK 39	DCA	3	Remise en état d'un matériel de 105 FLAK 39 pour expérimentation à l'ETBS
	105 LFH 18/40 ⁶⁶	obusier de campagne	1	**
	15 cm Nebel Werfer	lance-roquettes		Bien que le 15 cm Nebelwerfer 41 ne figure pas à l'annexe IV, le relevé des tracés est lié à l'éventualité d'une commande de 200 matériels
	21 cm Mors 18	artillerie lourde		Le 21 cm Mors 18 à double recul reçu de la Fonderie de Ruelle donne lieu à l'établissement d'une notice avant d'être transféré à l'ETBS pour études de poudres allemandes.
ATS	105 FLAK 39	DCA	3	Relevé des cotes de la bouche à feu de 105 FLAK 39 et examen métallurgique de l'acier à canon.
	Matériel de 28 cm	ALVF		Reconnaissance et notice descriptive d'un matériel récupéré à Montélimar
AHE	75 PAK 40	anti-char	1	Même étude que l'ARE sur la réduction de voie du matériel
SAGEM	75 KW K 43	canon du char Panther		Relevé de tracés et caractéristiques.

⁶⁶ Le principe de fonctionnement du bloc de percussion de ce matériel a été repris pour la mise de feu des obusiers de 150 Mle 50.

ANNEXE IV

Liste des matériels d'artillerie récupérés à réparer par ordre d'urgence

Réf. : note n°3401 EMA/ARMET du 5 septembre 1945

Urgence	Utilisation	Désignation
1ère Urgence	Artillerie de campagne : - Allemagne - France	Obusier de 105 LFH 18, Canon de 75 Mle 97
	Artillerie anti-char : - Allemagne - Allemagne - Allemagne	Canon de 88 PAK 43/41 Canon de 88 PAK 43 Canon de 75 PAK 40
	Artillerie de DCA : - Allemagne)	Canon de 88 FLAK tous modèles
2ème Urgence	Artillerie de campagne - Allemagne - France	Obusier de 150 SFH 18 et 18/40 Obusier de 155 C Schneider Mle 17
	Artillerie anti-char - Allemagne - Allemagne - USA	Canon de 75 PAK 40 Canon de 50 PAK 38 Canon de 57 Gun M1 A2
3ème Urgence	Artillerie de campagne - Allemagne - France	Canon de 10 cm K18 et K18/40 Canon de 155 GPF
	Artillerie anti-char - Tchécoslovaquie - France	Canon de 47 PAK Canon de 47 AC Mle 37
	Artillerie de DCA - France - Allemagne - Allemagne	Canon de 75 CA 32 et CA 33 Canon de 105 FLAK 39 Canon de 128 FLAK
4ème Urgence	Artillerie de campagne - France - France - Allemagne	Obusier de 105 C Mle 35 B et 34 S Canon de 105 L Mle 13 Canon de 15 cm K18
	Artillerie anti-char - Allemagne - Allemagne - France - USA	Canon de 45 PAK Canon de 37 PAK 38 Canon de 25 AC Mle 34 et 37 Canon de 37 Gun M4 A1
5ème Urgence	Artillerie de campagne - Allemagne - Allemagne - Tchécoslovaquie	Obusier de 75 LFH 18 et 38 Obusier de 75 LIG 18 et LIG 37 Obusier de 100 LFH Skoda 14.19

.../...

Remarques

1 – La note citée en référence de EMA/ARMET indique que certains des matériels à réparer ne seront utilisés que pour l'instruction.

2 – Cette même note demande qu'en ce qui concerne les possibilités de fabrication des munitions de guerre et d'instruction, la première urgence soit réservée aux munitions pour l'obusier allemand de 105 LFH.

3 – Sur demande de la DEFA, EMA/ARMET a ajouté à cette liste de matériels récupérés à réparer, le matériel d'artillerie de campagne de 21 cm K39 pour essais balistiques par la CEPE (Commission d'études des poudres et explosifs). C'est un affût (à double recul) de ce matériel qui sera utilisé entre 1957 et 1960 pour les essais balistiques de la bouche à feu et des munitions de 175 mm étudiées par l'ABS.

ANNEXE V

Historique de la création du bureau d'études "artillerie" du Service technique

L'évacuation de 1940 a entraîné le repli dans le sud de la France des équipes de bureaux d'études de la DFA de la région parisienne et de l'AHE ; l'AHE ainsi qu'une partie du bureau d'études de l'ACC⁶⁷ sont évacués sur l'ATS tandis que le reste du bureau d'études de l'ACC se trouve dans une usine désaffectée de Carcassonne.

Après l'Armistice, certains éléments restent en zone libre, d'autres reviennent en zone occupée.

A Montauban, l'Ingénieur en chef Lafargue, ancien chef du service d'études de l'AHE et concepteur du canon anti-char de 47 mm Mle 37 à l'APX, reconstitue, sous couvert du Laboratoire central des industries mécaniques, un bureau d'études clandestin cautionné par le ministère de la Guerre du gouvernement de Vichy (général Huntziger).

Ce bureau d'études est formé à partir d'un noyau d'ingénieurs civils et de dessinateurs-projeteurs qualifiés de l'AHE restés à l'ATS après l'Armistice.

En région parisienne, deux unités se constituent :

- l'une autour du commandant Mairet, ancien de l'ACC, regroupe en bureau d'études clandestin⁶⁸ sous le couvert de la Société Niortaise⁶⁹ et avec la caution de l'Ingénieur général Schneyder, des ingénieurs et techniciens de l'ACC et de la Manufacture d'Armes de Levallois (MLS) ;
- l'autre autour de l'Ingénieur en chef Bühler de l'APX, regroupe à Neuilly sous l'appellation « Laboratoire d'essais d'optique » quelques ingénieurs et dessinateurs du bureau d'études de l'APX ainsi que des agents de maîtrise et ouvriers de cet établissement.

A la Libération, l'Ingénieur en chef Lafargue à son retour en région parisienne, réunit à l'APX les éléments de ces trois groupes clandestins⁷⁰ parmi lesquels seront choisis les personnels qui seront affectés à la fin 1944 au Service technique de la DEFA, rue Octave Feuillet à Paris⁷¹ et qui formeront plus tard le noyau de base du bureau d'études artillerie du Service technique lors de l'installation de ce service à la caserne Sully de Saint-Cloud.

⁶⁷ ACC : Atelier de construction de Chatillon, ancien établissement Edgard Brandt nationalisé en 1937 spécialisé dans les fusées d'artillerie et où était affecté l'Ingénieur militaire Carougeau.

⁶⁸ Installé dans un ancien cercle de jeux, rue de Presbourg à Paris.

⁶⁹ La Société niortaise fabrique pour l'occupant dans son usine de Niort des fusées Brandt de moyen calibre.

⁷⁰ Le bureau d'études clandestin de Montauban continuera à avoir une activité dans les derniers mois de 1944 animé de Paris par l'IMC Lafargue (participation, en particulier, aux réflexions sur l'armement du char de transition).

⁷¹ La direction de la DEFA étant installée avenue Henri Martin.

ANNEXE VI

Activités du bureau d'études d'artillerie de l'ABS entre 1940 et 1945

Après l'Armistice de 1940, les personnels du bureau d'études d'artillerie de l'ABS se trouvent d'abord répartis en deux groupes l'un à Bourges (zone occupée), installé hors de l'ABS, chargé d'étudier pour le compte du service des Eaux et Forêts des machines destinées à l'exploitation forestière et agricole, l'autre à Châteauroux (zone libre) orienté sur des études de machines-outils sous l'autorité de l'Ingénieur en chef Rebourseau.

En 1943, après l'occupation totale de la France ces deux groupes sont réunis à Châteauroux et rapidement transférés à l'ARE⁷² où ils sont affectés au groupe d'études de machines-outils dirigé par l'IM Adamowicz. A la Libération ces personnels participeront aux études de mortiers de 120 mm entreprises par l'ARE avant de revenir à Bourges.

⁷² L'Ingénieur en Chef Rebourseau prendra la direction de l'ARE en 1944.

CHAPITRE 3

ÉVOLUTION TECHNIQUE DE L'ARTILLERIE ENTRE 1945 ET 1975⁷³

MATÉRIAUX

Acier à canons et cahiers des charges

Les tubes sont soumis à chaque coup de canon, et dans des temps très courts à des contraintes sévères de nature mécanique et thermique qui nécessitent des spécifications particulières du matériau constitutif de ces éléments pour limiter au maximum les risques d'incidents graves – éclatement, fissurations profondes – avant réforme pour « usure balistique ». Ces spécifications doivent également, pour ce qui concerne le matériau, viser à ce que ce phénomène d'usure soit retardé au maximum.

Cette spécificité dans la définition de l'acier à canons existait dès avant le premier conflit mondial – Cahier des charges de la guerre du 10 mai 1911 – et l'amélioration des spécifications fut un souci constant de la Direction de l'artillerie puis de la DEFA entre 1918 et 1940 :

- nouveau cahier des charges du 11 août 1922,
- projet de nouveau cahier des charges de 1934 mis à l'essai pour les fournitures d'ébauchés entre 1935 et 1940.

Après 1945, la DEFA décide de reprendre les travaux et discussions ayant conduit au projet de Cahier des charges de 1934 en tenant compte des enseignements tirés de l'utilisation des canons au cours de la guerre.

Ce travail est confié à une commission composée de spécialistes de la DEFA présidée par l'Ingénieur général Nicolau. Cette commission a fonctionné de 1947 à 1951 au Laboratoire central de l'Armement et ses travaux ont abouti à la rédaction du « Cahier des charges générales pour la fourniture des aciers à canons » approuvé par le ministre le 13 décembre 1951⁷⁴ qui définit les conditions générales auxquelles doivent satisfaire les ébauchés de canons pour les fournitures destinées à l'armée de Terre⁷⁵.

Ce Cahier des charges dresse la liste des caractéristiques techniques devant faire l'objet d'une attention particulière aux stades successifs de la fabrication des ébauchés. Il s'agit uniquement d'ébauchés élaborés par coulée de lingot, forgeage et traitement thermique⁷⁶ ; l'élaboration par centrifugation utilisée partiellement par les Allemands et les

⁷³ Par l'Ingénieur général de l'armement (CR) Marest avec la participation de l'IG (CR) Deramond et de l'IG (CR) Paget et pour le chapitre « Munitions » par l'IC (ret) Tauzin.

⁷⁴ Document DEFA – ST/DOC – 2001/51 12 13. Ce Cahier des charges générales restera en vigueur jusqu'en 1980 où il sera remplacé par la norme DTAT C 96 40 x 0050.

⁷⁵ Un Cahier des charges analogue, établi par l'Artillerie navale réglemente les conditions de fournitures d'ébauchés pour les canons de la Marine nationale.

⁷⁶ Le forgeage est effectué sur lingots pleins (après « chute » de la tête de lingot) pour tous les canons sauf ceux de très gros calibre qui sont forgés sur mandrin après forage comme ce sera le cas des ébauchés de tubes du canon de 175 mm puissant étudié au début des années 1950. Le traitement thermique – trempe et revenu – est effectué, pour tous les calibres supérieurs ou égaux

Américains pendant la guerre et qui a fait l'objet d'une investigation de la part de la DEFA dans les premières années suivant la Libération n'a pas été retenue, les essais ayant montré que le pourcentage de rebuts était élevé à cause des nombreux défauts métallurgiques.

Le Cahier des charges générales laisse aux aciéristes des degrés de liberté importants – choix de la composition chimique de l'acier, choix des traitements thermiques⁷⁷ – et définit la nature des épreuves de contrôle à effectuer sur ébauchés terminés⁷⁸ sans quantification des limites d'acceptation pour chaque épreuve⁷⁹ cette quantification étant fixée par le Cahier des charges « spéciales » établi pour chaque matériel en suivant le plan du Cahier des charges générales.

Entre 1951 et 1975, deux caractéristiques supplémentaires quantifiées seront introduites dans les Cahiers des charges spéciales :

- au milieu des années 1950, l'introduction de la résilience à -40° C comme spécification imposée alors qu'elle n'était mentionnée qu'à titre « indicatif » au Cahier des charges générales en 1951, en raison d'une connaissance insuffisante de la corrélation entre cette caractéristique et la fragilité à froid des aciers à canons ;
- au milieu des années 1960, l'adjonction d'une mesure restrictive supplémentaire concernant le décompte des inclusions dans les macrographies⁸⁰ pour avoir une plus grande assurance sur la « santé » du matériau.

Le Cahier des charges générales ne fait référence à aucun essai dynamique de fatigue alors que les sollicitations auxquelles sont soumis les tubes, au tir – plusieurs centaines de fois pour les canons de char ou plusieurs milliers de fois pour les canons de campagne – sont assimilables à des chocs de nature mécanique et thermique. Une recherche menée à ce sujet au Laboratoire central de l'Armement avant l'établissement du Cahier des charges générales portant sur des essais de fatigue en flexion rotative n'a pas permis de trouver une corrélation entre les résultats d'essais et le comportement au tir des tubes de canon.

La question restait toutefois d'actualité dans les années 1970 étant donné les perspectives d'accroissement des sollicitations au tir liées à l'évolution de la balistique intérieure des futurs canons de char (projectiles sous calibres flèches à hypervélocité).

à 75 mm, après forage et tournage des ébauchés forgés, pour permettre la pénétration à cœur du traitement.

⁷⁷ A titre de comparaison, les Anglais et les Allemands imposent la composition chimique de l'acier dans leurs spécifications d'ébauchés de tubes de canons.

D'autre part, le choix du traitement thermique est laissé à la liberté des aciéristes à la condition que les micrographies révèlent une structure sorbitique homogène.

⁷⁸ Contrôles effectués à partir de rondelles d'épaisseur déterminée provenant de surlongueurs prévues aux deux extrémités de chaque ébauché : macrographies, micrographies, composition chimique, essais mécaniques sur éprouvettes prélevées à « mi-chair » des rondelles. Le résultat de ces épreuves aboutit soit à l'acceptation « provisoire », soit à un remaniement (reprise de traitement thermique) soit au rebut de l'ébauché. L'acceptation « définitive » n'est prononcée qu'après épreuves effectuées sur tubes terminés d'usinage : contrôle magnétoscopique (ou par ultrasons) de l'ensemble de la pièce, contrôle dimensionnel après tir.

⁷⁹ A l'exception de certaines limites de garantie de la santé du matériau : Proportion maximum de soufre et phosphore dans la composition de l'acier, nombre maximum d'inclusions selon leur dimension (référence à l'album inséré dans le Cahier des charges générales).

⁸⁰ Au nombre maximum d'inclusions par dimension (dénommée « grade » d'inclusion selon l'album-type du Cahier des charges générales) il est ajouté une valeur maximale du total pondéré de l'ensemble de ces inclusions. Cette spécification a été introduite pour la première fois dans le Cahier des charges spéciales de l'ébauché de tube du canon de 105 de l'AMX-30.

Les Cahiers des charges spéciales spécifient quantitativement pour chaque type de matériel la valeur minimale de chacune des caractéristiques mécaniques figurant au Cahier des charges générales et c'est dans ce domaine que l'évolution du matériau constitutif des tubes est la plus sensible, l'objectif étant d'augmenter la résistance – charge de rupture R et limite élastique E – sans diminution sensible de la ductilité – allongement (A % et A striction) et résilience (KUF et KV).

Le tableau ci-dessous rassemble les valeurs de ces caractéristiques pour les ébauchés des tubes de 90 mm du char ARL 44 (1945) de 75 mm du char AMX-13 (1950 et 1967) de 105 mm du char AMX-30 (1963 et 1967) et de 105 mm du véhicule AMX-10 RC (1970).

Tube de canon	Valeurs minimales						Observations
	R	E	A %	As	K UF	Kv - 40°C	
90 mm ARL 44	70	50	12	—	—	—	1945 – Tube non autofretté
75 mm AMX-13	90	70	14	50	5,8	2	1950 – Tube autofretté
	123	113	12	50	5,4	1,8	1967 – Tube non autofretté
105 mm AMX-30	105	90	11	50	5	—	1963 – Tube autofretté prototypes et présérie
	118 R-E>6	108	10	60	5	2	1967 – Tube non autofretté – série
105 mm AMX-10 RC	R<143 R-E>6	115 E<127	10	60	5,4	2	1970 – Tube non autofretté

L'obtention de telles caractéristiques mécaniques en résistance/ductilité restreint le degré de liberté laissé aux aciéristes dans le choix de la composition chimique du matériau, et depuis 1950 jusqu'en 1975 on peut dire que tous les tubes de canons nouveaux sont fabriqués avec des aciers nickel-chrome-molybdène voisins de la nuance normalisée 30 NCD 12⁸¹. L'évolution des caractéristiques de l'acier, à canon à partir des années 1950 telle qu'elle apparaît dans le tableau ci-dessus a été obtenue par des actions au niveau :

- de l'élaboration du métal avant forgeage,
- du traitement thermique.

Le progrès le plus marquant – rapporté à l'époque où il fut acquis – est celui relatif au tube de canon de l'AMX-30. Ce progrès qui était l'objectif de l'Atelier de construction de Bourges, pour préparer l'artillerie de l'avenir, a pu être obtenu grâce à la compétence du laboratoire de métallurgie de l'ETBS⁸² – plus particulièrement de son chef, l'ingénieur civil

⁸¹ Certaines nuances d'acier utilisées en artillerie anti-aérienne à grande cadence de tir pour leur aptitude à un durcissement superficiel de l'âme des tubes (aciers de nitruration) ne permettent pas d'atteindre à cœur du métal les hautes caractéristiques mécaniques des aciers Nickel-Chrome-Molybdène voisins de la nuance normalisée 30 NCD 12 en résistance/ductilité.

⁸² L'ABS et l'ETBS disposaient à cette époque d'un laboratoire commun rattaché administrativement à l'ETBS et installé dans l'emprise de l'ABS.

Bacque-Mouret – et de deux aciéristes, CCNM (Usine de Montluçon) et Aubert et Duval⁸³ qui ont confirmé la possibilité de satisfaire industriellement aux nouvelles caractéristiques souhaitées par l'ABS. Ce n'était pour Aubert et Duval que l'extrapolation à des pièces plus longues et plus massives de ce qu'il réalisait à l'époque pour le programme de l'avion Concorde (pièces maîtresses forgées du train d'atterrissage). Cette garantie de disposer d'au moins deux fournisseurs susceptibles d'assurer l'approvisionnement d'ébauchés de tubes pour des canons plus performants a permis à l'ABS de menacer les autres aciéristes moins soucieux du progrès technique de ne plus avoir de commandes s'ils ne faisaient pas l'effort nécessaire dans leurs installations et leurs méthodes de travail. Cet effort dans le domaine de la qualité leur a permis de participer plus tard à des approvisionnements pour des firmes étrangères⁸⁴.

La politique de la DEFA puis de la DTAT de ne pas sacrifier la ductilité à l'augmentation de résistance des aciers à canon a permis de maintenir à un niveau très bas la probabilité d'éclatement des tubes par fatigue du matériau ; aucun incident de ce genre n'a été constaté en France ; il n'en a pas été de même dans certains pays étrangers⁸⁵ où la réduction de la ductilité avait été acceptée dans des circonstances analogues d'augmentation de la résistance des tubes.

En France, cette évolution a permis pour le canon de l'AMX-30 :

- de supprimer l'autofrettage du tube de 105 mm tout en garantissant le tir de munitions plus puissantes (munition flèche de l'AMX-30 « revalorisé » dit AMX-30 B2) ;
- d'envisager un armement au calibre 120 mm avec tube autofretté⁸⁶ dans l'encombrement du canon de 105 mm, tirant des munitions perforantes cinétiques à projectile sous calibre (AMX-30 dit « modernisé » à conduite de tir stabilisée, solution non retenue pour la deuxième génération de chars AMX-30) ;
- pour l'armement du char futur, caractérisé par un très haut niveau de balistique intérieure (munitions flèches de deuxième génération) de disposer d'un matériau performant permettant de conserver aux tubes des dimensions et masses raisonnables.

Il faut enfin signaler que le Cahier des charges générales sert également de référence pour la fourniture des ébauchés de culasses de tous les canons (artillerie de campagne et artillerie de chars⁸⁷) ainsi que pour les ébauchés des éléments principaux des liens élastiques (cylindres de frein et récupérateur, tiges d'attelage...).

⁸³ CCNM : sigle de Chatillon-Commentry-Neuves-Maisons. A cette époque Aubert et Duval ne participaient pas à l'approvisionnement des ébauchés de tubes de canon et n'intervenait que dans la fourniture des culasses.

⁸⁴ En particulier, pour des fournitures d'ébauchés de tubes de 155 mm pour Bofors (Suède).

⁸⁵ Éclatement de tubes de 175 mm américains au Vietnam ayant conduit les États-Unis, pour des raisons d'urgence, à revenir à des aciers à canon à plus basse limite élastique et à une opération d'autofrettage pour obtenir la puissance balistique autorisant le tir des munitions en service.

⁸⁶ Le maintien des caractéristiques de ductilité a permis de conserver une valeur de R-E suffisante pour envisager un autofrettage efficace. La puissance de l'installation d'autofrettage de l'ABS était en même temps poussée de 6 000 à 10 000 bars au milieu des années 1960.

⁸⁷ La fabrication de manchons de culasse en acier moulé utilisée par les Américains pendant le second conflit mondial n'est pas mise en œuvre en France compte tenu des risques de rupture de fatigue.

Autres matériaux pour matériels et munitions d'artillerie

Matériels d'artillerie

Pour les constituants des matériels d'artillerie hormis les bouches à feu et autres parties reculantes, l'objectif est de rechercher l'allègement maximum compatible avec les contraintes des tirs et de la mobilité. Les nouveaux concepts font davantage appel à la construction mécano-soudée utilisant des aciers soudables à haute limite élastique⁸⁸ pour des pièces complexes – berceaux, affûts, sellettes – qui auraient été réalisées avant 1940 à partir d'ébauchés de forge ou de fonderie nécessitant de nombreuses opérations d'usinage.

La connaissance encore insuffisamment répandue dans les premières années de l'après-guerre des techniques de mécano-soudure appliquées à des ensembles soumis à des contraintes brutales et répétées conduit l'ABS en 1954, pour ses sous-traitances, à imposer un « Cahier des charges pour la fourniture d'ensembles mécano-soudés d'artillerie » qui prescrit en particulier des modes opératoires (ex : cycle de traitement de stabilisation) et des tests de qualification des personnels soudeurs.

La réduction de masse est également recherchée dans l'emploi des alliages légers pour la réalisation de pièces non soumises aux réactions du tir, l'utilisation d'alliages de magnésium suscitant toutefois des réticences⁸⁹ alors que les Allemands les avaient utilisés pendant la guerre⁹⁰.

Munitions d'artillerie

L'évolution, dans la période de 1945-1975, des matériaux constitutifs des munitions – hormis ce qui concerne les poudres propulsives et les explosifs traités au fascicule rédigé par l'ingénieur général Toche⁹¹ – est liée :

- Pour l'essentiel, au besoin d'augmentation de l'efficacité terminale des projectiles ;
- Dans une moindre mesure, à des considérations de balistique intérieure (augmentation de la souplesse balistique⁹² de l'artillerie de campagne, définition d'artilleries basse-pression pour véhicules blindés légers) ainsi qu'à des considérations d'ordre logistique et économique.

Efficacité terminale des projectiles

C'est dans le domaine des projectiles perforants cinétiques que l'évolution des matériaux est la plus importante, à partir du milieu des années 1960. Jusqu'à cette époque, le matériau constituant le « perforateur » a peu varié par rapport à la fin de la guerre : aciers spéciaux à haute résistance pour les boulets perforants coiffés et non coiffés des véhicules blindés de première génération (AMX-13, AMX-50, EBR), carbure de

⁸⁸ Aciers chrome-molybdène des nuances 18 CD 4 S à 25 CD 4 S, en particulier.

⁸⁹ A titre d'exemple, la version en alliage de magnésium du berceau de l'artillerie de l'AMX-30 réalisée et testée avec succès en expérimentation militaire sur trois des sept chars de présérie en comparaison de la version classique mais beaucoup plus lourde en acier moulé n'a pas été retenue.

⁹⁰ En particulier pour les roues des matériels d'artillerie lourde tractée de 17 cm et 21 cm et les affûts des canons Gerlich de 2,8 cm dans la version allégée pour troupes aéroportées.

⁹¹ *Propulsion, détonation, pyrotechnie. Une histoire des poudres entre 1945 et 1975*, par l'ingénieur général Toche. Paris, SNPE, 1995. Hors série en deux volumes des publications du COMHART.

⁹² Élargissement du domaine des portées par augmentation significative de la portée maximum et maintien au plus court de la portée minimum sans altération de la régularité des vitesses initiales.

tungstène (masse spécifique de l'ordre de 13 g/cm^3) pour les noyaux lourds des projectiles sous calibrés dépotables développés pour ces mêmes matériels.

A partir du milieu des années 1960, on s'oriente vers des matériaux plus denses dont les caractéristiques mécaniques permettent la réalisation de perforateurs sous-calibrés à très grand allongement supportant sans déformation les très fortes accélérations de lancement et ne se brisant pas à l'impact sur cibles sous grande incidence. Il s'agit d'alliages à base de tungstène ou, d'alliages à base d'uranium appauvri (masses spécifiques de l'ordre de 16 à 18 g/cm^3) qui permettent des gains importants en distance d'intervention et en effet terminal⁹³.

Dans le domaine des projectiles d'artillerie de campagne, l'augmentation relative de l'efficacité antipersonnel par éclats est essentiellement due à l'évolution des explosifs de chargement. Le matériau utilisé pour la fabrication des corps d'obus forgés a peu varié. On en reste à l'acier au carbone, traité. Les tentatives faites aux États-Unis, pendant la seconde moitié des années 1950, d'utilisation de la fonte malléable perlitique pour augmenter l'efficacité sur le personnel à découvert⁹⁴ ont été abandonnées pour des raisons de sécurité. Aucune exploration en ce sens n'a été faite en France sur les projectiles d'artillerie⁹⁵.

Considérations de balistiques intérieures

Les matériaux constitutifs des ceintures et autres dispositifs d'étanchéité montés sur les projectiles ont, par leurs caractéristiques physiques, une incidence sur la balistique intérieure, en intervenant dans la valeur du « forçement » et dans celle des « résistances passives »⁹⁶.

Le matériau à ceinture habituellement utilisé est le cuivre⁹⁷. La recherche de matériaux de substitution engagée par l'ABS, à partir du milieu des années 1950 avait comme objectif de diminuer le forçement et les résistances passives sans affecter la régularité des vitesses initiales, les applications étant :

- Pour l'artillerie de campagne, la possibilité de diminuer la vitesse initiale V_0 de la charge 1 (sans dispersion excessive de V_0) de manière à permettre des tirs à portée minimale sans recourir à des hausses très élevées en tir vertical ;
- Pour les véhicules blindés légers, l'utilisation d'artilleries « basse-pression » peu encombrantes tirant des projectiles à charge creuse de masse faible à des vitesses initiales comprises entre 700 et 1 000 m/s.

⁹³ Compte tenu des sources d'approvisionnement des matériaux, les solutions avec perforateurs à base d'uranium appauvri s'avèreront supérieures en coût – efficacité à celles à base de tungstène mais l'utilisation de l'uranium appauvri dans la constitution des perforateurs suscitera, en France, pendant plusieurs années, des réserves non fondées (contrôle positif de non rayonnement) alors même que les États-Unis optaient industriellement pour une telle solution.

⁹⁴ Nombre important de petits éclats plus réguliers (forme et masse unitaire) que dans le cas des corps d'obus en acier.

⁹⁵ Quelques fabrications ont été faites en France par Brandt pour des projectiles de mortiers de 81 mm et 120 mm (fonte Permal). Elles n'ont pas été suivies d'adoption pour les besoins nationaux.

⁹⁶ Forçement : pression des gaz nécessaire pour permettre le début du mouvement du projectile dans l'âme. Résistances passives : résultante instantanée des forces de frottement entre le dispositif d'étanchéité (ceintures et joints complémentaires éventuels) et l'âme pendant le déplacement du projectile dans le tube.

⁹⁷ Cuivre à l'état recuit pour des raisons de ductilité. Les Allemands ont également utilisé pendant la guerre le tombac (alliage cuivre-zinc).

En ce qui concerne l'artillerie de campagne, l'ABS définissait à la fin des années 1950 un obus à culot creux de 105 mm doté d'une ceinture en fer fritté dont la définition avait été mise au point par le Laboratoire central de l'Armement⁹⁸. Les tirs effectués à l'ETBS à l'occasion d'une commande pour l'exportation (Belgique) furent très satisfaisants même aux charges faibles, mais aucune extension ne fut envisagée – peut-être à tort – pour les munitions d'artillerie de l'armée de Terre. Une autre voie fut également explorée par l'ABS à la même époque visant à remplacer le cuivre par diverses matières plastiques, les ceintures étant surmoulées sur les corps d'obus. Les essais de balistique intérieure donnèrent des résultats intéressants en régularité de vitesse initiale pour de très faibles pressions de tir mais les tirs aux portées donnèrent lieu à des coups courts hors groupement provenant d'anomalies sur les ceintures après tréfilage dans l'âme du tube.

Pour l'artillerie « basse pression » des véhicules blindés légers tirant des projectiles à charge creuse à stabilisation aérodynamique, la diminution du forçement et des résistances passives a été acquise en substituant à la ceinture de cuivre habituelle, un système d'étanchéité en deux éléments comprenant une ceinture de cuivre de dimensions réduites et un obturateur en matière plastique (nylon) placé en arrière de cette ceinture. C'est une telle disposition qui fut adoptée pour le projectile de 90 mm empenné à charge creuse tiré à faible pression ($P_m = 1\ 100$ bars) dans les canons des véhicules blindés légers (AML, ELC) et des AMX-13 et EBR modernisés.

Plus tard, la ceinture métallique liée rigidement au corps de projectile sera remplacée par un joint-obturateur – caoutchouc ou matière plastique – sur les munitions de char à projectile sous calibre flèche tirés dans des canons à âme lisse, l'étanchéité dans l'âme étant obtenue par serrage entre joint et alésage du tube d'une part, joint et sabot de lancement d'autre part.

Considérations d'ordre logistique et économique

Entre 1945 et 1975, le remplacement du laiton par l'acier pour la réalisation des douilles métalliques est motivé essentiellement par des raisons d'ordre logistique et économique : diminution de masses des douilles⁹⁹ et par voie de conséquence des munitions, non dépendance de l'approvisionnement en cuivre.

Les travaux débuteront en 1953 suivant deux orientations techniques distinctes :

D'une part, dans le cadre des commandes « off shore » de semi-cartouches pour obusier de 105 HM2 en réalisant des douilles dites « en tôle roulée » confectionnées par assemblage d'un culot et d'éléments de tôle mis en forme pour constituer la jupe de la douille, la mise au point et les fabrications étant confiées à la société Jeumont. Des essais effectués en 1954 montreront que ce concept de douille pouvait également être retenu pour la réalisation de munitions encartouchées (application aux cartouches de 75 mm du char AMX-13, de 90 Gun et de 40 L 70 Bofors antiaériens).

D'autre part, en confiant à l'ARS une étude de fabrication¹⁰⁰ par étirage de douilles monobloc en acier. Cette étude aboutira en 1957 à la mise au point de douilles en acier pour munitions :

- d'obusiers de 105 Mle 50

⁹⁸ Granulométrie du fer, nature du liant, proportions, mode opératoire définis par le LCA qui réalisa une première série de ceintures. La définition LCA fut ensuite imposée aux industriels producteurs de corps d'obus.

⁹⁹ Des essais seront également tentés de réalisation par étirage de douilles en alliage léger (munitions de 90 mm à obus empenné à charge creuse tirées à basse pression). Ces tentatives faites à la fin des années 1950 n'auront pas de suite.

¹⁰⁰ Matière première, gamme de fabrication avec traitements thermiques et protection finale par laquage ou zingage électrolytique...

- de canons de 75 et 105 de char AMX-13 (tourelles FL 10 et FL 12)
- de canons antiaériens de 90 et 40 mm.

Au début des années 1970, l'augmentation des pressions de tir dans les canons de chars conduit les fabricants français de douilles de gros calibre (ARS pour la DTAT et société Luchaire) à examiner la réalisation de douilles monobloc en acier à haute résistance (application aux munitions flèches de 105 mm pour AMX-30)¹⁰¹. Mais l'intérêt pour ce type de produit diminuera pour les munitions futures avec la mise au point des douilles combustibles et semi-combustibles¹⁰².

MATÉRIELS

Bouches à feu

Il s'agit des enceintes de lancement des projectiles par des gaz sous pression provenant de la combustion de poudres propulsives. Aucun autre principe de propulsion n'a été utilisé pour les canons d'artillerie de campagne et les canons de véhicules blindés mis en service dans la période 1945-1975. Des investigations ont été faites concernant les propergols liquides dans la voie explorée par les États-Unis un développement exploratoire a été engagé¹⁰³ sans retombée pratique pour des matériels opérationnels. Il en a été de même des canons à gaz légers¹⁰⁴ – hélium – qui en sont restés au stade des équipements de laboratoire pour des recherches de balistique et d'aérodynamique¹⁰⁵.

La bouche à feu se compose du tube, de la culasse (à vis ou à coin) et éventuellement d'un frein de bouche.

Tubes

Tous les tubes de canon – à une exception près – sont monobloc¹⁰⁶, autofrettés ou non, suivant la pression maximale de tir et les caractéristiques mécaniques de l'acier à canon. L'exception est relative au tube de l'obusier de 155 Mle 50 « bibloc fretté » qui est le dernier spécimen d'une technique aujourd'hui abandonnée¹⁰⁷ à la suite des progrès opérés dans les aciers à canon.

¹⁰¹ Luchaire sera homologué en République Fédérale d'Allemagne pour la fourniture de douilles de 105 mm en acier destinée aux munitions modernes de char *Leopard I*.

¹⁰² La première utilisation opérationnelle de douilles semi-combustibles a été faite par les États-Unis à l'occasion de la mise en service du missile anti char Shillelag lancé par effet-canon.

¹⁰³ Développement exploratoire confié à la Société européenne de propulsion (SEP) d'un canon de moyen calibre automatique pour montage sur aéronefs.

¹⁰⁴ Vitesse des gaz plus élevée qu'avec les gaz de poudres à base de carbone, d'azote et d'oxygène.

¹⁰⁵ Il en sera de même au milieu des années 1980 du lancement à grande vitesse de projectiles par un champ électromagnétique. Un équipement de cette nature est installé à l'Institut de recherches franco-allemand de Saint Louis.

¹⁰⁶ Les Allemands ont réalisé pendant la Deuxième Guerre mondiale des canons puissants dont les tubes étaient en plusieurs éléments mis bout à bout et réunis sous forte compression longitudinale pour éviter les fuites de gaz au tir. Un exemplaire, démonté, d'un tel tube en trois éléments est conservé au musée d'artillerie de l'EFAB.

¹⁰⁷ La technique du frettage a encore été utilisée entre 1955 et 1960 pour la réalisation de l'étage haute pression du canon à gaz légers du Laboratoire de recherches de Saint-Louis (tube « tribloc » fretté).

L'accent est mis ci-après sur deux problèmes qui ont donné lieu à des développements importants pendant la période considérée : la correction de l'arcure et la limitation de l'usure, de manière secondaire les questions d'usinage du fût (alésage et rayage).

- L'arcure

Les tubes des canons puissants des véhicules de combat étudiés en France après 1945 ont, comme ceux des chars allemands de la fin de la guerre, des longueurs de 50 à 70 calibres dont une partie importante, hors du masque, est soumise aux perturbations ambiantes. L'acier n'ayant pas une très bonne conductibilité thermique, cette partie du tube prend de l'arcure sous l'effet de phénomènes atmosphériques orientés (pluie, neige, soleil...) qui déplacent la position de la volée par rapport au réglage habituel de simpleautage¹⁰⁸ en atmosphère calme, ce qui entraîne une augmentation de l'erreur de justesse et une chute de la probabilité d'atteinte à grande distance¹⁰⁹. Les Anglais ont été les premiers à entreprendre une action pour limiter ce défaut et mesurer le déplacement de la volée des tubes. Cette action a été mise en œuvre sur le canon de 120 mm du char Chieftain au début des années 1960 en :

- entourant la volée du tube d'une housse jouant le rôle de la barrière thermique (limitation du défaut) ;
- installant un dispositif permettant à tout instant la correction du simpleautage (mesure du défaut)¹¹⁰.

Du côté français l'action a été entreprise, en premier lieu, sur le canon de 105 du char AMX-30 en agissant uniquement sur la limitation du déplacement de la bouche du tube par un moyen différent de celui des Anglais.

La housse anglaise qui est un obstacle isolant vis-à-vis des phénomènes thermiques extérieurs l'est également vis-à-vis des phénomènes thermiques internes tels que l'échauffement du tube au cours des tirs.

La solution française a pour objectif d'agir essentiellement vis-à-vis des phénomènes thermiques extérieurs sans gêner notablement l'évacuation de la chaleur provenant des tirs. Conçue par l'ABS, elle consiste à mettre autour du tube un « manchon anti-arcure » métallique très léger et très bon conducteur de la chaleur (magnésium) et à laisser entre tube de canon et manchon un « matelas d'air ». Les mesures effectuées sur la position de la volée d'un tube muni ou non de ce dispositif soumis à des phénomènes thermiques extérieurs dissymétriques (échauffement ou refroidissement) et à des tirs à cadence soutenue ont montré la validité du procédé :

- Augmentation très limitée de l'échauffement par les tirs ;
- Diminution dans le rapport de 20 à 1 du déplacement de la volée du tube sous l'effet des phénomènes thermiques extérieurs orientés¹¹¹.

¹⁰⁸ Le simpleautage intègre l'arcure naturelle due à la pesanteur.

¹⁰⁹ Il a été prouvé par des mesures effectuées au tir que l'erreur de justesse était corrélée avec la position de la bouche du canon. La prise en compte de ce phénomène vers le milieu des années 1960 a entraîné une modification des méthodes de pointage utilisées au cours des essais techniques pour déterminer les caractéristiques intrinsèques de dispersion du couple canon-munition ; les lunettes de visée sur cible qui étaient jusqu'à cette époque centrées dans la chambre des tubes ont été remplacées par des lunettes de bouche. La DTAT a proposé que de telles lunettes soient utilisées en unités pour la vérification du réglage des optiques de visée, en remplacement du réglage par simpleaux.

¹¹⁰ Renvoi par un miroir plan situé à la bouche du tube de l'image d'une source lumineuse placée sur le masque de la tourelle.

¹¹¹ Essais effectués à l'ETBS le 19 juin 1964 avec deux canons de 105 de char AMX-30 (un tube nu, un tube avec manchon anti-arcure) :

Cette solution adoptée pour les canons de 105 des chars AMX-30 a été par la suite appliquée aux canons de 90 des chars AMX-13 revalorisés et aux canons de 105 des véhicules blindés AMX-10 RC.

Pour optimiser la recherche de réduction de l'erreur de justesse afin d'augmenter la probabilité d'atteinte à grande distance, il importe de pouvoir connaître à tout moment la position dans l'espace de la bouche du canon, cette donnée étant entrée avec d'autres paramètres dans le calculateur qui définira les éléments de pointage avant tir (voir page 65). Cette mesure sera introduite pour la première fois dans l'armement de 105 mm de l'AMX-10 RC à conduite de tir COTAC, le manchon anti-arcure étant toutefois maintenu car il permet de limiter l'erreur de justesse et de conserver une bonne probabilité d'atteinte en cas de défaillance de la conduite de tir.

- L'usure

La vie balistique des tubes estimée en nombre de coups tirés¹¹² sans dégradation notable de la vitesse initiale doit être suffisante pour ne pas entraîner des échanges de tubes trop fréquents. L'objectif souhaitable, dans les années 1950 était de l'ordre de 300 à 500 coups à obus perforant pour les véhicules de combat et de 5 000 coups en charge maximum pour l'artillerie de campagne¹¹³.

Le besoin opérationnel *de réduction de l'usure* des tubes concerne essentiellement les canons des véhicules blindés et plus particulièrement ceux tirant des projectiles à énergie cinétique.

Pendant longtemps la protection superficielle de l'âme des tubes par chromage ou nitruration a été la seule méthode employée pour augmenter la vie balistique ; elle était principalement appliquée aux canons de moyen calibre et aux canons de DCA tirant à grande cadence (nitruration des tubes de 40 mm Bofors suédois, chromage des tubes de 90 Gun américains). Dans la période 1945-1975 aucun canon français nouveau n'a reçu de traitement de protection de l'âme du tube contre l'usure. Une action a toutefois été entreprise en 1962-1964 consistant en l'adjonction d'appoints « anti-érosifs »¹¹⁴ de trioxyde de tungstène ou de bioxyde de titane enrobés dans de la paraffine et déposés sur

-
- Échauffement au tir : tube nu 10 coups en 3 minutes = + 60°C ; tube protégé 14 coups en 3 minutes = + 70°C
 - Déplacement de l'axe de l'âme du tube à la volée sous refroidissement latéral : tube nu = 13 millièmes ; tube protégé = 0,6 millième.

¹¹² Nombre de coups « pondérés » :

- selon la charge utilisée pour les canons d'artillerie de campagne à charges divisibles ;
- selon la nature de la cartouche (obus perforant, explosif, fumigène) pour les canons de véhicules de combat. Dans ce cas, les tirs à obus perforant sont prépondérants. A titre d'exemple, pour le canon de 75 du char AMX-13, 1 coup à obus perforant équivaut, en usure, à 30 coups à obus explosif.

¹¹³ A titre d'exemple, la vie balistique moyenne des tubes de 75 pour char AMX-13 est de l'ordre de 150 à 200 coups à obus perforant. D'autre part, la vie balistique des tubes de canons de véhicules blindés est plus courte que celle des tubes d'artillerie de campagne pour plusieurs raisons :

- une raison majeure, d'ordre général, liée aux conditions plus contraignantes de la balistique intérieure (quantité de chaleur dégagée, usance des poudres utilisées) nécessaire pour satisfaire aux exigences d'emploi en « allonge » et effet terminal ;
- une raison moins importante d'ordre général, liée à l'utilisation de munitions encartouchées entraînant un manque d'étanchéité (obus non à poste) entre tube et projectile au moment de la mise à feu de la charge propulsive ;
- des raisons spécifiques : par exemple le matériau à ceintures de certains projectiles (fer doux en particulier).

¹¹⁴ Les Suédois ont été les premiers à introduire ce genre de produits dénommés « *laminar coolants* » c'est-à-dire refroidisseurs superficiels.

la paroi interne du collet des douilles des cartouches à projectile perforant de véhicules blindés, ces produits protégeant l'âme du tube au départ du coup. Ainsi, les essais entrepris en 1964 sur le canon de 75 du char AMX-13 et sur le canon de 105 prévu pour l'AMX-30 ont montré que l'utilisation d'appoint anti-érosif à base de trioxyde de tungstène permettait de multiplier par un facteur de l'ordre de dix la vie balistique de ces tubes.

On peut estimer toutefois que les orientations prises à partir de la fin des années 1960 dans le domaine des munitions sous calibrées flèches à hypervélocité conduisent à des conditions de balistique intérieure telles que des mesures de protection interne des tubes seront probablement nécessaires pour éviter une dégradation trop rapide de la balistique extérieure c'est-à-dire une perte d'efficacité par diminution trop importante de la probabilité d'atteinte au premier coup tiré.

Un échange de tube pour cause d'usure balistique est une opération coûteuse (prix, indisponibilité du matériel) alors que le défaut ne concerne que l'âme du canon. C'est pourquoi à la fin des années 1940 et au début des années 1950 l'Ingénieur général Carougeau, chef du bureau artillerie du Service technique avait demandé à l'ATS d'entreprendre une étude de chemisage portant sur les deux parties du tube où se matérialise l'usure, côté chambre et côté volée, en reprenant certains concepts allemands de la fin de la guerre. Si cette étude qui avait pour objectif de rechercher une solution économique de remise en état en cas d'usure n'a pas eu de suite elle a été le point de départ d'une autre étude menée par l'ABS vers 1955 sur les « chemises amovibles de chambre ». Cette réflexion était motivée par la précarité d'utilisation¹¹⁵ dans l'obusier de 105 Mle 50 (tracté et automoteur) des semi-cartouches américaines de 105 HM2 dont l'armée de Terre possédait un stock important. La conception de la bouche à feu à chambre amovible (deux chemises de chambre en acier à haute limite élastique, l'une pour munition française, l'autre pour munition américaine) est décrite à propos de l'histoire de l'obusier de 105 Mle 50. L'expérimentation du prototype avec tirs en surpression a démontré l'absence de frettage des chemises amovibles et la possibilité de leur échange en troisième échelon pour tenir compte du type de munitions dans les dotations. Cette évolution technique n'a pas suscité d'intérêt opérationnel à l'époque étant donné l'avancement du programme (nécessité de retour en cinquième échelon des bouches à feu en service) mais cette étude avait montré une possibilité d'extension (sous certaines conditions) de l'interopérabilité des munitions.

- Alésage et rayage.

L'âme du tube est l'enceinte de propulsion du projectile auquel elle sert de guide (alésage) pendant la mise en vitesse et auquel elle communique, par son rayage la vitesse de rotation adéquate s'il s'agit de projectiles à stabilisation gyroscopique.

En ce qui concerne la propulsion, toutes les artilleries mises en service entre 1945 et 1975 disposent d'une chambre à poudre unique à l'arrière du tube. Les idées allemandes de la fin de la guerre (1943-1944) de tubes de canon à « chambres latérales »¹¹⁶ pour augmenter les vitesses initiales sans augmentation excessive de la pression maximale

¹¹⁵ La chambre de l'obusier de 105 Mle 50 étant plus longue que celle du 105 HM2 (avec des diamètres arrière très voisins) le tir des semi-cartouches de 105 HM2 dans le 105 Mle 50 est possible à la condition (impérative) de charger en deux temps (obus mis à poste au refouloir et douille chargée séparément). Les vitesses initiales et les portées sont inférieures à celles du 105 HM2 et l'emploi des charges les plus faibles est déconseillé (dispersions des V_0 liée à l'abaissement des PM).

¹¹⁶ Canons allemands à grande portée installés sur la côte du Pas-de-Calais pour tirer sur la Grande-Bretagne.

des gaz ni des longueurs de tubes n'ont pas été reprises compte-tenu des difficultés techniques à surmonter pour obtenir une bonne régularité des vitesses initiales¹¹⁷ :

En ce qui concerne le guidage, il est connu – depuis Gribeauval – que le jeu entre alésage du tube et portées de guidage de l'obus, appelé « vent diamétral » a une incidence sur la dispersion. C'est pourquoi on s'est efforcé de réduire les tolérances d'usinage tant sur l'alésage des tubes que sur les portées de guidage des projectiles. Pour l'alésage des tubes, la tolérance diamétrale qui était encore de 0,2 mm sur le tube de 90 SA 45 du char de transition ARL 44 a été réduite par la suite à 0,05 mm sur tous les tubes quel que soit leur calibre, le respect de cette tolérance étant obtenu par rodage de l'alésage¹¹⁸.

En ce qui concerne le rayage, la section interne du tube agit comme une filière vis-à-vis des ceintures d'obus et son dimensionnement a une incidence sur la pression de forçement et sur les résistances passives qui s'opposent au mouvement du projectile dans l'âme. C'est pourquoi pour tous les tubes d'artillerie depuis la première génération de matériels du début des années 1950 les diamètres à fond de rayures ont été affectés d'une tolérance de 0,1 mm (réalisable par enlèvement de copeau par tête de rayage à outils multiples expansibles ou par broche). Cette tolérance associée à celle de l'alésage permet de réduire l'influence du paramètre « forçement et résistances passives » dans les causes de dispersion des vitesses initiales.

D'autre part, le rayage est destiné à donner aux projectiles à stabilisation gyroscopique une vitesse de rotation à la sortie du tube qui assure la stabilité et l'amortissement du mouvement de nutation¹¹⁹ et à ce titre c'est l'angle d'inclinaison des rayures à la bouche qui est déterminant. Mais si la rayure est à inclinaison constante (c'est-à-dire à pas constant) les contraintes sur les adents de ceinture dans l'entraînement en rotation du projectile sont maximales dans la zone du maximum de pression des gaz. C'est la raison pour laquelle, pour les canons d'artillerie de campagne dont la vie balistique des tubes doit être de l'ordre de plusieurs milliers de coups la DEFA puis la DTAT ont adopté depuis la première génération d'obusiers (105 Mle 50 et 155 Mle 50) le rayage dit à « pas progressif » de manière à diminuer l'encuvrage dans la zone du maximum de pression et à permettre une réduction de hauteur des ceintures des projectiles. Pour l'artillerie des véhicules de combat dont la vie balistique des tubes est de l'ordre de quelques centaines de coups et pour lesquels l'encuvrage est un phénomène secondaire le rayage, depuis 1945, pour tous les types de canons est « à pas constant », la valeur de ce pas étant un compromis entre les nécessités de stabilisation en vol et la réduction des effets des réactions gyroscopiques dans l'âme sur la dispersion des projectiles. Cette optimisation est faite pour la munition principale, c'est-à-dire la cartouche à projectile perforant. Or, le savoir-faire insuffisant en France dans les premières années de l'après-guerre dans le domaine des projectiles perforants les plus modernes de l'époque – sous calibrés à noyau lourd – a conduit, pour des raisons de crédibilité des calendriers de développement des

¹¹⁷ La principale difficulté, d'ordre chronométrique, concerne l'instant d'allumage des charges propulsives additionnelles situées dans les chambres latérales.

¹¹⁸ Alors que la tolérance sur les diamètres des alésages est d'une manière générale fixée à 0,05 mm, celle des diamètres sur portées de guidage des obus est croissante avec le calibre. Il en résulte un vent diamétral compris entre :

- 0,15 et 0,30 mm pour le calibre 105
- 0,25 et 0,45 mm pour le calibre 155.

¹¹⁹ A ne pas confondre avec le rayage des tubes tirant des projectiles à charge creuse à stabilisation aérodynamique – par empennages – pour lesquels la rotation à faible vitesse angulaire (moins de 30 tours/seconde) a pour but de réduire l'influence sur la dispersion des défauts résiduels de symétrie axiale des projectiles sans affecter sensiblement la perforation.

premiers programmes de chars (AMX-13, AMX-50) à optimiser le rayage des tubes pour l'emploi de boulets perforants plein calibre. Ce choix de l'angle d'inclinaison des rayures limitera les performances des projectiles sous calibrés perforants dépotables (APDS : *Armor piercing discarding sabot*) dont l'étude faisait partie des programmes AMX-13 Tonnes et AMX-50.

Culasses

Jusqu'en 1965 il n'y a pas de changement fondamental par rapport à la situation d'avant-guerre dans la conception des culasses, à savoir :

- Culasses à coin pour toutes les bouches à feu de véhicules blindés et d'artillerie de campagne de 105 mm tirant soit des cartouches en charge unique soit des semi-cartouches à charges divisibles, l'étanchéité au tir étant assurée par la douille soutenue à l'arrière par le coin.
- Culasses à vis pour les artilleries de campagne de gros calibre tirant des munitions en éléments séparés (obus, charges en gargousses, étoupilles de mise de feu) l'étanchéité étant assurée par la culasse – obturateur monté à l'avant de la vis de culasse, comprimé au tir par un dispositif auto-serreur dit « à tête mobile »¹²⁰

Dans l'armée allemande toutes les bouches à feu étaient dotées de culasses à coin ; pour les artilleries de campagne de gros calibre (15 cm et au-delà les douilles étaient remplacées par des culots obturateurs courts moins lourds et moins encombrants. La culasse à coin classique a en effet un avantage opérationnel sur la culasse à vis en cadence de tir : séquence de tir supprimant l'étoupille et possibilité d'ouverture automatique de la culasse à la rentrée en batterie. Elle peut être dotée aisément d'une mise de feu électrique (amorces électriques sur les douilles), disposition que les Allemands avaient largement utilisé pour leurs armements de chars et leurs canons anti-chars et qui ne sera pas reprise en France avant le char AMX-30¹²¹.

Une culasse à coin avait été envisagée pour l'obusier de 155 Mle 50 au début de l'étude. Bien qu'aucun document n'ait été retrouvé à propos de l'abandon de cette solution on peut estimer que l'impossibilité de tirer les munitions américaines existantes (à gargousses) du 155 HM1 américain en est la raison. L'ATS étudia à la demande l'IC Rivals, une culasse à coin originale « à volet obturateur » permettant de tirer des gargousses et susceptible de recevoir ultérieurement un dispositif d'ouverture automatique de culasse. Cette variante réalisée en prototype fut abandonnée après quelques essais sans avoir révélé de défaut grave, mais pour éviter tout risque de délai de mise au point qui aurait pu remettre en cause le calendrier du programme de l'obusier de 155 Mle 50, on adopta la culasse à vis classique d'avant-guerre¹²². Le choix de la culasse à vis s'avérera être un handicap pour l'adaptation de la masse oscillante de l'artillerie tractée de 155 Mle 50 sur automoteur avec service de pièce en puits de tourelle¹²³. Pour le matériel tracté de 175 mm étudié en 1954-1960 on reviendra à la solution allemande des matériels de 17 cm et 21 cm c'est-à-dire « culasse à coin et culots obturateurs ».

¹²⁰ Ce dispositif, dans son principe, est, par ailleurs, largement utilisé dans le montage des joints d'étanchéité des liens élastiques d'artillerie.

¹²¹ Sur tous les canons précédents de véhicules blindés, la mise de feu se fait par percussion d'amorce, la commande étant électromécanique (électro-aimant).

¹²² Les obusiers de 155 Mle 50 prototypes et de présérie seront équipés de culasses de 155 GPF la mise de feu par étoupille étant toutefois différente (appareil Forgeat).

¹²³ Automoteur de 155 en tourelle sur châssis Batignolles des années 1953-1958.

Pour toutes les artilleries installées sur véhicules « en espace clos » se posent 2 problèmes :

- l'évacuation des gaz contenus dans le tube au moment de l'ouverture de culasse ;
- l'évacuation des douilles remplies de gaz au moment de l'éjection pour les bouches à feu tirant des cartouches ou des semi-cartouches.

Le premier problème a amené les Américains à monter autour de la volée des tubes de canon des manchons creux étanches appelés *bore evacuator* ou *fume extractor* reliés à l'âme du canon par des orifices percés dans la paroi du tube, débouchant dans les fonds de rayures et dirigés vers l'avant. Ces manchons se remplissent de gaz juste après le passage du projectile au niveau des orifices de communication avec « l'évacuateur de fumée ». Dès que le projectile a quitté le tube, la chute de pression dans l'âme entraîne le vidage de l'évacuateur de fumée avec création d'un courant vers la bouche compte tenu de la direction des orifices de communication. Ce dispositif installé à des endroits variables autour de la volée des tubes – sans justification technique évidente de cette variation – a été adopté par d'autres pays (Royaume-Uni, République fédérale d'Allemagne, en particulier) mais les essais effectués en France avec ce genre de dispositif ont montré que si un tel procédé permettait d'accélérer le vidage de la partie avant de l'âme, il ne permettait pas d'aspirer toute la colonne de gaz jusqu'à la culasse avant ouverture de celle-ci.

C'est pourquoi on a préféré en France choisir la solution qui consiste à refouler les gaz à travers le tube par l'arrière en soufflant de l'air sous pression dès l'ouverture de la culasse.

Cette solution a été installée pour la première fois dans l'automoteur de 155 en tourelle sur châssis Batignolles (étude des années 1953/1958) puis retenue pour les artilleries ultérieures montées en espace clos sur véhicules¹²⁴.

Le second problème – évacuation des douilles après éjection – est satisfait automatiquement dans la conception des tourelles oscillantes des véhicules blindés de première génération (1950) : EBR, AMX-13, AMX-50. Dans tous les autres cas le problème est mal résolu, le sac à douilles fixé au garde-corps de la masse oscillante étant rapidement rempli par quatre ou cinq douilles, les procédés prévus pour évacuer à l'extérieur des gaz contenus dans ces douilles étant peu efficaces¹²⁵.

Le problème est encore plus aigu pour l'artillerie de campagne automotrice tirant des semi-cartouches (105 mm) lors des tirs prolongés casemate ou tourelle fermée¹²⁶. Ainsi, hormis le cas des montages d'artilleries en tourelles oscillantes, la douille métallique représente un résidu gênant pour les tirs en espace clos (encombrement, pollution). La solution de ce problème paraît être la réduction au strict minimum du culot de la douille permettant l'étanchéité au tir ou, de manière plus radicale, la suppression totale de la douille, l'étanchéité devant être alors assurée par un système de culasse simple à ouverture automatique.

La première voie (réduction au strict minimum du culot métallique de douille) a été d'abord utilisée par les Américains dans la conception du missile Shillelag de 142 mm tiré par le canon du char Sheridan (décennie 1960), principe repris par les Allemands pour la

¹²⁴ Véhicules de combat à tourelle-canon ; automoteurs avec artillerie en casemate et en tourelle. Les artilleries montées « à ciel ouvert » sur véhicules ne sont pas concernées.

¹²⁵ Restrictions d'emploi en ambiance NBC.

¹²⁶ L'obusier automoteur de 105 en casemate sur châssis AMX-13 (105-50-AU) est doté d'une trappe au plancher destinée à l'évacuation des douilles à l'occasion de tirs casemate fermée. En fait, les douilles s'amoncèlent rapidement sous la trappe et l'évacuation n'est plus possible, bien avant que la capacité d'emport en munitions de l'automoteur ait été tirée.

munition de 120 du char Leopard II (décennie 1970) la liaison entre le culot métallique et le projectile étant assurée par une virole rigide combustible.

La seconde voie a d'abord été empruntée par les Anglais qui réalisent pour le canon de 120 mm du char Chieftain (1960) une culasse à coin obturatrice, la munition étant chargée dans le canon en deux éléments séparés (projectile sous calibre APDS mis à poste automatiquement par refouloir et gargousse chargée à la main).

En France, les travaux effectués par le SNPE au début des années 1960 permettent alors d'envisager, à court terme la faisabilité de douilles entièrement combustibles. L'ABS prend alors l'initiative de concevoir et de mettre au point une culasse à coin « obturatrice » pour artillerie de 105 mm de char AMX-30, dans le but d'utiliser pour les véhicules blindés futurs des cartouches ne laissant aucun résidu de tir¹²⁷, l'expérimentation ayant trois objectifs :

- la fiabilité du dispositif d'étanchéité ;
- l'absence de résidu de combustion¹²⁸ ;
- les conséquences de l'emploi de la douille combustible à la place de la douille métallique, sur la balistique intérieure du matériel.

Cette étude exploratoire sera le point de départ du concept de culasse de la bouche à feu de 155 mm de l'automoteur de 155 AU F1. En ce qui concerne le char futur français, la condition d'interopérabilité des munitions avec le char allemand Leopard II existant conduira au maintien de la culasse à coin classique pour utilisation de cartouches à culot métallique et virole rigide combustible de liaison avec le projectile mais le but recherché, à savoir la possibilité de tirer, en espace clos, dans un véhicule blindé, une cartouche¹²⁹ ne donnant pas de résidu de tir, sans modification des conditions d'emploi du canon, aura été atteint.

Freins de bouche

Le frein de bouche est le dispositif le plus connu¹³⁰ permettant d'atteindre au meilleur compromis entre la puissance balistique des armes (en énergie cinétique à la bouche) d'une part, les « caractéristiques inertielles »¹³¹ des matériels d'autre part. Le frein de bouche agit en rejetant vers l'arrière une partie des gaz de la poudre, le rendement

¹²⁷ Le dispositif d'amorçage de la charge propulsive étant entièrement combustible comme la douille.

¹²⁸ C'est avec cette bouche çà feu de 105 mm d'AMX qu'eurent lieu, en 1964, les premiers tirs de douilles combustibles de la SNPE.

¹²⁹ Munition complète en un seul élément à distinguer des munitions en deux éléments distincts – projectile et charge propulsive en gargousse – sans résidu de tir, telles que celles du char anglais Chieftain dont le chargement dans l'arme est moins aisé.

¹³⁰ Voir en annexe I : rappels historiques et considérations techniques.

¹³¹ Sous le vocable « caractéristiques inertielles » il faut comprendre soit la masse (référence statique) soit les moments d'inertie (référence dynamique).

Si l'on se limite à la masse comme terme de comparaison avec la puissance balistique, le bénéfice tiré de l'utilisation d'un frein de bouche peut être aisément défini pour les matériels tractés où l'affût n'a qu'une fonction de support de la bouche à feu au tir et à la route, les contraintes du tir étant prépondérantes. Il en est différemment des montages sur véhicules où l'ensemble châssis-tourelle, qui se substitue à l'affût tracté, a, en plus des fonctions précitées, celles d'autonomie de mobilité, de protection, d'emport de l'équipage et de la dotation de munitions. Dans ce contexte, comme on le verra plus loin, l'utilisation du frein de bouche est surtout intéressante pour les véhicules blindés légers de combat et les automoteurs d'artillerie.

énergétique¹³² étant lié à la masse et à la vitesse des gaz ainsi déviés et à la direction de cette déviation (angle de rejet à l'extrémité de la surface de déviation des gaz). Tous les canons français de la première génération d'après-guerre (1945-1955), qu'il s'agisse de canons de véhicules de combat ou d'artillerie de campagne seront équipés de freins de bouche qui rappellent dans leur conception les modèles précédents :

- frein de bouche « à tiroir » du canon de 90 SA 45 Schneider du char de transition reprenant le concept du frein de bouche du canon de campagne de 105 L 36.
- frein de bouche « à ouies » de l'obusier de 155 Mle 50 reprenant le concept du frein de bouche de l'obusier allemand de 15 cm SFH 18/40.
- freins de bouche à un ou 2 étages d'aubes des canons de chars de 75 SA/49 (EBR/FL11) de 75/SA 50 (AMX-13/FL10) de 105 (AMX-13/FL12) de 100 et 120 mm (AMX-50) et de l'obusier de 105 Mle 50 reprenant les concepts des freins de bouche allemands des canons de char et anti-chars et des obusiers de campagne de 105 LFH 18/40.

Des propositions de freins de bouche à haut rendement énergétique ont été faites entre 1945 et 1960 par plusieurs « inventeurs » dans le but de pouvoir adapter des balistiques de plus en plus puissantes aux canons des véhicules de combat et à l'artillerie de campagne sans augmentation excessive des masses des matériels, c'est-à-dire en sauvegardant leur mobilité.

Les essais effectués ont montré que l'on pouvait atteindre des rendements très supérieurs à 50 % mais le rejet plus important des gaz vers l'arrière (fronts d'ondes de pression) devient difficilement supportable par le personnel à terre et provoque des détériorations sur les superstructures des véhicules et les optiques de visée. C'est pourquoi le rendement énergétique maximum des freins de bouche montés sur les artilleries mises en service entre 1945 et 1975 reste, en général, inférieur à 50 %¹³³. Dans la même période un progrès a été opéré, vers la fin des années 1950, concernant l'allègement des freins de bouche (sans réduction du rendement), par changement des techniques de fabrication. Les freins de bouche des artilleries de première génération – artilleries de l'EBR, de l'AMX-13 tonnes, de l'AMX-50 tonnes, des obusiers de 105 Mle 50 et 155 Mle 50 – sont réalisés par forgeage ou fonderie d'acier à haute résistance. Ce sont des éléments lourds montés à la volée des tubes¹³⁴. C'est pourquoi, à l'occasion du développement des artilleries de 90 mm pour véhicules légers (ELC, AML) l'ABS entreprend, à la fin des années 1950, l'étude de freins de bouche à aubes (un étage ou deux étages) réalisés par mécano soudure en acier chrome-molybdène (20 CD 4 S) traité, le problème principal étant la résistance au tir de l'assemblage (absence de fissures de fatigue). Ce mode de fabrication s'est révélé fiable et a été appliqué par la suite à la plupart des artilleries de véhicules blindés dotées d'un frein de bouche¹³⁵. A titre de

¹³² Voir en annexe I, la définition du rendement énergétique.

¹³³ Le rendement dépend de la quantité de gaz rejetée vers l'arrière, pendant le passage du projectile dans le frein de bouche, le projectile jouant un rôle de bouchon. Cet « effet bouchon » ne doit pas cependant provoquer de perturbation balistique dans le largage du projectile. Il est apparu, par des essais au tir, qu'un jeu diamétral de l'ordre de 10 % du calibre entre diamètre du projectile (sur ceintures) et alésage du frein de bouche permettait de satisfaire aux deux conditions de recherche du meilleur rendement du frein de bouche d'une part et d'absence de perturbations sur le projectile d'autre part.

¹³⁴ 37 kg pour le frein de bouche à deux étages d'aubes monté sur la bouche à feu de l'obusier de 105 Mle 50 et sur le canon de 105 mm de la tourelle FL12 de l'AMX-13.

¹³⁵ Canons de 90 mm d'EBR et d'AMX-13 modernisés ; canon de 105 mm d'AMX-10 RC ; canon de 105 mm de char Sherman modernisé (exportation)...

comparaison, pour ce qui concerne le ratio « rendement-masse », le remplacement de la fonderie par la mécano soudure sur un frein de bouche d'une artillerie de 105 mm a permis de passer de 45 % - 37 kg à 51 % - 29 kg, soit un gain relatif, pour ce ratio supérieur à 40 %.

Pour les chars de combat d'un tonnage supérieur à 35/40 tonnes, le montage d'un frein de bouche sur le tube n'apparaît pas déterminant au sens du comportement général au tir de la masse suspendue du véhicule¹³⁶. Ainsi le canon de 105 mm de l'AMX-30 ne sera pas doté de frein de bouche, la suppression de cet organe rendant plus aisée l'observation du traceur du projectile tiré¹³⁷. Il en est de même sur les canons de chars étrangers de la même génération – canon de 105 anglais du char anglais Vickers, du char allemand Léopard I, du char américain M 60, canon de 120 mm du char anglais Chieftain.

Mais le frein de bouche reste indispensable pour les artilleries de véhicules de combat légers¹³⁸ et pour la plupart des matériels d'artillerie de campagne sur affûts et sur châssis automoteurs¹³⁹.

Liens élastiques

Conçu à partir d'une idée allemande (brevet Haussner) et mis en service pour la première fois sur le canon de 75 mm Mle 1897, le lien élastique interposé entre affût fixe et bouche à feu permet de :

- maîtriser le recul du matériel (guidage, limitation du déplacement) induit par l'impulsion de lancement du projectile,
- ramener, après achèvement du recul, le matériel dans sa configuration d'origine avant tir (retour en batterie).

Ces dispositions – stabilité du matériel, dépointages réduits, retour automatique en batterie – sont les trois critères fondamentaux de réalisation de grandes cadences de tir.

L'organisation générale des liens élastiques, les lois fondamentales qui régissent leur fonctionnement et les répercussions qu'elles entraînent sur la conception des matériels sont résumées, pour l'essentiel dans l'annexe III.

L'évolution des liens élastiques entre 1945 et 1975 a été à la fois technologique et architecturale.

¹³⁶ Voir tableau annexe II : pour les artilleries montées sur les véhicules de première génération, les valeurs les plus élevées du rapport QR/MT (rapport de la quantité de mouvement de recul à la masse totale) sont celles relatives à l'obusier automoteur de 155 en casemate (châssis Lorraine), à l'AMX-13 à canon de 105 (tourelle FL12), à l'EBR à canon de 75 du char AMX-13 (tourelle FL10) et à l'obusier automoteur de 105 en casemate (châssis AMX-13). Pour le char moyen de 35 tonnes (resté à l'état de projet) et le char de 50 tonnes à canon de 120 mm le rapport QR/MT est significativement plus faible ; ce rapport est encore inférieur pour les anciens chars allemands Panther et Tigre pris comme référence. On peut estimer que pour ces trois chars dont la masse est comprise entre 45 tonnes et 60 tonnes le montage d'un frein de bouche sur le canon n'était pas indispensable (sans frein de bouche, la valeur QR/MT serait relevée de 30 à 35 %).

¹³⁷ Certains utilisateurs estiment toutefois, d'après leur expérience d'emploi en zone désertique, que le frein de bouche, en réduisant la quantité de gaz éjectés vers l'avant, diminue le volume du nuage de sable soulevé et réduit les difficultés d'observation du tir.

¹³⁸ Des précautions devant toutefois être prises pour le tir de projectiles « à géométrie variable » à la sortie du tube : ceintures éjectables, sous calibrés dépotables, projectiles à empennage déployant...

¹³⁹ Voir, au paragraphe « Affûts », les dispositions particulières aux châssis permettant d'améliorer la stabilité au tir des automoteurs d'artillerie de campagne.

L'évolution technologique se manifeste

- soit par des applications à l'ensemble des artilleries toutes finalités d'emploi confondues,
- soit par des applications particulières à l'armement de véhicules blindés ou aux matériels d'artillerie de campagne,
- la technologie des liens élastiques a évolué d'une manière générale dans la période 1945-1975 avec l'essor industriel de l'hydraulique mais le profit qui en a été tiré est resté limité. Ainsi, les accumulateurs oléopneumatiques à piston libre fabriqués dans l'industrie n'ont jamais été envisagés pour remplacer les récupérateurs d'artillerie car les conditions de fonctionnement des matériels d'artillerie restent spécifiques : vitesses de translation de l'ordre de 10 m/s acquises dans des temps très inférieurs à 0,1 seconde ; fréquence élevée de fonctionnement (cadence de tir de l'artillerie de campagne) entraînant un échauffement rapide du fluide de freinage ; emploi tous climats sans modalité d'adaptation ; exigence d'une fiabilité élevée (plusieurs milliers de coups pour une artillerie de campagne).

Au titre de cette évolution générale, on peut citer comme faits marquants :

- l'emploi de fluides hydrauliques moins sensibles, en viscosité, aux variations de température ; le mélange eau-glycérine encore employé pour l'artillerie de 90 mm du char de transition ARL 44 est abandonné et remplacé par des huiles oléonaphtes (huile F2 puis huile OM15) normalisées OTAN. Des essais ont été entrepris à l'ABS au milieu des années 1950 avec des silicones visqueux encore moins sensibles aux variations de température que l'huile OM15 mais ces fluides beaucoup plus compressibles ne pouvaient pas remplacer les huiles en service sans modifications profondes des liens élastiques existants,
- l'utilisation généralisée de joints d'étanchéité en caoutchouc synthétique compatibles avec les huiles précitées (en particulier joints à lèvres et joints toriques),
- la recherche d'une plus grande fiabilité des liens élastiques (absence de fuites d'huile extérieures, étanchéité huile-azote au niveau des pistons libres de récupérateur...) par amélioration des états de surface – qualité de rodage des cylindres, super finition des tiges de frein et de récupérateur¹⁴⁰ – et une attention particulière au montage des joints d'étanchéité (généralisation des dispositifs auto-serreurs dits « à tête mobile » permettant une augmentation du serrage des joints au cours du tir),
- la généralisation des récupérateurs oléopneumatiques à « piston libre ».¹⁴¹ Le dernier matériel adopté et mis en service avec récupérateur à ressorts étant le canon de 75SA49 de l'EBR.

¹⁴⁰ Avec la participation du Laboratoire central de l'Armement dans la définition et la mise au point des machines de super finition et dans la mesure des états de surface.

¹⁴¹ Un examen critique des diverses solutions techniques mises en pratique sur les matériels alliés et ennemis en 1945 avait été demandé par le chef du Service technique de la DEFA (IC Lhomme) à la Libération. En ce qui concerne les récupérateurs oléopneumatiques, deux types de solutions étaient utilisées : récupérateurs avec piston séparateur huile-gaz, dits « à piston libre » (type 75 Mle 97) et récupérateur à contact direct huile-gaz, dits « à joint libre » (matériels Schneider, artillerie allemande). Dans ce dernier modèle, il y a un risque d'émulsion qui entraîne des anomalies de rentrée en batterie. L'élément moteur des récupérateurs oléopneumatiques étant le gaz comprimé, une investigation avait été entreprise dans les premières années suivant la

L'évolution technique spécifique aux liens élastiques d'artillerie de véhicules blindés porte essentiellement sur la simplification et la recherche du moindre encombrement :

- pour les freins de tir – à recul constant – le concept de frein à « fourrure »¹⁴², adopté pour les canons de 75SA49 (EBR) et 75SA50 (AMX-13) puis retenu ensuite pour toutes les artilleries de véhicules blindés. Ce concept permet par une définition adéquate de la forme de l'ouverture de la fourrure d'obtenir un effort de recul constant ;
- pour les récupérateurs, la réduction d'encombrement liée à la simplification conceptuelle des pistons libres.

Au titre de l'évolution spécifique des liens élastiques d'artillerie de campagne il faut noter la conception par l'ABS à la fin des années 1940 de freins de tir à variation « continue » du recul en fonction de l'angle de pointage en hauteur. Conception due à l'Ingénieur en chef Rivals et à l'Ingénieur principal des travaux Huet du Service des études de l'ABS. Il s'agit de freins de tir à contre tige dont le principe général était connu depuis la Première Guerre mondiale (155 GPF) mais tous les freins de tir à contre-tige réalisés jusqu'en 1945 étaient à variation discontinue » du recul (variation rapide des sections d'écoulement de l'huile dans une zone étroite de pointage en hauteur), ce concept entraînant des suppressions au tir et des duretés de pointage dans la zone incriminée. Les nouveaux freins ABS ne présentent pas ces inconvénients. Cette conception est appliquée pour la première fois aux obusiers de 105 Mle 50 et 155 Mle 50 puis généralisée ensuite à toutes les artilleries de campagne nécessitant une longueur de recul différente entre tir plongeant à faible hausse et tir vertical.

L'évolution architecturale : Toutes les artilleries étudiées entre 1945 et 1975 disposent de liens élastiques où le frein et le récupérateur sont montés « en parallèle »¹⁴³. L'accent étant mis pour les artilleries de véhicules blindés sur la constitution de « kits indépendants », de frein et de récupérateur permettant des échanges rapides sur véhicules en cas d'avaries.

Hors de cette mesure générale, l'architecture dépend de l'importance accordée à certains critères selon la finalité d'emploi des matériels. Il s'agit plus particulièrement de :

- l'encombrement minimal,
- la protection maximale,
- l'optimisation de l'attelage du lien élastique vue sous l'angle de l'incidence des réactions au départ du coup sur le comportement du matériel et la qualité des tirs (voir annexe I. La prise en considération de ce critère est fréquemment antinomique avec la recherche de l'encombrement minimal).

En ce qui concerne les artilleries de véhicules blindés de première génération, seul l'armement de l'EBR prend en compte ces trois critères. La prise en considération du troisième critère est satisfaite par l'installation de :

- un récupérateur à ressorts concentrique au tube,
- deux freins de tir identiques symétriques par rapport à l'axe du tube.

Libération portant sur un modèle de récupérateur simplifié dit « sec », sans huile, le piston étant soumis directement à la pression du gaz. Cette solution a été abandonnée pour des raisons de précarité de l'étanchéité au niveau des joints dits « mobiles » (joint de tige et joint de tête de piston).

¹⁴² On appelle « fourrure » une virole à paroi mince, intervalle entre cylindre et tête de piston, dont les ouvertures jouent le rôle d'orifices de freinage.

¹⁴³ Le montage « frein + récupérateur en série » – type 75 Mle 97 – est abandonné.

Pour les autres artilleries, la priorité donnée à la réduction de l'encombrement et à la protection a conduit à disposer le lien élastique de manière dissymétrique par rapport à l'axe de la bouche à feu ; il en a été de même, dans la deuxième moitié des années 1950, des artilleries de 90 mm de véhicules blindés légers tirant la munition de 90 mm empennée à charge creuse. Il faudra attendre l'armement de 105 mm de l'AMX-30 pour retrouver une organisation globalement satisfaisante, le volume disponible pour l'ensemble oscillant de l'artillerie étant relativement plus grand.

En ce qui concerne l'artillerie de campagne tractée, les trois critères précités sont de moindre importance. L'encombrement minimal et la protection maximale ne sont pas des critères majeurs pour une artillerie tractée qui n'est pas un matériel de l'avant. D'autre part, les dissymétries des réactions de tir par rapport à l'axe de la bouche à feu ont une incidence moins importante sur la qualité du groupement d'un tir d'artillerie que sur la probabilité d'atteinte au premier coup d'un tir de véhicule de combat. Pour les matériels de première génération – obusiers de 105 Mle 50 et de 155 Mle 50 – l'organisation architecturale est très dépendante de la conception du berceau (ou glissière-châssis) : attelage du frein et du récupérateur sous la bouche à feu pour le 105 Mle 50 ; attelage du frein en dessous et du récupérateur au dessus pour le 155 Mle 50, ces dispositions étant conservées pour les automoteurs dérivés de ces matériels : obusier de 105-50 sur châssis AMX-13 en casemate, obusier de 155 automouvant. Par contre les artilleries de 105 et 155 conçues spécialement pour des tourelles d'automoteurs – obusier de 105 en tourelle sur châssis AMX-13, 155 AUF1 sur châssis AMX-30 – satisfont, à très peu près, à l'architecture idéale au sens des trois critères ci-dessus¹⁴⁴ :

Ainsi, depuis la fin des années 1950, une attention plus systématique a été apportée au critère de symétrie (dans l'architecture générale des liens élastiques qu'il s'agisse d'artillerie de véhicules de combat ou d'artillerie de campagne).

Affûts

Il s'agit des affûts d'artillerie de campagne au sens large du terme, en englobant sous ce vocable aussi bien les affûts tractés que les affûts automoteurs.

Parmi les critères opérationnels ayant eu une incidence sur l'évolution des affûts, les plus importants ont été :

- la capacité de grand champ de tir en direction,
- la mobilité,
- les aides au service de pièce.

La première génération de matériels tractés – 105 Mle 50 et 155 Mle 50 – est marquée par la recherche de grands champs de tir en direction permettant des déplacements rapides des feux. L'affût de 105 Mle 50 triflèche autorise le tir tous azimuts¹⁴⁵ : position de batterie roues relevées, appuis au sol en quatre points (extrémités des flèches et appui central) ; l'affût de 155 Mle 50 biflèche est organisé pour permettre un champ de tir en direction de 80°. Les obusiers et canons tractés de calibre équivalent, en service en 1944-

¹⁴⁴ L'attelage symétrique par rapport à l'axe de la bouche à feu de deux freins de tir identiques ; attelage dissymétrique du récupérateur, l'attelage (freins + récupérateur) de l'obusier de 105 en tourelle était entièrement symétrique à l'origine avec récupérateur à ressorts concentrique au tube mais ce type de récupérateur a été abandonné pour causes de rentrées en batteries irrégulières.

¹⁴⁵ La capacité de tir tous azimuts pour l'artillerie de campagne avait fait l'objet de réflexions et de réalisation avant 1940 : plateforme Arbel du 75 Mle 97, 105 mm triflèche étudié par l'ABS (prototype détruit à Tarbes pendant l'occupation) canon de 47 Mle 37 sur affût triflèche.

1945 avaient des champs de tir en direction ne dépassant pas 60° : 52° pour le 155 HM1, 60° pour le 155 Gun M1, 56° pour le 15 cm SFH 18/40, 60° pour le 15 cm K18 ; la position de batterie roues relevées et appuis au sol en trois points (extrémités des flèches et appui central) permet des déplacements des feux en azimut, hors du champ de tir propre de l'affût, par rotation sur l'appui central, ancrage des flèches libéré, avec les seuls moyens humains de l'équipe de pièce.

On retiendra de ces deux réalisations la pénalisation en masse et complexité technique de la solution « tous azimuts » par rapport à la solution « affût biflèche ». Dès 1948, l'Ingénieur en chef Carougeau chef du bureau artillerie du Service technique de la DEFA avait pris position sur les risques, au point de vue de la masse, de l'organisation « affût tous azimuts ». Ainsi, l'étude de l'obusier de 105 tracté biflèche décomposable en fardeaux, qui fut menée pendant les années 1950 par l'AHE et la SAGEM retient, pour l'affût, le principe d'organisation du 155 Mle 50 à savoir mise en batterie avec appuis en trois points (extrémités des deux flèches et appui central) roues relevées.

En ce qui concerne la mobilité, les affûts de ces artilleries tractées comportent deux innovations techniques par rapport aux générations précédentes :

- montage d'une suspension par barres de torsion sur l'obusier de 105 Mle 50 tracté,
- adaptation sur les deux types d'obusier d'un freinage pneumatique Westinghoiuse par liaison souple au véhicule tracteur.

Les masses pivotantes de ces deux artilleries furent montées, en casemate, sur affûts automoteurs : châssis de l'AMX-13, avec compartiment moteur à l'avant, pour le 105 Mle 50, châssis Lorraine du char de 40 tonnes version « déblindée » du char AMX-50 avec compartiment moteur à l'arrière, pour le 155 Mle 50. Le premier de ces deux montages aboutit à l'adoption de l'obusier de 105 Mle 50 automoteur (OB 105.50.AU) le second resta à l'état de prototype, l'étude du char de 40 tonnes ayant été abandonnée, mais cette expérience a montré les difficultés inhérentes à l'utilisation d'un châssis ayant un compartiment moteur à l'arrière comme affût automoteur d'une artillerie lourde non dotée d'aides au service de pièce.

Ces deux artilleries montées en casemate disposaient d'un champ de tir en direction limité, les grands déplacements des feux nécessitant un changement d'orientation du châssis. C'est pourquoi les études d'artillerie automotrice qui suivaient, entre 1950 et 1960 portèrent sur des montages en tourelle (dénommés en l'espèce montage en casemate tournante).

- sur châssis AMX-13 pour le 105. Ce sera l'obusier de 105 à casemate tournante qui ne sera fabriqué qu'en quatre exemplaires acquis par la Suisse,
- sur châssis Batignolles pour le 155. Ce sera un échec. Ce châssis à moteur arrière ne permettant pas un espace suffisant à la casemate tournante dans laquelle le service de la pièce devait se faire à la main (voir à ce sujet le chapitre 8),
- sur châssis AMX-30 enfin mais avec une artillerie automatisée qui nécessite beaucoup moins d'espace. Ce développement aboutira au 155 AUF1 qui entrera en service à la fin des années 1970.

ÉQUIPEMENTS DE TIR MONTÉS SUR LES MATÉRIELS

Sous ce vocable on regroupe les conduites de tir des véhicules de combat et les appareils de pointage de l'artillerie de campagne, ces équipements étant destinés à

l'orientation des tubes de canon avant l'ouverture du feu. La différence de conception entre ces deux catégories d'équipements est liée aux conditions d'emploi :

- tir direct avec viseur pour l'armement des véhicules blindés,
- tir indirect avec utilisation d'un niveau de pointage de précision (site = hausse) et d'un goniomètre (gisement) pour l'artillerie de campagne¹⁴⁶.

Conduites de tir des véhicules de combat

Tous ces véhicules de combat développés en France et mis en service dans la période 1945-1975 ne sont capables, efficacement, que de tirs à l'arrêt.

Avant l'AMX-30, les équipements de tir de tous les matériels français adoptés et fabriqués en série, se résument à une lunette de tir graduée en hausse¹⁴⁷ sans moyen de mesure de la distance de la cible¹⁴⁸ ni de correction d'inclinaison de l'axe des tourillons¹⁴⁹. La mesure de ces deux paramètres sera introduite dans la définition de série de l'AMX-30¹⁵⁰, ce qui permettra d'augmenter la probabilité d'atteinte au premier coup tiré, en tir à l'arrêt sur but fixe, à grande distance. Il faudra attendre l'AMX-10 RC pour que soit mise en service une conduite de tir plus élaborée¹⁵¹ permettant des interventions efficaces, véhicules à l'arrêt, sur but fixe ou mobile, avec acquisition de paramètres concernant le véhicule (inclinaison de l'axe des tourillons, position de la volée du tube) la cible (distance et vitesse de déplacement) la balistique (température, vent transversal, V_0 du lot de munitions). Pour tous les nouveaux véhicules blindés français mis en service avant l'AMX-30 (EBR, AMX-13, AML) la Portée utile de combat (PUC) reste une caractéristique opérationnelle majeure¹⁵². Au-delà de cette distance, l'efficacité du tir à l'arrêt sur but fixe dépend de l'appréciation visuelle des distances par le chef de char et

¹⁴⁶ Voir au paragraphe « Affûts » ci dessus, les dispositions particulières aux châssis permettant d'améliorer la stabilité au tir des automoteurs d'artillerie de campagne.

¹⁴⁷ Hausses graduées, d'une part, pour les munitions à projectile perforant, d'autre part pour les munitions à obus explosif.

¹⁴⁸ Il ne s'agit que des véhicules d'origine française. Les chars américains M 47 Patton mis en service en remplacement des chars Sherman étaient dotés d'un télémètre optique et d'un calculateur de hausses pour les diverses munitions.

¹⁴⁹ Voir annexe IV, une analyse technique succincte de la correction d'inclinaison de l'axe de tourillons.

¹⁵⁰ Installation d'un télémètre optique à coïncidence et d'un correcteur manuel d'inclinaison de l'axe des tourillons. Dans la définition d'origine, au cours du développement, un correcteur tachymétrique était également prévu pour le tir sur but mobile. Ce correcteur, testé par la STA, n'a pas été retenu pour des raisons à la fois techniques et économiques.

¹⁵¹ Conduite de tir anti-char (COTAC).

¹⁵² La PUC est la portée déduite de la table de tir pour une hausse-canon dite « hausse de combat » correspondant à une flèche de référence de la trajectoire inférieure à la hauteur de la cible (supposée entièrement visible). La flèche de référence retenue est en général de 1,80 m correspondant à une hauteur de cible de l'ordre de 2,30 m (standard OTAN).

Le tir dit « à la hausse de combat » – c'est-à-dire à hausse fixe sans mesure ni appréciation de la distance de la cible – permet, pour des caractéristiques satisfaisantes, en justesse – dispersion du couple canon-munition, d'obtenir une probabilité d'atteinte au moins égale à 50 % au premier coup tiré sur but fixe à toute distance inférieure à la PUC, la visée étant faite au pied de la cible. A ce niveau de probabilité d'atteinte, c'est la méthode de tir qui permet le délai d'intervention le plus court (délai compris entre l'instant de découverte de la cible et le déclenchement du tir) mais pour obtenir des valeurs de probabilité d'atteinte plus élevées, il est nécessaire d'introduire une mesure de la distance (télémétrie), la visée étant faite à la hausse correspondante et au centre de la cible (voir compléments techniques concernant la PUC en annexe V).

cette absence de mesure entraîne une chute rapide de la probabilité d'atteinte au premier coup tiré pour des distances croissantes d'intervention.

Pour le tir à l'arrêt sur but mobile, l'efficacité au premier coup tiré est encore plus aléatoire puisque l'appréciation visuelle par le chef de char porte à la fois sur la distance et la vitesse de déplacement de la cible, ces deux paramètres intervenant conjointement dans le pointage du canon sur le but « futur »¹⁵³.

Cette situation ne signifie pas pour autant qu'il y ait eu désintérêt pour les conduites de tir de canons de char entre 1945 et 1960. Ainsi, en février 1947 à l'occasion de l'examen du premier avant projet d'engin blindé aérotransportable de 12 tonnes, l'EMAT demande que soient engagées activement des études de télémètres et de « correcteurs ». Ces études menées par le Service optique de l'APX avec la participation de l'industrie privée spécialisée (SOPELEM, SOMHP, OPL...) aboutirent, dans la période de 1950-1960 à la réalisation (le plus souvent limitée à des prototypes) d'équipements divers de conduite de tir.

L'annexe VI donne la liste des équipements les plus importants ainsi créés et des véhicules sur lesquels ils furent montés et testés¹⁵⁴.

Aucun de ces équipements n'a été installé, en série, sur des véhicules blindés français, essentiellement pour deux raisons :

- d'une part l'abandon de certains programmes majeurs AMX-50, canon d'assaut...),
- d'autre part, les difficultés rencontrées pour installer ces équipements – dans des conditions d'emploi satisfaisantes – sur des véhicules déjà fabriqués dont l'architecture n'a pas réservé l'implantation (AMX-13, EBR)¹⁵⁵.

C'est pourquoi la novation la plus importante dans la période 1945-1975, en ce qui concerne les conduites de tir des véhicules blindés français adoptés et mis en service, n'est apparue qu'à l'occasion du programme AMX-10 RC. Cette conduite de tir intégrée dite COTAC permet d'intervenir, véhicule à l'arrêt, sur but fixe ou mobile dans des conditions satisfaisantes de justesse au premier coup tiré. En dehors du télémètre laser que remplace le télémètre optique pour la mesure de la distance du but¹⁵⁶ la novation la plus marquante par rapport aux solutions techniques étudiées entre 1950 et 1960 concerne le principe de mesure de la vitesse de défilement de la cible. Alors que dans ces solutions antérieures (lunettes à grille mobile citées en annexe VI) la mesure se faisait par défilement de la grille, tourelle à l'arrêt, dans le COTAC, c'est la rotation de la tourelle avec maintien de l'image de la cible au centre du réticule de la lunette qui permet d'appréhender la vitesse de défilement du but ; cette façon d'opérer, associée à un dispositif de « contre-rotation »¹⁵⁷ intervenant au moment de la mise en direction du canon sur le but futur, permet de maintenir à tout instant l'image de la cible au centre du réticule de la lunette pendant toute la séquence de préparation du tir jusqu'à la décision de mise à feu.

Ce principe de conduite de tir de l'AMX-10 RC sera conservé pour l'opération de revalorisation de l'AMX-30 (AMX-30 B2).

¹⁵³ Voir annexe V, tir à l'arrêt sur but mobile.

¹⁵⁴ Les concepts et caractéristiques de ces équipements sont décrits dans le fascicule « Appareils d'Optique ».

¹⁵⁵ Les difficultés d'installation d'un télémètre sur l'AMX-13 ont conduit à expérimenter la méthode de tir dite « à la mitrailleuse de réglage » – voir annexe VII.

¹⁵⁶ Le télémètre laser ayant l'avantage sur le télémètre optique d'avoir une erreur sur la mesure de la distance indépendante de cette distance.

¹⁵⁷ Intervention dans la chaîne de visée d'un déviateur d'images ou « diasporamètre ».

On aboutit ainsi, au début des années 1970, à des conduites de tir qui n'ont plus rien de comparable au sens de la technique – nombre de paramètres, acquisition et traitement des informations – et au sens de l'emploi, avec les équipements de tir équipant les véhicules de combat 10 ans auparavant.

Mais on est resté à des conditions d'utilisation impliquant, pour être efficace, de tirer à l'arrêt. Une proposition de conduite de tir stabilisée pour le tir en marche (COSTAC) avait été faite au début des années 1970 dans le cadre des options de définition de l'AMX-30 de deuxième génération¹⁵⁸ mais l'efficacité du tir en marche nécessite de repenser plus profondément le concept général du véhicule (châssis et tourelle).

Appareils de pointage d'artillerie de campagne

L'orientation des pièces d'artillerie avant tir nécessite l'utilisation de deux équipements, un niveau de pointage de précision et un goniomètre, la référence à la verticale étant nécessaire pour ces deux appareils. D'autre part l'analyse technique succincte, objet de l'annexe IV, rappelle l'importance de la correction d'inclinaison de l'axe des tourillons dans la recherche de justesse des tirs dès l'ouverture du feu. C'est pourquoi dès les premiers programmes d'après-guerre portant sur les développements des obusiers de 105 mm et 155 mm tractés, l'ABS entreprit l'étude d'un appareil de pointage, dans lequel le niveau de pointage de précision et la colonne goniométrique pré-réglés conservent leurs références de mesure¹⁵⁹ au cours des opérations de pointage en hauteur même lorsque l'axe des tourillons est incliné par rapport au plan horizontal. Le principe en est décrit à l'annexe VIII.

Ce type d'appareil de pointage a été conservé pour les autres matériels d'artillerie tractés, automoteurs en casemate et automouvants développés entre 1945 et 1980 : obusier de 105 mm tracté aérotransportable, obusiers automoteurs en casemate de 105 mm et 155 mm de première génération utilisant les masses pivotantes des obusiers tractés de 105 et 155 Mle 50, canon de 155 automouvant, canon tracté de 155 mm/40 calibres (balistique OTAN) mais pour les matériels montés en casemate la sortie au-dessus du toit de la tête du goniomètre, sous forte inclinaison de l'axe des tourillons, a conduit à des découpages importants des toits des véhicules allant à l'encontre de la protection¹⁶⁰.

Les Américains, au début des années 1950, avaient étudié une nouvelle implantation du support d'appareil de pointage permettant de remédier à cet inconvénient pour les artilleries montées en tourelle en y ajoutant une modification de l'appareil de pointage proprement dit portant sur les dispositifs de réglage de verticalité (plan vertical pour l'appareil de pointage, direction verticale pour la colonne goniométrique), cette modification permettant le maintien à la verticale du goniomètre à la fois dans les

¹⁵⁸ Option dite « AMX-30 modernisé » associant la conduite de tir COSTAC à un canon de 120 mm. Cette option n'a pas été retenue pour des raisons liées d'une part aux incertitudes calendaires d'aboutissement du développement, d'autre part au coût de changement de la logistique des munitions.

¹⁵⁹ Référence de plan vertical pour le niveau de pointage

Référence de direction verticale pour la colonne goniométrique

¹⁶⁰ Sur les obusiers de 105 mm en casemate un châssis AMX-13 (105-50-AU) utilisant la masse pivotante de l'obusier de 105 Mle 50 tracté, l'ouverture pratiquée dans le toit reste importante malgré une réduction de l'inclinaison maximale de l'axe des tourillons de 170 millièmes (valeur requise pour le matériel tracté) à 110 millièmes.

opérations de pointage en hauteur de la masse oscillante et dans les opérations de pointage en direction de la tourelle¹⁶¹.

Les premières artilleries de campagne montées en tourelle sur châssis automoteurs du milieu des années 1950 – automoteur de 105 mm en tourelle sur châssis AMX – 13 tonnes automoteur de 155 en tourelle Batignolles – furent dotées d'appareils de pointage étudiés en France sur les bases du concept américain.

Cette organisation a été conservée, dans son principe, pour l'appareil de pointage canon automoteur de 155 mm AUF1.

En plus de l'emploi classique en tir indirect, l'aptitude au tir direct de l'artillerie de campagne fut demandée par l'état-major dès les premiers programmes lancés après la libération (obusiers de 105 Mle 50 et 155 Mle tractés).

Cette exigence a conduit à équiper ces matériels de lunettes de visées¹⁶² mises à la disposition du pointeur. Mais l'adjonction d'une lunette de tir graduée en hausses n'est pas une condition suffisante pour doter un matériel d'artillerie de campagne – conçu pour le tir indirect – d'une bonne efficacité en direct sur des objectifs ponctuels dès l'ouverture du feu. L'efficacité – limitée à la probabilité d'atteinte¹⁶³ – dépend pour partie de l'organisation du matériel – dispositifs de pointage et de mise de feu, conditions ergonomiques de service de pièce au tir – et cette organisation n'est pas particulièrement favorable au tir direct sur les obusiers de première génération¹⁶⁴. Cette précarité d'emploi de l'artillerie de campagne en tir direct sera par la suite atténuée grâce à l'évolution des systèmes de pointage¹⁶⁵ et surtout de l'organisation des dispositifs de mise à feu¹⁶⁶ (en conservant toutefois son mode d'utilisation).

La qualité des tirs (réduction des relais d'intervention, justesse) nécessite une exploitation rapide et précise des données topographiques et balistiques (repérage par rapport au nord, exploitation des tables de tir...).

¹⁶¹ Un exemplaire de ce genre d'appareil a été montré par les Américains aux ingénieurs militaires Bedaux et Viviez de la DEFA au début des années 1950 à l'occasion d'une mission aux États-Unis dans le cadre des contrats d'échanges d'information franco-américains. Les principes fondamentaux de conception de cet appareil font l'objet de l'annexe IX.

¹⁶² Support de lunette monté directement sur la glissière châssis (berceau oscillant) doté de dispositifs de réglage de parallélisme avec la bouche à feu mais sans correction de l'inclinaison des tourillons, l'oculaire de la lunette étant placé de telle sorte que les volants de pointage puissent être manœuvrés pendant la visée, des angles de hausse faible.

Les lunettes de tir direct des obusiers tractés de 105 Mle 50 et 155 Mle 50 ont été conservées pour les automoteurs de 105-50 AU et 155 F3 AM.

¹⁶³ Pour ce qui concerne la probabilité de destruction, il faut également prendre en compte l'effet terminal de la munition si le coup est au but (PK/H). A ce titre, seule l'artillerie de 105 mm a été dotée de munitions spécifiques AC (obus à charge creuse non tournante OCC 61 de la munition principale de l'AMX-13/FL12 et de l'AMX-30) ; pour l'artillerie de 155 mm le tir direct est effectué avec l'obus explosif.

¹⁶⁴ Voir annexe X, « conditions d'utilisation des obusiers de 105 et 155 de première génération en tir direct et commentaires ».

¹⁶⁵ Utilisation de l'énergie hydraulique ou électrique pour les opérations de pointage : obusier sur châssis AMX-30 (1970) canon automoteur de 155 mm AUF1 sur châssis AMX-30 (1970) canon tracté de 155 mm (1980).

¹⁶⁶ Utilisation de dispositifs de mise à feu plus favorables au tir direct : commande électromécanique de libération du bloc de percussion armé à la fermeture de culasse (obusier de 105 automoteur en tourelle), commande électrique du système d'allumage par induction SAPI des munitions de 155 à gargousses combustibles (canons de 155 AU F1 et tractés modernes).

En ce qui concerne la mise en direction des pièces il n'y a pas eu de progrès notable entre 1945 et 1970 si ce n'est l'adoption en 1955 du principe de la « dérive unique »¹⁶⁷ puis du pointage en gisement. On en est resté par ailleurs aux moyens traditionnels de mise en direction des pièces : théodolite simplifié ou goniomètre – boussole, jeux de doubles piquets... A partir de 1970, une évolution apparaîtra avec le développement d'instruments utilisant les techniques inertielles (appareils de navigation terrestre réalisés par AOIP et SAGEM utilisables par l'artillerie comme chercheurs de nord, gyrothéodolite développé par CDC...). Une utilisation plus approfondie de ces techniques inertielles laisse espérer, pour les matériels les plus modernes qui seront mis en service au-delà de 1975 (155 AU F1) des conditions de préparation des tirs plus rapides avec des possibilités de plus grande autonomie des pièces d'artillerie.

En ce qui concerne la balistique, l'exploitation des tables de tir de calculateur électronique ne sera envisagée qu'à la fin des années 1950 avec le développement et la fabrication en présérie du CETAC¹⁶⁸ – période 1957/1966 – puis du calculateur Camille¹⁶⁹ – période 1966/1968. Le lancement en 1968 de l'étude de l'automatisation du tir de l'artillerie¹⁷⁰ interrompra ces programmes de calculateurs et les études des périphériques qui devaient leur être associés (visualisation, possibilité de téléaffichage aux pièces...).

En ce qui concerne les corrections à introduire pour maîtriser la justesse des tirs, l'évolution technique est marquée par deux développements entrepris dans la période 1972/1975 et suivis d'adoption, utilisant la technique radar, pour l'acquisition de paramètres balistiques.

Il s'agit :

- d'une part du système de radio sondage Sirocco¹⁷¹ pour la mesure du vent et de la température en altitude ;
- d'autre part, du radar MIRADOP¹⁷² adaptable aux pièces d'artillerie pour la mesure des vitesses initiales.

MUNITIONS

Munitions pour véhicules blindés

La munition du véhicule blindé est d'abord la munition anti-blindé. En 1945, c'est un boulet perforant en acier dur, au calibre du canon qui le tire.

Tiré à V_0 800 m/s il perce à 1 000 mètres une épaisseur de blindage à peine supérieure à son calibre.

¹⁶⁷ Répercussion sur la conception des goniomètres nouveaux ; modification des goniomètres existant (goniomètres M12 des obusiers de 105 HM2).

¹⁶⁸ CETAC : Calculateur électronique d'artillerie de campagne.

¹⁶⁹ Calculateur développé par IBM/France dont la programmation fut confiée au Laboratoire central de l'Armement.

¹⁷⁰ Le programme ATILA (Automatisation du tir de l'artillerie) sera traité au tome 12.

¹⁷¹ Radar de poursuite d'un ballon équipé d'une radio sonde dont l'information sur la température en altitude est captée par un récepteur intégré au radar.

¹⁷² Après une première étude d'un appareil de mesure des vitesses initiales basé sur la technique de la diode Gun, le développement d'une base miniaturisée de mesures des V_0 par effet Doppler était lancée en 1974, cette base de mesure étant dénommée MIRADOP (Mini radar doppler).

Les trente années que nous considérons (1945-1975) voient une recherche intense dans tous les pays développés – à l'Ouest comme à l'Est – qui conduira à une augmentation considérable des performances des munitions antichars.

Cette recherche suit deux directions principales :

Le projectile à énergie cinétique.

Le boulet plein est remplacé par un sous calibre à noyau très dense (et initialement très dur) propulsé dans le canon par un sabot en métal léger (alliage d'aluminium).

Le projectile complet (noyau + sabot) est moins lourd qu'un boulet plein, ce qui permet une plus grande vitesse initiale.

La section droite du noyau plus faible que celle du boulet, associée à cette vitesse plus élevée, augmente la pression à l'impact et corrélativement l'épaisseur de blindage perforée.

On gagne sur les deux facteurs : probabilité d'atteinte par l'augmentation de la V_0 et probabilité de destruction par augmentation de l'épaisseur perforée.

Le projectile à charge creuse.

Dans ses premières applications à la fin de la Deuxième Guerre mondiale, la charge creuse n'est mise en œuvre que sur des roquettes stabilisées par empennage et de très faible V_0 (de l'ordre de 100 m/s).

Sur de tels projectiles, l'efficacité de la charge creuse n'est altérée ni par la vitesse de rotation quasi nulle du projectile sur lui-même, ni par la vitesse à l'impact assez faible pour que la charge détone avec une distance d'action convenable, même amorcée par une fusée mécanique à inertie.

Le développement visera à rendre un projectile à charge creuse susceptible d'une grande vitesse initiale V_0 (de l'ordre de 1 000 m/s).

Sans parler des problèmes de résistance mécanique au départ du coup inhérente à tous les projectiles à grande V_0 . Il faudra venir à bout des deux obstacles évoqués :

- La stabilisation du projectile, sans faire tourner la charge creuse, ce qui sera acquis par deux voies différentes :
 - L'obus G à charge creuse libre montée sur roulement à l'intérieur d'une enveloppe assurant la stabilisation gyroscopique.
 - L'obus empenné au calibre tiré à des vitesses hautement supersoniques domaine aussi nouveau pour les obus qu'il l'est pour les avions.
- L'amorçage de la charge creuse dans un délai compatible avec une distance d'action convenable malgré la grande vitesse à l'impact. Ce délai est de l'ordre de 30 microsecondes et nécessite le développement et la fiabilisation d'une amorce électrique tout à fait nouvelle.

L'obus à charge creuse bénéficie d'une capacité de perforation très élevée – environ cinq fois le calibre de la charge – et indépendante de la distance de l'objectif.

Par contre, il ne permet pas d'atteindre des V_0 donc des portées utiles aussi élevées que celles qu'on peut atteindre avec les obus à énergie cinétique

Le lecteur trouvera une présentation plus détaillée de la compétition entre énergie cinétique et charge creuse dans le chapitre 6.

Munitions d'artillerie de campagne

Si les munitions antichars ont fait des progrès considérables dans la période 1945-1975, on ne saurait en dire autant de la munition standard (à obus explosif) de l'artillerie de campagne.

On a vu plus haut que les matériaux et en premier lieu l'acier à obus avaient très peu évolué¹⁷³.

Aussi, le présent article se borne à rappeler deux innovations d'origine américaine et qui sont introduites en France au début de la période.

L'une de portée relativement modeste a trait à la conception générale de l'obus explosif : c'est l'obus à culot creux.

L'autre – beaucoup plus importante – est l'apparition des fusées de proximité radioélectriques pour amorcer ces obus en lieu et place d'une fusée mécanique.

Pour résister à l'accélération au départ du coup, l'épaisseur de paroi d'un obus doit augmenter en allant de l'ogive vers le culot.

Dans un obus explosif classique, l'entaille destinée à recevoir la ceinture crée une discontinuité qui conduit à augmenter l'épaisseur de paroi et donc la masse de l'obus au détriment tant de la portée que de l'efficacité antipersonnel (éclats trop gros).

Dans l'obus à culot creux, la ceinture est placée au niveau du fond et les parois peuvent être plus minces et l'obus plus léger.

En outre, le volume de chambre augmente, ce qui autorise une augmentation de la masse de poudre propulsive. Il en résulte une augmentation de la vitesse initiale V_0 et une augmentation de la portée maximale, augmentation qui atteindra 10 % environ dans les réalisations pratiques.

Il faut d'ailleurs noter qu'à l'origine, le but recherché par les concepteurs américains était d'abord la réalisation d'un obus à culot creux bibloc – corps en fonte malléable perlitique à l'avant, culot creux en acier à obus à l'arrière – qui aurait permis une augmentation substantielle de l'efficacité antipersonnel par une meilleure régularité de la masse des éclats.

Cependant, ce concept sera finalement abandonné devant l'impossibilité d'assurer la sécurité d'emploi au tir de la fonte malléable perlitique.

En France, il fut fort peu investi sur l'emploi de la fonte malléable perlitique et la DTAT a finalement développé puis produit des obus à culot creux monobloc en acier dans les deux calibres 105 mm et 155 mm.

L'efficacité de ces obus mesurée avec les dispositifs classiques d'enceintes de panneaux se révélera égale à celle de l'obus conventionnel, le gain se limitant alors à l'augmentation de la portée.

¹⁷³ Le lecteur se reportera au tome « Poudres » pour ce qui concerne l'évolution tant des poudres propulsives que des explosifs.



Fig. 1
L'obus à culot creux

*La fusée de proximité radioélectrique*¹⁷⁴

La fusée de proximité est un petit radar Doppler fonctionnant en ondes métriques. Elle est alimentée par une pile amorçable activée par le départ du coup. Elle est montée comme une fusée classique sur l'œil de l'obus.

A l'origine et jusqu'à l'arrivée des transistors, elle utilise des tubes subminiatures spéciaux et on conçoit aisément les difficultés de réalisation de cet objet qui encaisse près de 20 000 g au départ du coup. C'est alors une fusée très chère qui trouve son application dans le tir contre avions où son coût est largement balancé par l'avantage opérationnel qu'elle procure sur les fusées horlogères :

- simplification de la mise en œuvre par suppression du « tempage »,
- efficacité très supérieure en terme de distance d'éclatement.

Les Forces terrestres antiaériennes (FTA) françaises sont équipées à la fin de la Deuxième Guerre mondiale du canon antiaérien américain de 90 M1 et recevront dans les années cinquante des munitions américaines à fusée de proximité « Posit ».

Les développements entrepris en France au milieu des années cinquante viseront d'abord la réalisation d'une fusée de proximité pour l'obusier de 105 Mle 50. Il s'agira donc d'une fusée de tir à terre, qui doit permettre d'augmenter considérablement l'efficacité du tir fusant tout en simplifiant sa mise en place.

La société TRT (Télécommunications radioélectriques et téléphoniques) s'impose très vite comme le maître d'œuvre incontestable de cette activité en France.

TRT « francise » une fusée du hollandais Philips qui est par ailleurs son actionnaire principal.

Cette fusée à tubes FR 55 fait l'objet d'une première commande pour l'armée de Terre de 25 000 unités.

Par la suite, TRT réalisera les fusées de proximité contre avions des canons de 127 mm puis de 100 mm de la Marine Nationale.

En 1967, commence l'étude de la transistorisation des fusées qui, au-delà des avantages techniques, permet une réduction très importante de leur coût.

La fusée transistorisée FURA.F2 destinée au canon de 155 mm est adoptée en mai 1974 et mise aussitôt en fabrication de série.

Une nouvelle version FURA.F3 sera développée pour le canon de 155 GCT (futur 155 AU F1). Ce canon à chargement automatique nécessite une fusée facilement réglable en tourelle. Un commutateur en pointe de la fusée FURA.F3 permet de sélectionner une des trois fonctions :

- percutant,
- fusant bas,
- fusant haut (hauteur d'éclatement : 12 m).

La société TRT sera acquise en 1990 par le groupe Thomson et l'essentiel de l'activité fusée de proximité quittera progressivement Dreux pour la Ferté Saint-Aubin.

¹⁷⁴ Cet article a été écrit avec l'aide de deux acteurs éminents du développement des fusées de proximité par la société TRT : MM. Bernard Dubois et Claude Servais respectivement Administrateur directeur général et Directeur général adjoint lors de l'absorption de TRT par le groupe Thomson en 1990. Sur les études et réalisations dans la période 1945-1965, voir le tome 8.3, *Défense antiaérienne par canon et armes automatiques*, annexe V, par l'IGA de Launet.

ANNEXE I

Freins de bouche

Rappels historiques

Entre 1859, date des premières expériences du colonel Treuille de Baulieu¹⁷⁵ et 1914 les études menées en France sur l'intérêt du rejet vers l'arrière des gaz de propulsion dès que le projectile quitte le tube, n'ont donné lieu à aucune application pratique dans la conception des matériels d'artillerie. Il existait alors un doute sur l'utilité du procédé. Ce sont les travaux de Rateau, membre de l'Institut, spécialiste de thermodynamique, qui firent avancer scientifiquement les études de freins de bouche, le premier aboutissement sur des matériels entrant dans les dotations de l'armée de Terre étant le frein de bouche du canon de DCA de 75 mm Mle 28 de l'APX.

Jusqu'en 1939, les travaux de Rateau entraînaient des développements de freins de bouche comportant un divergent d'accélération des gaz et des aubes de rejet de ces gaz vers l'arrière¹⁷⁶.

Ce sont les Allemands, avant et pendant la Deuxième Guerre mondiale qui ont le plus utilisé les freins de bouche en les montant sur les canons de 7,5 cm et 8,8 cm des chars moyens et lourds, sur les canons anti-chars Gerlich de 2,8 cm, sur les obusiers de 10,5 cm LFH 18/40 ainsi que sur le canon de montagne de 7,5 cm GG36 ; ce sont en général des freins de bouche à un ou deux étages d'aubes.

Les Russes ont également monté avant-guerre des freins de bouche sur certains canons comme l'obusier de 15,2 cm Mle 37 doté d'un frein de bouche dit « à ouïes » qui servira de modèle aux Allemands pour le frein de bouche de l'obusier de 15 cm SFH 18/40.

Les Américains n'ont pratiquement pas utilisé les freins de bouche jusqu'en 1945, la puissance balistique des bouches à feu (canons de char, obusiers de 105 et de 155) étant relativement peu poussée¹⁷⁷.

¹⁷⁵ Expériences faites sur une bouche à feu de 30 (calibre voisin de 165 mm) baptisé « la Marie Jeanne ». La volée du tube était percée de trous latéraux obliques permettant le rejet des gaz vers l'arrière après le passage du boulet. Ce concept très simple sera repris en 1945 à l'occasion de la mise au calibre de 155 mm des obusiers allemands de 15 cm SFH 18 récupérés (un exemplaire de ce matériel modifié existe au musée de Bourges), mais s'agissant de canons rayés le passage des ceintures d'obus devant les trous du frein de bouche donne lieu à des arrachements de morceaux de cuivre éjectés vers l'arrière avec les gaz (insécurité du service de pièce).

¹⁷⁶ L'angle final de rejet des gaz est une des caractéristiques importantes du profil des aubes et par voie de conséquence du rendement du frein de bouche.

Le frein de bouche Schneider dit « à tiroir » du 105 L36 possède un divergent d'accélération des gaz mais ceux-ci sont ensuite « canalisés » dans des conduits latéraux étroits sans rejet des gaz vers l'arrière. On peut estimer que ce frein de bouche n'était pas optimisé.

¹⁷⁷ Il était connu, en 1944/1945, que les Américains estimaient que leurs chars moyens étaient « *outgunned* » par rapport à leurs homologues allemands. A titre d'exemple, l'EBR français – véhicule de 13 tonnes environ – sera équipé d'un canon de 75 mm (75 mm SA 49) ayant la même puissance balistique que le canon du char américain Sherman, véhicule de plus de 30 tonnes. Pour leurs obusiers de campagne divisionnaires – 105 HM2 155 HM1 – les Américains ayant préféré la simplicité de la logistique des munitions à la recherche d'une grande puissance balistique, l'emploi de freins de bouche n'était pas nécessaire.

Considérations techniques

Les freins de bouche sont caractérisés par leur « rendement énergétique », c'est-à-dire par le pourcentage d'énergie de recul qu'ils absorbent¹⁷⁸. Le rendement énergétique est une grandeur mesurable au tir :

- soit par comparaison, pour une même munition, des énergies absorbées par le frein de tir (enregistrement des pressions – huile dans le frein et des vitesses de déplacement pendant la phase de recul) bouche à feu munie ou non du frein de bouche,
- soit par comparaison des caractéristiques de balistique intérieure des munitions aboutissant à la même énergie absorbée par le frein de tir pour les deux configurations de bouche à feu (avec ou sans frein de bouche).

C'est par de telles mesures que l'on a pu estimer la répartition du rendement énergétique entre les différents étages d'aubes des freins de bouche à étages multiples et montrer qu'au-delà du deuxième étage l'augmentation du rendement énergétique est faible¹⁷⁹.

Pour un système déterminé canon/munition le montage d'un frein de bouche ayant un rendement énergétique r réduit à la fois :

- La quantité de mouvement de recul (ou impulsion de recul)¹⁸⁰, qui est un des paramètres caractéristiques du mouvement général du matériel au tir, en particulier de l'amplitude d'oscillation de la partie suspendue du châssis dans le cas des véhicules blindés et des automoteurs d'artillerie (référence dynamique). Ainsi, le montage d'un frein de bouche ayant un rendement énergétique de 40 % réduit de 22 % environ l'impulsion de recul,
- L'effort instantané de recul et par voie de conséquence les contraintes appliquées à tous les éléments soumis à cet effort (référence statique). Si le lien élastique est conçu pour que l'effort de recul reste constant pendant le déplacement de la bouche à feu, le frein de bouche réduit de r % cet effort.

Remarques

1. Pour les véhicules blindés dotés d'artilleries de 90 mm tirant des projectiles empennés légers (AML, engin EVEN, EBR et AMX-13 revalorisés) la quantité de mouvement de recul maximale correspond au tir de la munition à obus explosif, complémentaire de la munition principale à obus à charge creuse.

2. Pour les EBR et AMX-13, les valeurs Q_r/Mt correspondant à l'armement de « revalorisation » (90mm) sont nettement plus faibles que celles relatives à l'armement d'origine (75 mm des tourelles FL10 et FL11) et le montage d'un frein de bouche, au sens du comportement dynamique du véhicule au tir, n'était pas nécessaire dans le cadre de cette revalorisation. Le frein de bouche a été conservé car il participe à la réduction de la dispersion des projectiles empennés, le rejet vers l'arrière d'une masse importante des gaz de propulsion diminuant les effets des turbulences au moment du largage du projectile.

¹⁷⁸ E_1 et E_0 représentant les énergies de recul avec et sans frein de bouche pour un couple canon-munition déterminé, le rendement énergétique r du frein de bouche a pour valeur $r = 1 - \frac{E_1}{E_0}$

¹⁷⁹ Mesures faites par l'ABS au début des années 1950 ; pour un frein de bouche à deux étages convenablement conçu on peut estimer que le rendement énergétique provient pour les deux tiers du premier étage et pour un tiers du deuxième étage.

¹⁸⁰ Si Q_0 représente la quantité de mouvement de recul sans frein de bouche, la quantité de mouvement de recul après montage d'un frein de bouche de rendement énergétique r est $Q_1 = Q_0 (1-r)^{1/2}$.

ANNEXE II

Artileries installées sur véhicules, comportement au tir ; masses et quantités de mouvement de recul

Véhicules		Année	Masse totale MT en kg	Frein de bouche	Quantité de mouvement de recul QR ⁽¹⁾	QR/MT	Observations	
Blindés légers à roues	EBR	Canon de 75 mm	1950	13 000 kg	+	4 400	0,34	EBR d'origine tourelle FL 11
		Canon de 75 mm	1950	13 600 kg	+	8 900	0,65	Tourelle FL10 De L'AMX- 13
		Canon de 90 mm	1963	13 000 kg	+	3 700	0,29	Revalorisation des EBR Canon de 90 tirant la munition de l'AML
	AML – Canon de 90 mm		1960	55 000 kg	+	3 500	0,63	Munition à obus à CC empenné VO=750 m/s
	AMX-IORC – Canon de 105 mm		1970	14 000 kg	+	8 800	0,63	Munition à obus à CC empenné VO=1100 m/s
Blindés légers à chenilles	AMX-13	Canon de 75 mm	1950	14 500 kg	+	8 900	0,61	AMX-13 d'origine tourelle FL 10
		Canon de 105 mm	1958	14 500 kg	+	9 600	0,66	Tourelle FL 12 – munitions à obus OCCF1 – VO=800 m/s
		Canon de 90 mm	1965	14 500 kg	+	4 700	0,32	Revalorisation des AMX- 13 –Munitions à obus CC empenné VO=950 m/s
	Engin EVEN – Canon de 90 mm		1959	8 000 kg	+	4 200	0,52	Munitions à obus à CC empenné VO=800 m/s

(1) : Masse en kg ; vitesse en m/s. Les valeurs de Qr tiennent compte de l'effet de frein bouche.

Véhicules			Année	Masse totale Mt kg	Frein de bouche	Quantité de mouvement de recul QR(1)	Qr/Mt	Observations	
Véhicules blindés moyens et lourds	Véhicules étrangers de référence	Sherman	Canon de 75 mm	1940	33 000 kg	-	5 200	0,16	Définition d'origine
			Canon de 105 mm	1960	35 000 kg	+	12 000	0,34	Revalorisation pour l'exportation obus à CCF1 $V_0 = 915$ m/s
		Panther canon de 7,5 cm		1943	45 000 kg	+	8 700	0,19	Définition d'origine
		Tigre canon de 8,8 cm		1943	56 000 kg	+	15 000	0,27	Définition d'origine
	Véhicules français	ARL 44 Canon de 90 mm		1945	47 000 kg	+	16 000	0,34	Munition à boulet perforant $V_0 = 1 000$ m/s
		AMX-50	Canon de 100 mm	1950	55 000 kg	+	19 500	0,36	Munition à boulet perforant $V_0 = 1 000$ m/s
			Canon de 120 mm	1950	55 000 kg	+	28 000	0,51	Munition à boulet perforant $V_0 = 1 000$ m/s
		AMX-30 canon 105 mm		1960	36 000 kg	-	18 000	0,50	Munition à obus à CCF1 $V_0 = 1 000$ m/s
Artilleries de campagne sur châssis automoteurs	Obusier 105 mm Châssis AMX-13	Casemate	1950	16 500 kg	+	9 500	0,57	Masse pivotante de l'obusier tracté de 105 Mle 50	
		Tourelle	1956	17 000 kg	+	9 500	0,55	Même munition que l'obusier tracté de 105 en casemate	
	Obusier 155 mm casemate châssis Lorraine		1950	30 000 kg	+	34 500	1,15	Masse pivotante de l'obusier tracté de 155 Mle 50 et munitions de l'obusier tracté de 155 Mle 50 portée max = 18 000 m	
	Obusier 155 mm tourelle châssis Batignolles		1956	35 000 kg	+	34 500	0,98		
	Obusier 155 F3 AM automouvant châssis AMX-13		1960	16 500 kg	+	36 500	2,21	Ancrage par bèches AR bouche à feu 33 cal portée max. = 20 000 m	
	Canon 155 AUF1 tourelle châssis Amx-30		1973	45 000 kg	+	43 500	1,06	Bouche à feu 40 calibres (spécification OTAN) Portée max. = 23 000 m	

ANNEXE III :

Liens élastiques

Rappel de principes généraux de conception des matériels d'artillerie

- Notations

M_r : Masse reculante du matériel

F : Effort de recul

L : Longueur de recul

Q_0 : Quantité de mouvement au passage :

- du projectile
- du projectile et des gaz de poudre
- à la bouche du canon¹⁸¹

Q_r : Quantité de mouvement de recul

r : Rendement énergétique du frein de bouche

- Relation fondamentale

La relation fondamentale $2M_r \times L \times F = Q_r^2 = Q_0^2 (1-r)$ en artillerie montre que pour une balistique intérieure de munition caractérisée par Q_0 , l'effort instantané de recul F sera d'autant plus faible que :

- le canon sera doté d'un frein de bouche de rendement élevé,
- la longueur de recul sera plus grande¹⁸²,
- la masse reculante sera plus importante¹⁸³.

Pour mémoire, il y a lieu de rappeler que l'effort instantané de recul peut également être diminué en ne déclenchant la mise à feu qu'après lancement vers l'avant de l'ensemble mobile¹⁸⁴. Cette disposition favorisant l'allégement des affûts a été adoptée avant la Première Guerre mondiale par le lieutenant-colonel Deport¹⁸⁵ dans la conception du canon

¹⁸¹ $Q_0 = m V_0 + m_p V_p$ expression dans laquelle m_0 et m_p représentent la masse du projectile et la masse des gaz de poudre, V_0 la vitesse initiale du projectile et V_p la vitesse moyenne des gaz au passage du projectile à la bouche. Q_0 est une caractéristique de la balistique intérieure de la bouche intérieure de la bouche à feu et de la munition. $Q_r = Q_0 (1-r)$, est l'expression de la quantité de mouvement en recul « libre » dans laquelle r représente le rendement énergétique du frein de bouche ($r = 0$ pour une bouche à feu non munie de frein de bouche ; dans ce cas $Q_r = Q_0$).

¹⁸² L'augmentation de la longueur de recul peut toutefois avoir des inconvénients – voir paragraphe 2 de la présente annexe – en ce qui concerne le comportement « dynamique » au tir des matériels montés sur châssis suspendus (engins blindés de combat, automoteurs d'artillerie).

¹⁸³ En particulier par l'installation des liens élastiques en « traineau reculant », les tiges d'attelage étant fixes : 75 mm Mle 97, obusier de 105 HM2 américain, 105 mm léger de campagne français conçu à l'initiative de l'ABS au milieu des années 1960. C'est le cas également des matériels d'artillerie lourde à double recul (lien élastique de masse oscillante et lien élastique d'affût) : canons allemands de la Seconde Guerre mondiale de 17 cm et 21 cm, canon français de 175 mm du milieu des années 50.

¹⁸⁴ Le principe du lancer vers l'avant figure dans un brevet Haussner, ingénieur allemand connu surtout pour son autre brevet sur le principe du lien élastique d'artillerie à long recul. La quantité de mouvement de recul $Q_0 (1-r)^{1/2}$ résultant du tir de la munition, lorsque la mise à feu est déclenchée canon en position statique, devient $Q_0 (1-r)^{1/2} - M_r V_a$ pour un matériel conçu avec lancer vers l'avant, V_a représentant la vitesse acquise par l'ensemble mobile au moment du déclenchement de la mise à feu.

¹⁸⁵ Le lieutenant-colonel Deport a été le premier en France, en 1892, alors qu'il était directeur de l'APX avec le grade de chef d'escadron, à croire à la possibilité d'application du brevet Haussner

de 65 mm Mle 1906 de montagne. Ce principe est utilisé dans les armes automatiques (tir dit « flottant » à partir du deuxième coup de la rafale).

On peut reprocher à ce système deux inconvénients, à savoir l'incertitude sur l'angle réel de pointage en hauteur au moment de la mise à feu (le matériel étant sollicité par la réaction du lancer vers l'avant et surtout la nécessité de ramener l'ensemble mobile à sa position initiale d'accrochage en cas de raté de mise de feu alors que cet ensemble mobile est soumis à une poussée vers l'avant de la part du récupérateur.

Les Américains, au cours des années 1970, ont repris cette idée du lancer vers l'avant, sous forme plus complexe¹⁸⁶, pour la conception d'obusiers tractés légers, en particulier de 155 mm, destinés aux unités des *Marines*.

Ces études n'ont donné lieu, semble-t-il, qu'à des réalisations de prototypes. On peut toutefois imaginer que dans une conception simple du lancer vers l'avant l'inconvénient grave lié aux conséquences des ratés de mise de feu sur le canon de 65 mm de montagne pourrait être, de nos jours, notablement réduit avec des matériels modernes de campagne disposant d'une source d'énergie autonome.

Montages d'artillerie sur véhicules

En dehors de l'application du principe fondamental précité à la conception des liens élastiques et au dimensionnement des structures soumises à l'effort de recul, se pose le problème du comportement « dynamique » au tir des véhicules blindés de combat et des automoteurs d'artillerie pour lesquels l'armement est installé sur châssis « suspendu »¹⁸⁷.

L'opinion erronée – mais assez souvent répandue – est, qu'à partir d'un concept de base dimensionné pour supporter un effort de recul déterminé, on peut également installer sur le même véhicule (lorsque la capacité d'encombrement le permet) des artilleries plus puissantes en agissant de telle sorte que l'effort de recul reste inchangé¹⁸⁸.

Il s'agit, en fait, d'une condition nécessaire, au sens des lois de la statique (résistance des éléments soumis à la réaction de tir) mais non suffisante au sens des lois de la dynamique qui font intervenir le temps d'application de la sollicitation. Il en est ainsi du mouvement de rotation de l'ensemble suspendu du véhicule autour de son centre de gravité dont les caractéristiques (accélération de rotation, amplitude...) ont une incidence sur les conditions d'utilisation du matériel¹⁸⁹.

sur le lien élastique à long recul. Ses travaux seront poursuivis par Sainte-Claire-Deville et Rimailho.

¹⁸⁶ Concept dénommé par les Américains *smooth recoil* (recul doux) comportant des dispositions d'adaptation du lancer vers l'avant aux conditions de tir (charge propulsive utilisée ...). Les experts américains venus exposer à la DTAT leur nouvelle définition d'artillerie *smooth recoil* semblaient ignorer l'antériorité du concept de canon de 65 mm Mle 1906 de montagne Deport dont un exemplaire figure au musée d'artillerie de Bourges.

¹⁸⁷ Pour les matériels ancrés au sol, tels que les matériels tractés d'artillerie de campagne, le problème du comportement dynamique au tir se limite à une comparaison (en se référant au point d'ancrage) entre le couple « déstabilisant » induit par l'effort de recul appliqué au centre de gravité de la masse reculante et le couple « stabilisant » induit par le poids du matériel appliqué au centre de gravité général. Pour ces matériels « ancrés au sol » les mesures favorisant la stabilité sont :

- long recul et abaissement de la ligne de feu pour le tir à faible élévation,
- longueur appropriée des flèches.

¹⁸⁸ En se référant au principe fondamental précité (paragraphe 1), l'effort de recul peut rester constant en cas d'accroissement de la puissance balistique de la munition, en augmentant le rendement du frein de bouche ou la masse reculante ou la longueur de recul (ou par combinaison de ces actions).

¹⁸⁹ En particulier :

- conséquences ergonomiques pour le personnel à bord,

Une étude simplifiée de ce mouvement montre en particulier qu'en fin de recul du canon, l'amplitude θ de rotation de l'ensemble suspendu a une valeur voisine de $\frac{Fxd}{2I} \times T^2$, expression dans laquelle :

$F \times d$ représente le couple rapporté au centre de gravité G_0 de l'ensemble suspendu, résultant de l'effort de recul F appliqué au centre de gravité G_1 de la masse reculante,

I représente le moment d'inertie central de l'ensemble suspendu suivant un axe perpendiculaire en G_0 au plan ($G_0 G_1, F$),

T représente la durée du recul.

En première approximation¹⁹⁰ cette valeur de θ peut s'écrire :

$$\theta = \frac{Mr \times L \times d}{I} = \frac{Q_0^2 (1-r)d}{2I \times F}$$

Ainsi, on peut estimer que l'amplitude de rotation de l'ensemble suspendu en fin de recul (à effort de recul constant) croît comme le carré de l'impulsion de recul $Q_0 (1-r)^{1/2}$ indépendamment des valeurs individuelles de la masse reculante Mr et de la longueur de recul L .

Ces considérations ont pu être mises en lumière dans le cas de deux installations d'artilleries effectuées dans les années 1950 dans le cadre d'études de modernisation (pour des besoins étrangers) de chars américains Sherman :

- Montage en tourelle d'un canon de 105 mm de char tirant l'obus OCC F1 sous $V_0 = 915 \text{ m/s}$ ¹⁹¹
- Montage à ciel ouvert de la masse pivotante de l'obusier de campagne de 155 mm Mle 50.

Les caractéristiques de ces artilleries étaient les suivantes :

Armement	$Q_r = Q_0 (1-r)^{1/2}$ ¹⁹²	Mr kg	L m	F Newton	$\frac{Q_0^2 (1-r)}{F} = 2MrL$
Canon de 105 mm	12 000	1 175	0,40	15 300	940
Obusier de 155 mm	34 500	2 700	1,40	15 800	7 560

Les efforts de recul F sont très voisins pour les deux types d'artillerie alors que le groupement $\frac{Q_0^2 (1-r)}{F}$ caractéristique de l'amplitude d'oscillation¹⁹³ de l'ensemble suspendu

varie dans le rapport de 1 à 8. Des dispositions particulières (cales à l'arrière des chenilles) ont été nécessaires pour permettre le service de pièce de l'obusier de 155 mm à bord du châssis.

-
- conditions d'emploi d'équipements de tir liés à l'ensemble suspendu (observation à la lunette des traceurs des projectiles tirés),
 - conditions de stockage dans l'ensemble suspendu.

¹⁹⁰ Dans le cas de tirs à l'horizontale (d maximum) et en supposant le recul sans frottements.

¹⁹¹ Voir tableau annexe II.

¹⁹² Valeurs figurant au tableau de l'annexe II.

¹⁹³ Les valeurs de I et de d figurant dans l'expression de θ sont supposées peu différentes entre les deux variantes d'armement.

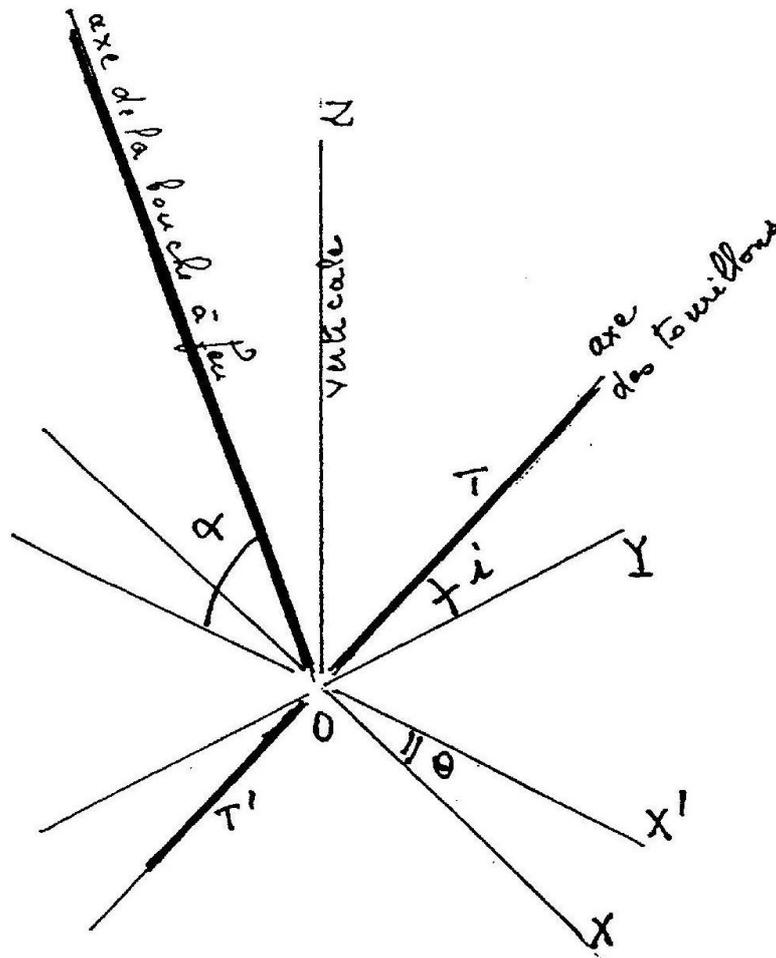
Pour les automoteurs modernes d'artillerie lourde de campagne, la recherche de la puissance balistique maximale compatible (au sens des réactions au tir) avec les châssis de véhicules existants a conduit :

- soit à doter le châssis de bèches arrière d'ancrage (automoteurs américains de 175 mm et 203 mm, auto-mouvant français de 155 mm F3),
- soit à mettre en place sur le châssis un dispositif de blocage de suspension pour le tir.

On en revient alors, en ce qui concerne le comportement au tir du véhicule, à des conditions voisines de celle d'une artillerie montée sur affût rigide.

ANNEXE IV

Correction d'inclinaison de l'axe des tourillons



XOY plan horizontal

OZ verticale

XOZ plan vertical contenant la direction du but

OY Perpendiculaire au plan XOZ

T'T axe des tourillons

i angle d'inclinaison de l'axe des tourillons par rapport au plan horizontal

α angle de pointage en hauteur de la bouche à feu compté dans le plan de tir (plan vertical ZOX', OX' étant la trace de ce plan sur le plan horizontal XOY)

Θ écart angulaire, provenant de l'inclinaison de l'axe des tourillons, entre le plan de tir ZOX' et le plan vertical contenant la direction du but ZOX

Relation entre i , α et Θ :

$$\sin \Theta = \operatorname{tg} i \times \operatorname{tg} \alpha$$

- l'angle Θ de correction d'inclinaison de l'axe des tourillons croît avec i et α
- pour des valeurs simultanément faibles de i et α , Θ est du second ordre (cas des tirs de chars à la PUC sur des terrains présentant peu de devers)
- Θ devient important pour des valeurs de α élevées si i n'est pas négligeable (cas de l'artillerie de campagne, en particulier des obusiers à tir vertical)

ANNEXE V

Considérations techniques relatives au tir des véhicules de combat

Portée utile de combat (PUC)

La portée utile de combat déduite de la table de tir (flèche de trajectoire inférieure à 1,80 m) est liée aux caractéristiques balistiques du projectile. Elle est d'autant plus grande que :

- la vitesse initiale est plus élevée,
- la perte de vitesse sur trajectoire est plus faible, cette perte de vitesse dépendant à la fois du coefficient balistique du projectile (forme, maître-couple, masse)¹⁹⁴ et de la présence ou non d'une propulsion additionnelle sur trajectoire¹⁹⁵.

Pour les projectiles sans propulsion additionnelle, la PUC a une valeur en mètres un peu supérieure au nombre caractérisant la vitesse initiale (en m/s), le facteur de majoration étant de l'ordre de 10 %. La durée de trajet du projectile pour cette distance d'intervention est de l'ordre de 1,2 s.

Tir à l'arrêt sur but mobile¹⁹⁶

Véhicule sans télémétrie ni tachymétrie

Le véhicule n'est doté que d'une lunette de tir classique (graduation de hausses déduites des tables de tir) et la probabilité d'atteinte sur cible fixe (2,3 m x 2,3 m) est supposée être de l'ordre de 50 % au tir à la portée utile de combat.

La « correction-but » sur cible mobile en défilement (2,30 m x 4,60 m) dépend à la fois de la distance de cette cible et de sa vitesse de déplacement ; pour une distance de cible égale à la PUC, la visée sur le point matériel le plus en avant du châssis dans le sens du déplacement ne permet d'espérer une probabilité d'atteinte de l'ordre de 0,5 au premier

¹⁹⁴ Dans la famille des projectiles à énergie cinétique, avantage aux projectiles à noyau lourd sous calibrés dépotables par rapport aux boulets perforants plein calibre en acier.

¹⁹⁵ L'influence de la propulsion additionnelle sur la PUC est très sensible. Ainsi, pour l'armement de 105 mm de l'ECA – canon (préfiguration des AMX-10 C et RC), deux munitions (MECA) à projectile empenné à charge creuse étaient en étude en 1968 :

- l'une (MECA/EFAB) sans propulsion additionnelle ; masse du projectile : 4,6 Kg V_0 : 1 100 m/s PUC ~ 1 175 m
- l'autre (MECA/APX) avec propulsion additionnelle ; masse de projectile : 6,5 Kg V_0 : 1 000 m/s PUC ~ 1 500 m

Dans ce cas, la propulsion additionnelle procure une augmentation de la PUC de l'ordre de 30 % alors que la vitesse initiale a été réduite de 10 %. Mais la propulsion additionnelle introduit un paramètre supplémentaire de dispersion du tir, qui, s'il n'est pas convenablement maîtrisé conduit à une diminution sensible de la probabilité d'atteinte. La propulsion additionnelle, sans association au guidage n'a pas jusqu'à présent été introduite dans les munitions de char.

¹⁹⁶ Il n'est tenu compte, dans ce qui suit, que du déplacement du but « en défilement », la variation de distance du but « en rapprochement ou éloignement » étant négligeable – au sens de la probabilité d'atteinte – pendant la durée de la séquence de tir (laps de temps depuis l'acquisition de la cible jusqu'au déclenchement du feu).

Dimensions des cibles (selon spécification OTAN) :

- cible fixe = 2,30 m x 2,30 m
- cible mobile en défilement : 2,30 m x 4,60 m.

coup tiré que pour des vitesses de défilement inférieures à 10 km/heure environ¹⁹⁷. Pour des vitesses de défilement supérieures, l'imprécision dans les conditions de pointage en avant de la cible, découlant de la seule estimation visuelle du déplacement du but entraîne un niveau de probabilité d'atteinte très faible au premier coup tiré.

Véhicules disposant d'une conduite de tir avec élaboration du but futur par ordinateur

La télémétrie permet non seulement d'afficher la hausse mais également d'introduire la durée de trajet du projectile dans le calculateur. Cette durée de trajet associée à la mesure de la vitesse de défilement de la cible permet l'élaboration par le calculateur de la direction de pointage sur le but futur, le niveau de probabilité d'atteinte au premier coup tiré étant d'autant plus élevé que la mesure de la vitesse de défilement est plus précise et que la durée de trajet du projectile est plus brève. Ainsi, pour l'AMX-10 RC dont les caractéristiques militaires exigeaient une probabilité d'atteinte au premier coup tiré au moins égale à 0,5 à 2 000 m sur une cible standard de 2,3 m x 4,6 m défilant à 10 m/s, on a comparé les performances à atteindre avec deux options de tachymétries et deux options de projectiles :

- Tachymétrie : caractérisée par une erreur sur la vitesse angulaire de défilement de la cible de 0,5 millièmes/seconde (tachymétrie A) ou de 1 millième/seconde (tachymétrie B)¹⁹⁸.
- Projectile I¹⁹⁹ = vitesse initiale 1 100 m/s, durée de trajet à 2 000 m = 2,5 s.
- Projectile II = vitesse initiale 1 500 à 1 600 m/s, durée de trajet à 2 000 m = 1,5 s.

Le tableau ci-dessous précise les caractéristiques des couples « tachymétrie-projectile ».

Tachymétrie	Projectile	Erreur sur la vitesse-but	Erreur sur la position du but futur (x = 2 000 m)	
			mètres	% longueur cible
A	I	1 m/s	2,5 m	0,54
	II	1 m/s	1,5 m	0,33
B	I	2 m/s	5 m	1,10
	II	2 m/s	3 m	0,65

Il en résulte que :

- Pour le projectile I, il est nécessaire de disposer d'une tachymétrie précise – tachymétrie A – pour obtenir une efficacité satisfaisante (PH > 0,5) à 2 000 m. Une

¹⁹⁷ Même pour une distance d'intervention de l'ordre de la moitié de la PUC, la probabilité d'atteinte de 0,5 n'est acquise avec la même méthode de tir que pour des vitesses de défilement inférieures à 21 km/h environ.

¹⁹⁸ La précision de la tachymétrie dépend à la fois de la sensibilité des dispositifs de pointage et de la qualité du tireur qui doit suivre à la lunette le même point de repère sur la cible mobile (intérêt de l'entraînement sur simulateur).

¹⁹⁹ Les caractéristiques du projectile I sont celles de l'obus à CC empenné de 105 mm de l'AMX-10 RC (munition de première génération) ; celles du projectile II correspondent à une référence d'obus sous calibre flèche qui n'en était qu'au stade des études de principe à l'époque du lancement du programme AMX-10 RC (munition de deuxième génération). Dans les calculs de probabilité d'atteinte les deux projectiles ont été considérés comme ayant des caractéristiques de dispersion (écarts types) équivalentes.

tachymétrie moins précise – tachymétrie B – ne permet pas une meilleure probabilité d'atteinte qu'un affichage direct au calculateur de la vitesse estimée de défilement du but si cette estimation est faite à plus ou moins 7 km/h de la vitesse réelle.

- Pour le projectile II, la probabilité d'atteinte est supérieure à celle correspondant au projectile I, pour chaque type de tachymétrie ; avec la tachymétrie B, la moins performante, on peut même envisager des probabilités d'atteinte de l'ordre de 50 % au premier coup tiré à 1 700/1 800 m, ce qui confirme l'intérêt des projectiles à hypervélocité pour les véhicules de combat modernes.

ANNEXE VI

Équipements de conduite de tir pour canons de véhicules blindés-téléscopes et correcteurs – développés par le Service optique de l'APX entre 1950 et 1960

Téléscopes

1950-1956 :

- téléscope optique (base 1,70 m) pour canon d'assaut à canon de 120 (montage en superstructure),
- téléscope optique (base 1 m) pour char AMX-50 à canon de 120 (montage dans le tourelleau de chef de char),
- téléscope optique (base 2,10 m) pour char AMX-50 à canon de 120 (montage en tourelle).

Correcteurs tachymétriques

(Mesure de la vitesse de défilement de la cible)

1952 :

Correcteur tachymétrique de Genouillac²⁰⁰ intégré dans une lunette de tir (APX L 88) montée pour expérimentation sur char Sherman (essais satisfaisants 1952).

1953-1954 :

Premières lunettes à correcteur tachymétrique à grille mobile (lunettes L907 et L913). Expérimentation en 1956 et fabrication de 20 lunettes de présérie pour adoption sur EBR. Lunette non adoptée (absence de téléscope associé).

1955-1956 :

Premier correcteur d'inclinaison des tourillons (L922) intégré dans la lunette de tir de l'AMX-13 ; expérimentation sur une tourelle FL 10 montée sur EBR.

Conduites de tir

1954-1956 :

Conduite de tir pour AMX-50 comprenant un téléscope optique (base 2,10 m) et une lunette avec correcteur tachymétrique à grille mobile et affichage automatique des hausses pour les divers types de munitions. Pas de correcteur d'inclinaison des tourillons.

1955-1960 :

Conduite de tir pour AMX-13 (véhicule en service) comprenant :

- un téléscope optique (base 0,70 m) au chef de char,
- une lunette disposant d'un correcteur tachymétrique à grille mobile et d'un correcteur d'inclinaison des tourillons, avec affichage automatique des hausses.

Le montage en tourelle a présenté des difficultés nombreuses dues au peu de place disponible dans l'architecture existante de la tourelle.

1958-1960 :

²⁰⁰ Du nom du lieutenant d'artillerie inventeur de ce principe de correcteur tachymétrique avant 1939.

Première conduite de tir pour AMX-30 avec télémètre optique à coïncidence²⁰¹ au chef de char, affichage automatique des hausses dans la lunette, qui comporte un correcteur tachymétrique à grille et un correcteur manuel d'inclinaison des tourillons.

Le correcteur tachymétrique n'a pas été retenu dans la définition de série (expérimentation STA non concluante, prix élevé).

²⁰¹ L'APX avait laissé ouvert un choix entre deux solutions, d'une part un télémètre stéréoscopique (base 1,60 m), solution retenue par les Américains pour le char M47 et les Allemands pour le char Léopard I et d'autre part un télémètre à coïncidence. L'EMAT a éliminé la première solution pour éviter la formation de spécialistes en stéréoscopie.

ANNEXE VII

Conduite de tir pour AMX-13, tir à la mitrailleuse de réglage

Les études faites par l'APX ont mis en évidence les difficultés de montage et d'utilisation rationnelle d'un télémètre dans la tourelle FL10 adoptée pour le char AMX-13. D'autre part, la perspective à la fin des années 1950 d'une augmentation importante de la puissance de feu (effet terminal) par substitution de l'artillerie de 105 (tourelle FL12) à l'artillerie existante de 75 (tourelle FL10) est accompagnée d'une réduction de la PUC (900 m au lieu de 1 100 m). Le souci de maintenir de bonnes probabilités d'atteinte au-delà de 900 m (si possible jusqu'à 1 500 m) dans le cas d'une éventuelle adoption de la tourelle FL12 conduit l'EMAT et la DTAT à examiner en 1961/1962 la mise en œuvre sur cette tourelle de la méthode de tir dite « à la mitrailleuse de réglage » utilisée par les Britanniques – en particulier sur le char Centurion – qui consiste à tirer en coup par coup à balle traçante à la mitrailleuse pour évaluer la distance de la cible puis à tirer ensuite au canon en affichant la hausse déduite de la transposition des tables de tir.

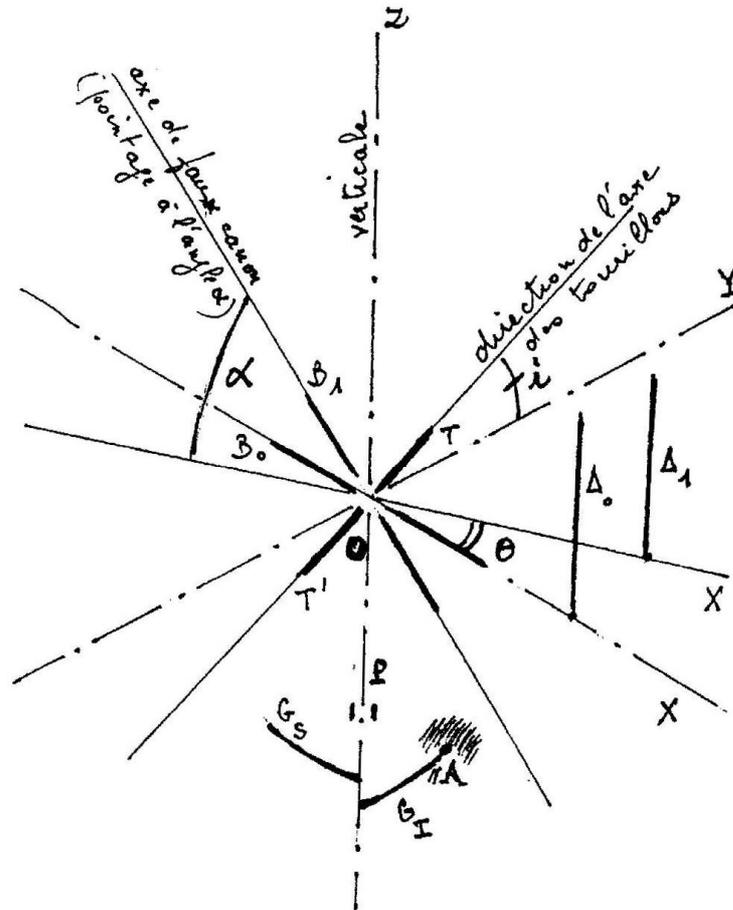
La tourelle FL12 n'ayant pas été adoptée par l'armée de Terre, le même problème s'est reposé en 1966 lors de la rénovation de l'armement des chars AMX-13 avec le canon de 90 mm tirant l'obus empenné à charge creuse ($V_0 = 950$ m/s). L'expérimentation a montré que la fiabilité de l'information sur la distance de la cible, au tir à la mitrailleuse de réglage dépendait :

- de la stabilité et du réglage du support de la mitrailleuse (déplacements en tout terrain, tirs au canon),
- de la qualité de l'arme et surtout de celle des munitions (régularité des V_0).

Le délai d'exécution du tir au canon étant d'autre part augmenté, cette méthode de tir envisagée à l'occasion de la rénovation des AMX-13 n'a pas été retenue (juin 1966).

ANNEXE VIII

Schéma de l'appareil de pointage ABS 1950



O	centre de l'appareil de pointage
OZ	verticale
XOY	plan horizontal
XOZ	plan vertical contenant la direction du but
YOZ	plan vertical contenant l'axe des tourillons
TT	axe des tourillons
i	angle d'inclinaison de l'axe des tourillons par rapport au plan horizontal XOY
α	angle de pointage affiché au niveau du pointage situé dans le plan de tir ZOZ', OX' étant la trace de ce plan sur le plan horizontal XOY
θ	écart angulaire (angle X'OX) provenant de l'axe d'inclinaison des tourillons, entre le plan de tir ZOZ' et le plan vertical contenant la direction du but ZOZ
OB₀, OB₁	Position de l'axe de faux canon OB₀ : pointage à l'horizontale OB₁ : pointage à l'angle
Δ₀ et Δ₁	position de la colonne goniométrique (verticale) correspondant aux positions OB₀ et OB₁ de l'axe de faux canon
Gₛ et G₁	glissières semi circulaires (centre O) de mise à la verticale de la colonne goniométrique. La glissière inférieure G₁ est fixée sur l'affût pivotant en A ; la glissière supérieure Gₛ est montée sur la glissière G₁ et lui est perpendiculaire
P	pivot de l'appareil de pointage sur la glissière Gₛ

Description sommaire

L'appareil de pointage est centré en O sur l'axe des tourillons et il est relié au matériel par un montage à 3 degrés de liberté.

- Une liaison à la masse oscillante par un axe parallèle à l'axe de la bouche à feu dit « axe de faux canon » passant par le centre O. Cet axe (position successive OB_0 , OB_1 du schéma) assure l'entraînement en rotation du niveau de précision pour le pointage en hauteur. Le niveau de précision est monté dans le corps de l'appareil (support du goniomètre) et peut tourner dans ce corps au cours du pointage de la bouche à feu.
- Une liaison à l'affût pivotant par un support à deux glissières semi circulaires orthogonales centrées en O, la glissière inférieure, fixée à l'affût étant située dans un plan contenant l'axe des tourillons. Ce montage à deux degrés de liberté permet le réglage à la verticale de la colonne goniométrique. Le corps de l'appareil de pointage sur lequel est installée cette colonne est lié par pivot à la glissière supérieure de réglage ce qui autorise une rotation de ce corps autour de l'axe de ce pivot.

Pointage en hauteur et inclinaison de l'axe des tourillons

Après un réglage à la verticale de la colonne goniométrique, le niveau de pointage de précision se situe dans le plan vertical parallèle de tir (XOZ) et l'axe du pivot du corps de l'appareil de pointage est vertical (OZ).

Si on affiche alors un angle α au niveau du pointage et que l'on agit sur le pointage en hauteur du canon pour ramener la bulle de niveau entre ses repères, l'axe de la bouche à feu et par voie de conséquence l'axe du faux canon se déplacent dans un plan perpendiculaire à l'axe des tourillons ce qui entraîne le corps de l'appareil de pointage à tourner autour de son axe vertical OZ. Lorsque la bulle est entre ses repères, la bouche à feu se trouve pointée à un angle « de tir » (direction OB_1 de l'axe de faux canon) mais dans un plan de tir ($X'OZ$) différent du plan initial (XOZ), le déplacement angulaire Θ^{202} est indiqué par le goniomètre qui est resté vertical (de la position Δ_0 à la position Δ_1) pendant le mouvement de rotation du corps de l'appareil de pointage.

²⁰² La valeur de Θ en fonction de i et α est donnée en annexe IV

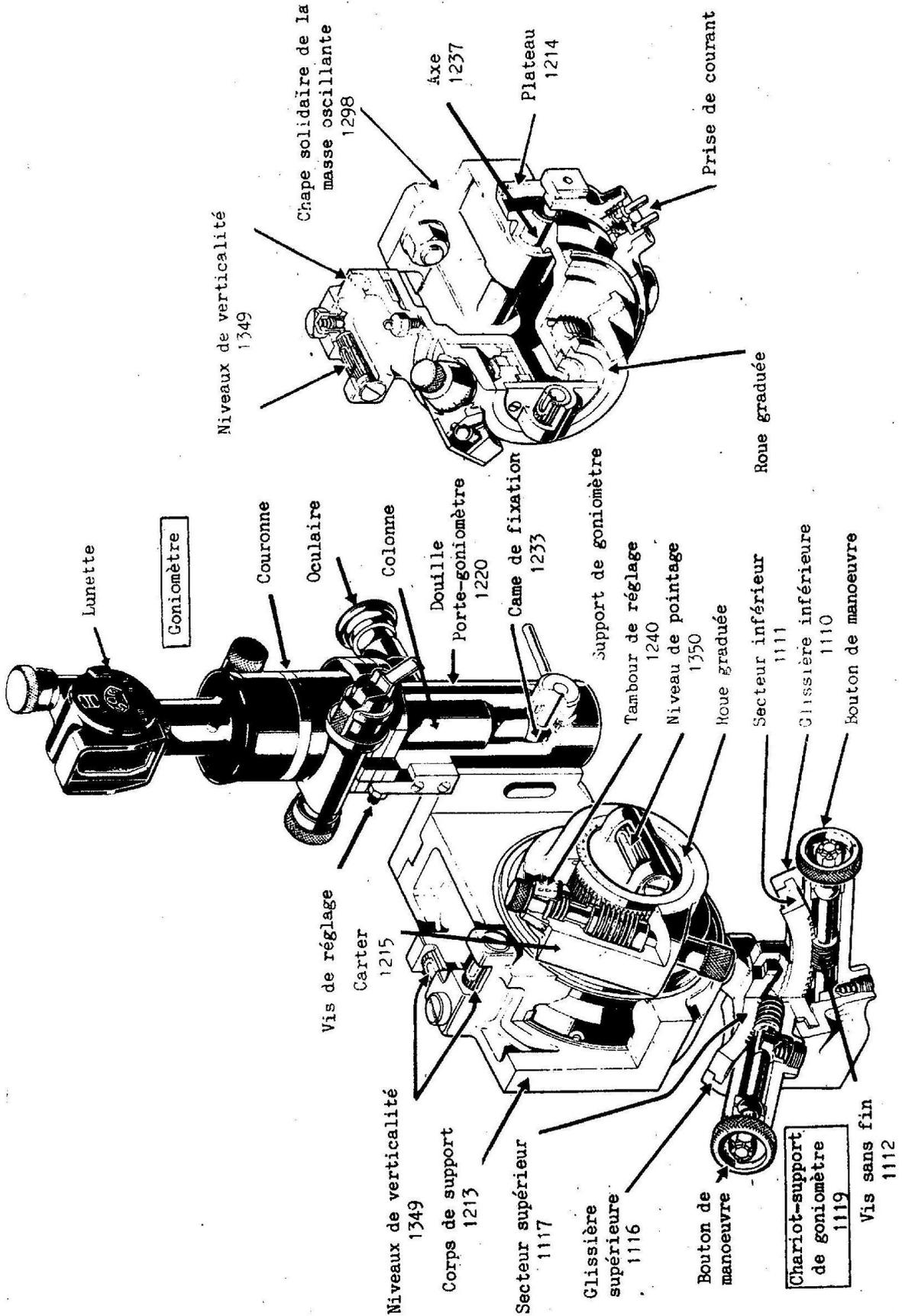


Fig. 2

Appareil de pointage des automoteurs d'artillerie de 105 mm et 155mm

ANNEXE IX

Appareils de pointage des automoteurs d'artillerie de 105 mm et 155 mm montés en tourelle (1955-1960)

Ces appareils de pointage sont conçus pour réduire au strict minimum l'orifice percé dans le toit de la tourelle pour la sortie de la colonne du goniomètre. Ils assurent le maintien à la verticale de cette colonne dans les opérations de pointage du canon (rotation de la tourelle, rotation de la masse oscillante).

Dans ce concept, l'appareil de pointage est placé dans un montage articulé à la cardan dont un des axes reste parallèle à l'axe de la bouche à feu (axe de faux canon) comme c'était le cas pour les supports d'appareils de pointage précédents. La différence réside dans la situation dans l'espace de l'axe de faux canon : dans les montages antérieurs, cet axe se trouvait au niveau des tourillons alors que dans le nouveau montage il se situe près du toit de la tourelle ce qui nécessite une liaison entre tourillons et axe de faux canon assurant avec le minimum d'erreur le report très précis des déplacements angulaires de la bouche à feu pendant les opérations de pointage en hauteur – parallélogramme déformable pour l'obusier de 105 mm en tourelle sur châssis AMX-13 tonnes, courroie métallique sans glissement pour l'obusier de 155 mm en tourelle sur châssis Batignolles.

La seconde particularité du nouveau concept concerne les dispositifs de réglage de verticalité. Comme dans les appareils précédents, le réglage s'obtient par deux mouvements qui passent par le centre de l'articulation à la Cardan, mais alors que dans les concepts antérieurs, ce réglage de verticalité s'opérait par deux mouvements plans orthogonaux, il s'obtient dans le cas présent, par la combinaison :

- d'un mouvement conique (sommet du cône au centre de l'articulation à la cardan et axe du cône parallèle à l'axe de tourelle) qui permet de placer l'appareil de pointage dans un plan vertical,
- d'un mouvement circulaire situé dans un plan passant par l'axe du cône et dont le centre est le centre de l'articulation à la cardan, ce mouvement permettant la mise à la verticale de la colonne goniométrique.

L'axe du mouvement conique de réglage de la colonne goniométrique étant parallèle à l'axe de la tourelle, l'installation d'une chaîne cinématique reliant la couronne dentée de la tourelle à une autre couronne dentée centrée sur la base du mouvement conique permet de maintenir la colonne goniométrique à la verticale au cours du pointage en direction de la tourelle, la démultiplication de la chaîne cinématique étant calculée à partir des diamètres des deux couronnes dentées de manière à assurer la « contre-rotation » angulaire souhaitée.

ANNEXE X

Conditions d'utilisation des obusiers de 105 et 155 de première génération en tir direct et commentaires

L'organisation du tir direct prévoit l'intervention de deux servants : le pointeur pour la visée (à gauche du matériel) agissant sur les volants de pointage, l'œil à l'oculaire de la lunette, le tireur pour la mise à feu par cordon tire-feu (à droite du matériel) agissant à l'annonce « prêt » du pointeur. Cette organisation a conduit à des défauts de justesse constatés sur les obusiers de 105-50 automoteurs qui ont fait l'objet d'une enquête menée par la STA en 1967. Cette enquête a conduit aux recommandations suivantes.

« A l'annonce « prêt » du pointeur, la mise de feu est effectuée par le tireur. L'action sur le cordon tire-feu doit être progressive. Le fait de tirer d'un coup sec sur le cordon tire feu risque de déplacer le tube, en direction d'une valeur non négligeable ».

Cette recommandation est valable pour les obusiers de 105 Mle 50 parce que, sur ces matériels, la mise à feu ne dépend que de l'énergie cinétique du bloc de percussion, lequel est armé dans la première partie du mouvement de traction du cordon tire feu puis brusquement libéré (détente) ; la mise à feu est donc indépendante, au sens énergétique, des conditions d'action du tireur mais il n'est pas de même sur les obusiers de 155 Mle 50 où la percussion de l'étoupille est provoquée par l'énergie cinétique du marteau de la mise de feu type Schneider laquelle est directement dépendante des conditions d'action du tireur sur le cordon tire feu. On ne peut alors s'en remettre qu'à l'inertie de la masse pivotante pour obtenir une justesse satisfaisante du tir direct.

A titre de comparaison, il y a lieu de rappeler que les très bons canons AC allemands de la fin de la guerre (8,8 cm PAK) comportaient :

- une munition à amorce électrique,
- une mise de feu par magnéto « coup de poing » de faible course située au centre d'un des deux volants de pointage à la disposition du « pointeur-tireur » (organisation du tir avec un seul servant comme dans les véhicules blindés).

PARTIE II

LES DÉVELOPPEMENTS ET RÉALISATIONS INDUSTRIELLES

CHAPITRE 4

PREMIÈRES ÉTUDES DEMANDÉES PAR LE GOUVERNEMENT PROVISOIRE EN OCTOBRE 1944²⁰³

« Le chef du Gouvernement provisoire a demandé que soit reprise d'urgence une fabrication d'engins blindés ».

Ainsi s'exprime le ministre de la Guerre dans la DM n°29 EMGG/ET du 9 octobre 1944 adressée au ministre de la Production – Service des usines mécaniques de l'État. De manière plus explicite, cette DM comporte deux décisions :

- l'une est relative à la fabrication de 150 automitrailleuses de découverte AMD 178 Panhard, ces automitrailleuses étant considérées comme les seules, parmi les véhicules blindés français de 1939/1940, pouvant encore rendre des services dans certaines circonstances. Pour cette série de nouvelles AMD la puissance de feu de l'armement principal serait augmentée en substituant au canon de 25 mm d'origine, le canon de 47 mm SA 35 qui équipait avant guerre les automitrailleuses de combat AMC Renault 1935 ainsi que les chars Somua, les chars B1 et les chars D2 Renault²⁰⁴ ;
- l'autre concerne le lancement en fabrication d'un nouveau char destiné à servir de « matériel de transition » en attendant que l'établissement d'un programme de spécifications permette d'orienter l'activité des bureaux d'études pour la réalisation des matériels blindés futurs de l'Armée.

Cette DM précise que :

« Pour pouvoir aboutir à une réalisation rapide les nouveaux matériels doivent partir d'éléments connus sans nécessiter d'autres études que celles d'un assemblage d'éléments existants ou de pièces dont l'outillage de fabrication permet d'escompter une fabrication rapide et sans aléas ».

La fabrication des AMD 178 nécessite le recensement, en particulier à l'ATS, des éléments constitutifs relatifs aussi bien au véhicule qu'à son armement (canons de 47 mm et ébauchés).

Le lancement de l'opération « char de transition » part de l'idée que « l'existence d'un moteur Talbot de 400 CV devrait permettre la réalisation d'un matériel de 35 tonnes environ armé d'un canon de 75 mm puissant et possédant un blindage équivalent à celui du char Sherman ».

CANON DE 75 MM SA 45 DE L'AMD 178 PANHARD (OCTOBRE 1944 – NOVEMBRE 1945)

La DEFA propose une augmentation encore plus importante de la puissance de feu de l'AMD 178 Panhard en installant, à la place du canon de 47 mm SA 35, un canon de

²⁰³ Par l'IGA Marest

²⁰⁴ Les AMC Renault 1935 sont, comme les chars Somua, B1 et D2, des véhicules chenillés alors que les AMD 178 Panhard sont des véhicules à quatre roues ; d'autre part les AMD 178 ont une masse inférieure à 8 tonnes alors que la masse des AMC Renault est de 16 tonnes et celle des chars Somua, B1 et D2 comprise entre 18 et 28 tonnes.

75 mm conçu sous l'occupation par le bureau d'études clandestin du Laboratoire des industries mécaniques à Montauban (bureau d'études dirigé par l'Ingénieur en chef Lafargue).

Il s'agit d'une artillerie organisée pour le tir semi-automatique dont la bouche à feu permet l'utilisation des munitions du canon de 75 mm Mle 97 cartouche à obus de rupture et cartouche à obus explosif²⁰⁵ – mais avec un tube raccourci de 0,30 m réduisant de 15 m/s la vitesse initiale par rapport au 75/97.

L'Ingénieur en chef Lafargue, chef du Bureau artillerie du Service technique de la DEFA, estime que cet armement ne présente pas d'incertitudes et propose à l'EMAT d'entreprendre la fabrication sans réalisation préalable de prototypes (note ST/ART du 8 mars 1945) les délais de fabrication étant « estimés » (probablement de manière optimiste) à 10 mois environ.

Le 22 mai 1945 l'EMAT/ARMET retient le canon de 75 mm à V_0 550 m/s comme armement des nouvelles AMD Panhard 178 et demande le lancement de 150 artilleries et tourelles correspondantes, le canon étant désigné sous l'appellation 75 SA 45 (décision du 20 juin 1945).

La commande de production est notifiée à l'ABS le 31 juillet 1945 les fabrications étant réparties entre cet établissement et l'AHE, mais l'EMAT décide le 10 novembre 1945 d'annuler cette commande en proposant toutefois au Service technique de réaliser un prototype de tourelle complète. Le bureau Auto-chars du Service technique ne comptant tirer aucun enseignement de cette réalisation pour les programmes futurs²⁰⁶ cette artillerie pour véhicule blindé léger étudiée dans la clandestinité restera à l'état de dossier de définition. La fabrication des nouvelles AMD 178 sera menée à bien mais avec un armement principal en canons de 47 mm SA 35.

ARMEMENT PRINCIPAL DU CHAR DE TRANSITION ARL 44 (PÉRIODE 1944-1954)

La genèse de ce char, dont le dossier technique avait été établi sous l'occupation²⁰⁷ et dont la fabrication devait, à l'origine, être réalisée rapidement pour en doter les unités françaises avant la fin de la guerre, est traitée dans le tome 6 « Véhicules blindés et tactiques ».

En ce qui concerne l'armement principal, il était évident que, compte tenu des progrès importants réalisés pendant la guerre dans le domaine de l'artillerie des véhicules blindés, il n'était pas possible de trouver un canon de char ou antichar français existant – c'est-à-dire datant de 1939/1940 – ayant la puissance de feu adéquate pour un char de plus de 40 tonnes : le canon de 47 mm qui était excellent en 1939 n'était en rien comparable aux canons allemands de 7,5 cm de char Panther (45 tonnes) et de 8,8 cm du char Tigre (56 tonnes). Les seuls canons à balistique puissante d'un calibre au moins égal à 75 mm produits en France dans la période 1930/1940 étaient des canons de DCA : le canon de 75 cm CA 32 et le canon de 90 mm CA 39. C'est vers ces solutions que s'était orienté

²⁰⁵ Obus de rupture de 75 mm Mle 1940 avec coiffe et fausse ogive ; obus explosif Mle 1934.

²⁰⁶ En ce qui concerne l'armement principal, la référence balistique au canon de 75 mle 97 sera conservée (sans réduction de longueur du tube) pour le canon de 75 SA 49 qui équipera l'EBR Panhard.

²⁰⁷ Etude faite dans la clandestinité par des personnels du bureau d'études de l'Atelier de construction de Rueil (ARL) sous l'égide de l'Ingénieur en chef Lavirotte et de l'Ingénieur principal Devenne.

l'Ingénieur principal Devenne²⁰⁸ moyennant une adaptation à un montage en tourelle ; en effet, ces canons avaient été conçus pour être montés sur des affûts terrestres, ce qui ne permettait pas un transfert sur char des masses oscillantes, sans modification. D'autre part, ils n'étaient pas dotés des munitions perforantes indispensables pour le combat de mêlée.

Les modifications à apporter aux artileries furent confiées aux industriels chargés des études de tourelles, à savoir :

- Les Chantiers de la Loire (usine de Saint-Denis) pour l'armement de 75 mm,
- Schneider pour l'armement de 90 mm.

C'est sur ces bases que l'état-major général Guerre (EMGG/ARMET) prescrit le 25 novembre 1944, la réalisation de 500 chars dits « de transition » armés d'une bouche à feu dérivée du matériel de 75 CA 32²⁰⁹, cette commande étant réduite à 200 chars dès le 28 décembre 1944 en attendant (pour les 300 autres chars) d'en connaître davantage sur l'adaptation d'un canon plus puissant de 90 mm :

- soit dérivé du matériel de 90 mm CA 39 à 840 m/s,
- soit doté d'une bouche à feu nouvelle à 1 000 m/s en étude aux Ets Schneider, dont les caractéristiques balistiques devraient permettre d'atteindre un pouvoir perforant voisin de celui du canon de 8,8 cm du char Tigre.

Canon de 75 mm SA 44 dérivé du canon de 75 CA 32

Ce canon dénommé 75 SA 44 a les dispositions intérieures – longueur du tube, chambre, rayage – du canon de 75 CA 32²¹⁰. C'est en fait à peu près tout ce qui reste d'important du canon d'origine ; ainsi la culasse du nouveau canon est calquée sur celle des bouches à feu de 75 mm de tourelle et de casemate d'avant-guerre²¹¹ – matériels réalisés à l'époque par les Chantiers de la Loire – dont les tracés ont été conservés sous l'occupation ; le lien élastique nouveau dispose en particulier d'un récupérateur à ressorts ; l'ensemble bouche à feu/liens élastiques est monté dans un berceau nouveau en acier moulé. La munition perforante nouvelle comporte un boulet de rupture de 75 mm réalisé à partir du projectile KM de Firminy de 1940²¹² de 6,4 kg adapté aux conditions de tir du nouveau canon (modification des ceintures). Ce nouveau projectile perforant, dit Mle 1944, est tiré à 715 m/s. La munition explosive retenue est celle du canon de 75 Mle 28 avec obus modifié pour permettre le montage de la fusée RYG et de sa gaine ; ce projectile au poids de 6,440 kg est tiré à 700 m/s.

²⁰⁸ L'utilisation de canons puissants de DCA comme armement de char pour des besoins urgents a été pratiquée pendant la guerre :

- par les Allemands, en 1942, pour la première génération d'armement du char Tigre : le canon de 8,8 cm KWK36 était une arme de DCA testée pendant la guerre d'Espagne,
- par les Américains en 1944, pour tenter de faire face aux chars Panther et Tigre ; les derniers Tanks destroyers et le char moyen Pershing furent alors équipés du canon de 90 mm Gun de DCA « version char » tirant un boulet perforant de 12,8 kg à 800 m/s.

²⁰⁹ La réalisation préalable d'un prototype pour expérimentation et mise au point n'est pas prévue afin de réduire les délais. La DM précise d'autre part que les chars devront être livrés à la cadence de 50 à 70 matériels par mois, ce qui semble peu réaliste compte tenu de l'état de l'industrie en France à la fin 1944.

²¹⁰ Dispositions intérieures identiques à celles du canon de 75 mm Mle 28 de l'APX ; voir en annexe I, les caractéristiques techniques du canon de 75 SA 44 et de ses munitions.

²¹¹ Bouches à feu de 75 Mle 33 pour masse oscillante double en tourelle : bouches à feu de 75 Mle 32 et 75 Mle 33 de casemate.

²¹² Le tracé de ce projectile ayant été retrouvé par l'Ingénieur en chef Lafargue.

L'ensemble de ces détails techniques permet de se rendre compte de l'importance des modifications nécessaires pour rendre un armement existant de DCA (arme + munitions) apte à une utilisation dans des conditions satisfaisantes sur un véhicule blindé.

Cette artillerie de 75 SA 44 ne constituait qu'un armement de première génération pour le char ARL. Elle était un peu plus puissante que celle des chars Sherman à canon de 75 (obus perforant de 6,4 kg à 600 m/s), ces chars étant de l'aveu même des Américains considérés comme *outgunned* par référence à leur masse totale ; A distance de 1 000 m le boulet perforant du 75 SA 44 ne perce que 80 mm de blindage alors que le projectile de même espèce (boulet plein calibre) du canon de 75 mm du char Panther perce à la même distance 130 mm.

L'Ingénieur en chef Lafargue envisagea, à la fin 1944, de substituer à cette artillerie de 75 SA 44, une autre artillerie de 75 mm beaucoup plus puissante, tirant le même projectile perforant à 1 000 m/s (au lieu de 715 m/s pour le canon de 75 SA 44). Il s'agit d'une solution qui se situe au niveau de la puissance de feu de l'artillerie de 75 mm du char allemand Panther et qui nécessite l'utilisation d'un tube plus long (70 calibres), d'une chambre à poudre à plus grande capacité et d'une pression de tir plus élevée²¹³, la nouvelle bouche à feu étant réalisable à partir d'éléments existants ayant échappé à l'ennemi sous l'occupation, ébauchés forgés de tubes, de manchons de culasse...²¹⁴

Cette idée qui préfigure ce que sera, quelques années plus tard, l'armement du char AMX-13 ne sera pas retenue²¹⁵ et on en restera en ce qui concerne le calibre de 75 mm, à la proposition initiale de l'artillerie de 75 SA 44.

La dotation en munitions des 200 chars ARL 44 à canon de 75 mm fit l'objet d'une décision du 17 janvier 1945 de l'EMMG/ARMET passant commande de 200 000 coups à obus de rupture et de 200 000 coups à obus explosif.

Parmi les participants à la réalisation de ces artilleries de 75 SA 44 confiées aux Chantiers de la Loire on peut citer plus particulièrement :

- Les aciéristes Cail, Firminy... responsables des tubes (ébauchés forgés et usinage)²¹⁶,
- La fonderie de Paris Seine pour les berceaux en acier moulé,
- Le Laboratoire d'études d'optique (LEO) à Puteaux pour les appareils de visée.

En ce qui concerne les munitions, la fabrication des boulets perforants est confiée aux aciéries de Firminy et d'Ugine.

Toutes ces fabrications sont perturbées par les difficultés générales de reprise de l'activité industrielle au début de 1945 concernant soit les matières premières (aciers

²¹³ La chambre à poudre est celle du canon de DCA de 90 mm CA 39 raccordée à l'avant au calibre de 75 mm de l'âme rayée du tube. La pression maximum de tir nécessaire pour atteindre la vitesse initiale de 1 000 m/s avec le boulet perforant de 6,4 kg sera au moins de 3 000 kg/cm² au lieu de 2 400 kg/cm² pour le canon de 75 mm SA 44.

²¹⁴ Les éléments de bouche à feu réalisés à partir d'ébauches de forge existants destinés initialement à la fabrication de canons de 90 CA 39 sont capables de supporter une pression de tir de 3 000 kg/cm² (les tubes devant subir une opération d'autofrettage). Le choix de la chambre à poudre du canon de 90 CA 39 permet d'envisager l'emploi des douilles des munitions de ce canon après une opération de retreint au collet pour adaptation aux projectiles de 75 mm.

²¹⁵ Les solutions balistiques au calibre de 75 mm permettent, au mieux, en 1944, de se situer au niveau des performances de l'armement des chars allemands Panther. A cette époque l'équivalent avec l'armement des chars allemands Tigre nécessite de recourir à des solutions balistiques dans des calibres de l'ordre de 90 mm.

²¹⁶ Tubes réalisés sans autofrettage.

spéciaux...) soit les restrictions en énergie électrique (l'usine de Saint-Denis des Chantiers de la Loire ne travaille que trois jours par semaine).

D'autre part la puissance balistique de l'artillerie de 75 SA 44 jugée insuffisante pour un char de plus de 40 tonnes entraîne rapidement une diminution de la commande de chars de transition dotés de cet armement ; de 200 tourelles au 28 décembre 1944 le nombre est réduit à 50 le 23 juin 1945 pour se terminer par deux décisions du 9 février 1946 et du 6 mai 1946 limitant ce programme à l'achèvement de deux tourelles et de 54 bouches à feu avec essais balistiques à Bourges effectués par la STA. Ces essais sur lesquels s'achève la version « armement de 75 » du char de transition eurent lieu en octobre 1947.

Canon de 90 mm SA 45

La note n° 683 EMGG/ARMET du 28 décembre 1944 réserve, pour 300 chars de transition, un choix entre deux canons de 90 mm plus puissants que le 75 SA 44 l'un dérivé du matériel de 90 mm CA 39, l'autre dont la balistique devrait être encore plus poussée pour se situer au niveau de celle du canon de 8,8 cm KWK 43 du char Tigre. Ce second volet de l'alternative correspondait au souhait de l'état-major qui désirait disposer d'un char capable de lutter contre les chars allemands les plus récents mais l'étude de cet armement restait à faire et une telle solution ne respectait pas l'esprit de la DM n°29 EMGG/ET du 9 octobre 1944 (réalisation rapide à partir d'éléments connus ne nécessitant pas d'autres études que celles d'un assemblage d'éléments existants). Au cours d'une réunion EMGG-DEFA les représentants de la Direction technique²¹⁷ avaient d'ailleurs fait connaître qu'une telle orientation ne permettrait pas de respecter les délais demandés.

Les établissements Schneider ayant donné leur accord pour entreprendre cette étude, l'éventualité d'une adaptation du canon de 90 CA 39 est abandonnée et l'étude de la nouvelle artillerie de 90 mm est lancée. Elle sera dénommée 90 SA 45.

Les principales caractéristiques techniques de cette artillerie sont rappelées en annexe II. Le souhait de l'EMGG de disposer d'un armement de char efficace contre les chars allemands modernes de l'époque semble satisfait (sur dossier) : la puissance balistique est voisine de celle du canon de 8,8 cm du char Tigre tout au moins si l'on s'en tient à l'allonge et au pouvoir perforant avec boulet plein calibre ; elle est équivalente à celle du canon de 7,5 cm du char Panther tirant des projectiles sous calibrés à noyau de carbure de tungstène. Mais le montage en tourelle de ce canon très long²¹⁸ présentera certaines difficultés :

- Pour ne pas trop réduire la capacité de franchissement du char, la bouche à feu, en position route est dételée du lien élastique et reculée à l'intérieur de la tourelle ; la remise en ordre de combat est de l'ordre de 10 minutes,
- La masse oscillante présente une importante prépondérance de volée compensée par un équilibreur pour le pointage de l'arme à l'arrêt ; mais le couple d'inertie dû à cette prépondérance en déplacement tout terrain, canon en ordre de tir, doit être supporté par les organes de pointage ; cette architecture sera la source de détériorations au cours des essais (rupture de l'attache de la vis de pointage au berceau).

²¹⁷ DEFA représentée par l'Ingénieur en chef Lhomme, chef du Service technique, l'Ingénieur en chef Lafargue, chef du Bureau artillerie du Service technique (ST/ART), l'Ingénieur en chef Laviotte et l'Ingénieur principal Devenne de l'Atelier de construction de Rueil (ARL) qui eurent les premiers l'idée du char de transition.

²¹⁸ A titre comparatif, le tube est plus long que le tube de 105 mm du char AMX-30 (5,865 m + frein de bouche au lieu de 5,70 m).

D'autre part, la longue inactivité entre 1940 et 1945 dans le domaine de l'artillerie aussi bien au stade de la conception que de la fabrication des éléments spécifiques sera cause d'incidents et de retards. On peut citer en particulier :

les détériorations de mécanismes de culasse dues à une erreur de conception du verrouillage au tir, les risques encourus de déviation du coin de culasse au départ du coup aboutissant à une interdiction d'emploi (1^{er} octobre 1951) sur les premiers chars mis en service au 503^{ème} RCC,

les difficultés rencontrées par Schneider en 1945/1946 dans la production d'ébauchés de tubes de canon de bonne qualité : l'aciérie électrique ne dispose plus que d'un four (basique) sur les quatre fours de fusion fonctionnant en 1940 et il n'est pas possible d'utiliser le procédé Duplex d'avant guerre²¹⁹ pour élaborer les ébauchés ; son activité est limitée par les restrictions sur l'énergie électrique ; les ferrailles utilisées pour la fusion des lingots sont de mauvaises qualités ; les contrôles en laboratoire sont limités par les moyens disponibles²²⁰. La précarité des conditions de travail aboutit à une qualité médiocre des ébauchés (micro inclusions, fissures de trempe ...) qui entraîne une suspension temporaire des fabrications en 1946.

Le nombre d'artilleries destinées au montage en tourelle initialement fixé à 300 (28 novembre 1944) est réduit à 150²²¹ par D.M. n°267 EMA/ARMET du 23 juin 1945, en raison des économies de matières premières imposées au ministère de la Guerre à la suite de l'arrêt des hostilités puis à 60²²² en exécution du plan d'armement de 1946.

En ce qui concerne les munitions, le stock de guerre qui avait été fixé initialement à 150 000 cartouches à boulet perforant et 150 000 cartouches à obus explosif a été réduit de moitié à la suite de la décision du 23 juin 1945 ramenant de 300 à 150 le nombre de chars à fabriquer. La réduction à 60 du nombre de chars a entraîné une nouvelle réduction du stock de guerre de telle sorte qu'en 1952, 30 000 coups seulement (15 000 perforants + 15 000 explosifs) étaient commandés.

La fabrication des artilleries est organisée en impliquant en plus de Schneider, concepteur du matériel, un certain nombre d'établissements de la DEFA et d'autres industriels privés. Ainsi, les six bouches à feu prototypes sont réparties entre l'ARE (deux bouches à feu) et la SAGEM (deux bouches à feu) et les bouches à feu de série sont confiées à parts égales à l'ARE et à l'ATS ; l'APX réalise les refouloirs alors que la MLS participe à l'usinage de pièces détachées de bouches à feu ; le montage des masses oscillantes des artilleries de série est confié à l'ABS avant tirs de fabrication à l'ETBS. Cette organisation qui mobilise la plus grande partie des établissements industriels spécialisés dans l'artillerie avant 1940 et qui leur permet de relancer leur activité spécifique n'est pas suffisante pour satisfaire à des délais extrêmement courts de mise en

²¹⁹ Fusion en four basique suivie d'un traitement en four acide.

²²⁰ Un seul microscope, pas de personnel qualifié pour les examens macrographiques ; dans ces conditions, la DEFA consent à limiter le Cahier des charges spéciales pour la fourniture des ébauchés de tubes à des essais quantitatifs (traction et résilience) en se référant à l'ancien Cahier des charges communes du 11 août 1922.

²²¹ Il est prévu 30 canons supplémentaires de rechange portant ainsi à 180 le nombre d'artilleries à fabriquer.

²²² 88 bouches à feu seront mises en fabrication dont :

- 6 bouches à feu prototypes
- 60 bouches à feu pour montage sur char
- 12 bouches à feu de rechange
- 10 bouches à feu pour des besoins divers (recette des poudres, tir d'usure, mises au point du char...)

service étant donné qu'il s'agit d'un programme qui cumule les difficultés et aléas de la novation et précarité de la situation économique du pays.

Ainsi, alors que l'étude de l'artillerie de 90 SA 45 a été lancée à la fin décembre 1944, les premiers essais effectués par la DEFA et suivis par la STA n'auront lieu qu'entre avril et juillet 1947 ; ces essais donneront lieu à des incidents nombreux essentiellement sur le châssis ; en ce qui concerne l'armement on constatera la détérioration de l'attache de la vis de pointage au berceau (effet de la prépondérance de volée signalée plus haut) et un problème d'évacuation des douilles et de ventilation de la tourelle au tir.

Un an après, en juillet 1948, un char à tourelle de 90 mm SA 45 est remis à la STA pour expérimentation.

Cette expérimentation s'étalera sur plus de deux ans de juillet 1948 à septembre 1950 mais avec une durée effective d'essais relativement brève les défauts constatés nécessitant des suspensions d'expérimentation pour modifications. Ainsi, les essais de la STA se répartiront en trois périodes :

- du 12 juillet au 24 septembre 1948,
- du 1^{er} au 22 juillet 1949,
- du 15 au 21 septembre 1950.

Au total, la STA n'aura disposé du matériel que pendant 80 jours représentant seulement 23 journées d'essais effectifs. Au cours de ces essais, l'artillerie de 90 SA 45 n'a pas présenté de défaut grave de fonctionnement²²³ et dans son rapport à l'état-major général des forces armées « Guerre » (EMFA/G) du 21 septembre 1950 sur l'expérimentation du char de transition la STA écrit que la bouche à feu constitue la seule partie moderne du char et qu'elle est d'une précision et d'une sûreté de fonctionnement acceptables. Cette qualité associée à la bonne protection frontale du véhicule amèneront la STA à proposer que le char de transition soit considéré comme une « arme antichar mobile et protégée » plutôt que comme un char de 50 tonnes. Ainsi la décision ministérielle n° 1856 SEFAG/CAB/CT/MAT du 26 octobre 1950 porte sur l'adoption définitive du « chasseur de chars de 48 tonnes ».

Près de six années ont été nécessaires pour aboutir à l'adoption mais les fabrications de série avaient été lancées sans attendre cette décision, c'est pourquoi les opérations de recette de véhicules purent avoir lieu à partir de janvier 1951.

Elles donneront lieu à de nombreux incidents graves sur le châssis mettant en cause la mobilité du véhicule et retardant la mise en service²²⁴. Cette situation devait amener l'EMA/ARMET en novembre 1953 à proposer au secrétaire d'État à la guerre :

- soit le riblonnage des matériels après récupération des parties intéressantes (moteurs, artilleries...),
- soit l'utilisation des véhicules en postes fixes pour la défense des régions fortifiées.

²²³ Les essais de l'artillerie ont été limités à cause des immobilisations de véhicules dûs aux incidents sur le châssis. Ces essais n'ont donné lieu qu'à des critiques sur les constituants périphériques (mise de feu, refouloir, lunette de visée) et sur les « résidus » de tir (évacuation des douilles et des gaz de la poudre en tourelle). Le problème grave de risque de dévirement du coin de culasse au départ du coup ne sera mis en évidence qu'après adoption.

²²⁴ Le seul incident notable concernant l'artillerie fut celui du risque de dévirement du coin de culasse au tir qui entraîna l'interdiction d'utilisation des bouches à feu des 11 premiers chasseurs de chars mis en service au 503^{ème} RCC en octobre 1951. Une modification de la culasse permettra d'éviter ce risque.

Après avoir été renseigné par la DEFA sur le coût des modifications à réaliser si l'on s'engageait dans cette dernière voie, le secrétaire d'État à la Guerre décidait, par note n° 36 832 SEFAG/CAB du 20 décembre 1954 de « riblonner les matériels et pièces de rechange à l'exception des éléments retenus comme utilisables par les services intéressés. En particulier les canons seront donnés à la DEFA pour emploi éventuel par cette direction²²⁵.

Ainsi disparaissait le chasseur de char de 48 tonnes. Sur le plan financier la DEFA avait estimé en octobre 1948 à un peu plus de deux milliards de francs (de l'époque) le coût de la commande des 60 chars ARL 44 en supposant un déroulement normal du programme qui aurait été achevé à la fin 1949...

²²⁵ 25 artilleries de 90 mm (bouches à feu et liens élastiques) en provenance de chars stockés à l'ERGM de Mably seront transférées à l'ABS au début de 1955.

ANNEXE I

Caractéristiques techniques du canon 75 SA 44 destiné au char ARL 44

Tube	Longueur totale	(L)	3 866 mm	51,5 calibres
	Longueur partie rayée		3 323 mm	
	Volume total de l'âme	(C)	17,3 dm ³	
	Volume de chambre ²²⁶	(C')	2,04 dm ³	
Cartouche à projectile perforant :				
	Boulet de rupture Mle 1944	(p)	6,400 kg	
	Vitesse initiale	V ₀	715 m/s	
	Pression max. de tir	PM	2 400 kg/cm ²	
Cartouche à projectile explosif :				
	Obus explosif	p	6,440 kg	
	Vitesse initiale	V ₀	700 m/s	
	Pression max. de tir	Pm	2 400 kg/cm ²	

²²⁶ Correspondant ici au tir du boulet perforant Mle 1944.

ANNEXE II

Caractéristiques techniques principales du canon de 90 SA 45 du char ARL 44

Masse oscillante	3 150 kg (prépondérance de volée et équilibreur à ressorts)
Masse reculante	2 200 kg
Longueur de recul	0,70 m
Tube	monobloc autofretté acier à canon R>70 E>45 A%>12 longueur totale = 5,865 m (65 calibres) volume de chambre = 8,5 dm ³ frein de bouche « à tiroir » (type 105 long 36 Schneider)
Culasse	à coin horizontal acier du manchon de culasse R>70E>45 A%>12 ouverture automatique à la rentrée en batterie. Mise de feu par percussion à commande électromécanique
Lien élastique	2 freins à contre tige centrale (modérateur de rentrée en batterie) 1 récupérateur hydropneumatique fluide : mélange eau-glycérine

Berceau en acier moulé avec glissières de recul

Mécanisme de mise hors batterie de la bouche à feu en position route (capacité de franchissement de brèches) par recul de 1,80 m sur glissières dans la tourelle (moyens : treuil, poulies, galets) après déverrouillage des tiges de freins et récupérateur. Durée d'une séquence de mise hors batterie : 10 à 15 minutes.

Munitions :

- Cartouche à boulet perforant : longueur 1,10 m
- Boulet perforant acier : $m = 10,6 \text{ kg}^{227}$
- $P_m = 3\,000 \text{ kg/cm}^2$
- $V_0 = 1\,000 \text{ m/s}$

Projet de cartouche à obus perforant à noyau de carbure de tungstène :

- $m = 8,5 \text{ kg}$
- $V_0 = 1\,130 \text{ m/s}$
- Perforation espérée à 1 000 m : 170 mm à incidence 0°

Cartouche à obus explosif :

- $m = 11,3 \text{ kg}$
- $V_0 = 700 \text{ m/s}$

Conditions de tir

Refouloir de chargement armé par le recul

Chasse des gaz en tourelle : rejet des gaz à l'extérieur par ventilation d'air comprimé au niveau du toit (compresseur en tourelle).

²²⁷ 10,6 kg avec fausse ogive en magnésium
11,2 kg avec fausse ogive en acier

CHAPITRE 5

RENAISSANCE DES VÉHICULES BLINDÉS FRANÇAIS (1945 - 1955) ARTILLERIES, MUNITIONS, CONDUITES DE TIR²²⁸

RÉORGANISATION DES ÉTUDES À LA DEFA

En ce qui concerne l'artillerie, l'organisation s'insère dans celle de la DEFA de manière analogue à celle mise en œuvre dans le domaine auto-chars. Un bureau d'études est créé au sein du bureau Artillerie du service technique (ST/ART) dès la fin 1944. La Direction de ST/ART est confiée à l'ingénieur en Chef Lafargue. C'est lui qui a conçu avant guerre un des meilleurs canons anti-chars français, le 47 Mle 37. Il était chef du bureau d'études de l'Atelier de construction du Havre (AHE) en 1939 évacué sur l'Atelier de construction de Tarbes (ATS) à l'arrivée des Allemands en 1940. Il a dirigé pendant l'Occupation un bureau clandestin d'artillerie à Montauban cautionné par le Gouvernement de Vichy. C'est lui qui recrutera les ingénieurs civils et techniciens du nouveau bureau d'études Artillerie du Service technique parmi des éléments chevronnés des bureaux d'études des Ateliers de construction de Puteaux (APX), de Châtillon (ACC) et du Havre (AHE). Son successeur, en octobre 1945 sera l'Ingénieur en chef Carougeau, mon maître, que je citerai à plusieurs reprises ce soir, qui mènera avec compétence et acharnement toutes les études d'armements de chars et de munitions perforantes associées jusqu'à la fin 1954.

La coopération avec le bureau « Auto-chars » sera facile grâce à la proximité des deux bureaux. Elle sera également étroite avec le bureau « Munitions » (ST/MU) qui aura la charge des études de munitions complémentaires et avec le bureau « Balistique » (ST/BAL) qui assure la liaison avec la Direction des poudres pour tous les développements d'armes de tout calibre confiés à la DEFA et qui traite lui-même des problèmes de balistique intérieure et extérieure avec les établissements d'essais.

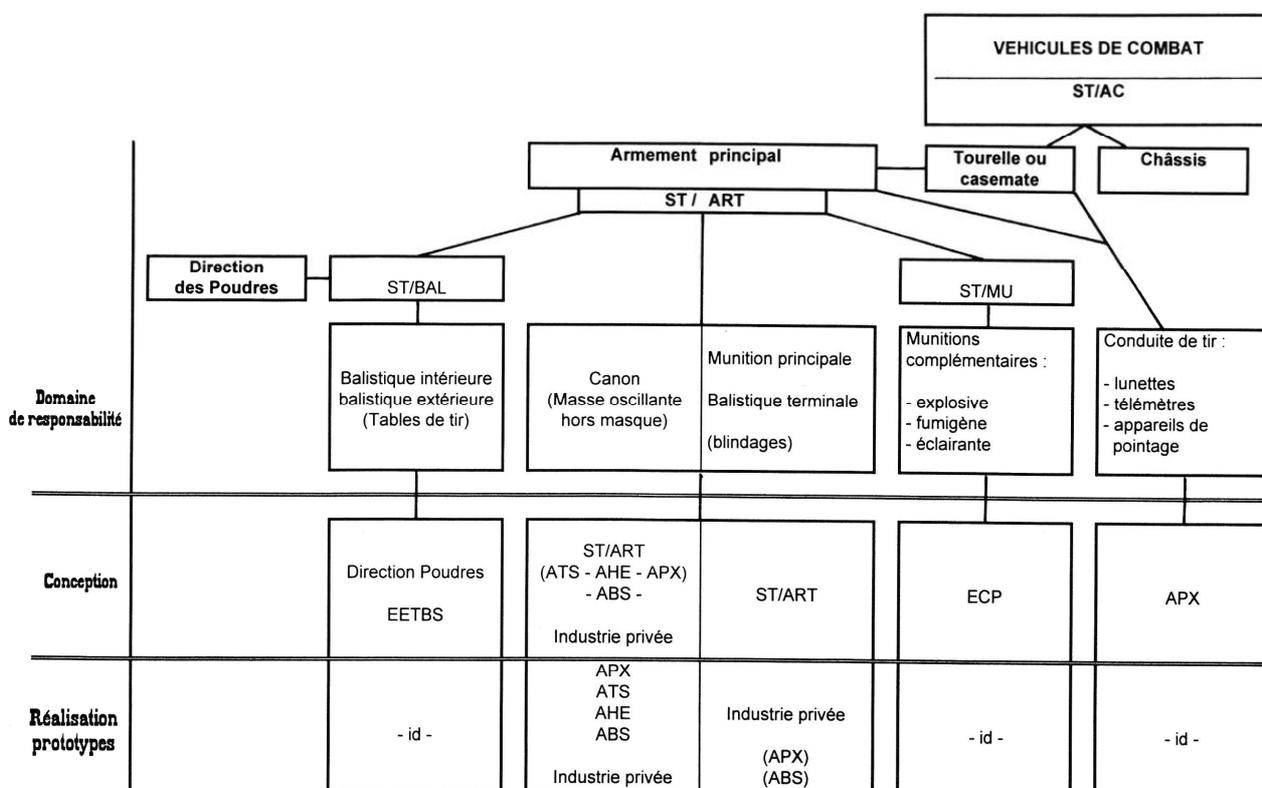
En 1945, les établissements d'artillerie de la DEFA sont au nombre de cinq : à Tarbes (ATS), à Roanne (ARE), à Puteaux (APX), à Bourges (ABS) et au Havre (AHE). Ces établissements ont chacun leur bureau d'études. Ceux de l'ATS, de l'APX et de l'AHE agissent en relais du bureau d'études du Service technique à la fois dans la définition initiale des artilleries de véhicules de combat et dans la mise au point des prototypes, tandis que le bureau d'études de l'ABS reçoit délégation totale pour les développements des matériels et munitions d'artillerie de campagne et celui de l'ARE pour les développements de canons sans recul et munitions associées.

Trois industriels privés seront mis à contribution par le bureau d'études central lors du lancement des premiers développements d'armements de véhicules de combat après-guerre : Schneider, les Ateliers et chantiers de la Loire (ACL) et la Société d'application générale d'électricité et de mécanique (SAGEM).

²²⁸ Participation de l'ingénieur général de l'armement (CR) Marest à la conférence de Monsieur Bedaux, au CHEAr, le 17 novembre 1993. Ce texte de conférence n'a pas été écrit pour la réalisation du tome 9, mais il a semblé qu'il constituait un parfait historique pour l'armement principal des engins blindés dans la période 1945 à 1955. J'ai choisi de l'incorporer tel quel. Outre une différence de ton, il en résulte quelques redites avec les chapitres 6 et 8. Le lecteur voudra bien les excuser (Michel Tauzin).

Comme pour le bureau « Auto-chars » cette organisation comprenant un bureau d'études « Artillerie » très centralisateur en amont et des bureaux d'études d'établissements de la DEFA et de l'industrie privée en soutien a fonctionné sans problème majeur. Cette organisation sera conservée pendant la période 1945/1955 en ce qui concerne la mission de conception du bureau d'études « Artillerie » du Service technique pour tous les développements d'armement principal de véhicules de combat. Un glissement progressif de responsabilité s'opérera ensuite vers l'ABS qui se verra officiellement confier cette mission en 1962.

ORGANISATION DES ÉTUDES D'ARMEMENT PRINCIPAL DES VÉHICULES DE COMBAT EN 1945-1950 (CHARS ET CANONS D'ASSAUT, AUTOMOTEURS D'ARTILLERIE)



ENSEIGNEMENTS DE LA GUERRE EN ARTILLERIES ET MUNITIONS DES VÉHICULES DE COMBAT DE L'AVANT – TENDANCES EN 1945

La capacité de feu des chars et chasseurs de chars s'est accrue de manière rapide et continue depuis 1940 sous la forme d'une escalade entre les adversaires pour détenir le pouvoir de destruction des blindés ennemis les plus puissants à la plus grande distance possible d'intervention.

Cette évolution est basée essentiellement sur l'accroissement de la « cylindrée balistique » des canons – calibres et longueurs des tubes – qui se manifeste non seulement par l'apparition des nouveaux modèles de chars mais également par la modernisation des chars existants.

On passe de calibres de l'ordre de 37 à 50 mm en 1940 à des calibres voisins de 90 mm en 1944/1945 : le char PZ VI Tigre allemand est doté d'un canon de 8,8 cm, le char « Charioteer » anglais d'un canon de « 20 pounder » au calibre de 83,4 mm, le char Pershing et le TD 36 américains sont équipés d'un canon de 90 mm et le char T34 russe de deuxième génération d'un canon de 85 mm.

Le char Joseph Staline III (JS III) qui apparaît au printemps 1945 est même armé d'un canon de 122 mm ce qui est un indice de la poursuite de l'escalade vers le gigantisme.

Le pouvoir perforant des projectiles a été multiplié par un facteur supérieur à trois entre le début et la fin de la guerre : le char allemand PZ VI Tigre perce à 1 000 m et sous 30° d'incidence à l'impact 150 mm de blindage alors que son homologue le plus moderne en 1940 dans l'armée allemande, le PZ IV, ne perce à la même distance et sous la même incidence que 50 mm avec des projectiles perforants de même conception. On en est resté en effet aux projectiles classiques à énergie cinétique, agissant à l'impact par poinçonnage du blindage : boulets en acier à fausse ogive coiffés et non coiffés (APC et AP), projectiles à perforateur lourd sous calibré en carbure de tungstène (HVAP). Cette dernière variété était connue et lancée en production en France en 1939, ce que l'on ignore la plupart du temps.

Il n'y a eu également aucun progrès dans le domaine des équipements de tir. On en est resté à la simple lunette de visée graduée en hausses correspondant aux diverses munitions utilisées. On ne tire dans de bonnes conditions, c'est-à-dire rapidement et avec une bonne probabilité d'atteinte, que char à l'arrêt, sur cible fixe à des distances au plus égales à la Portée utile de combat (la PUC). Dans tous les autres cas la réussite de l'intervention au premier coup tiré dépend de la qualité des estimations du chef de char. La PUC a été cependant sensiblement augmentée, cette augmentation étant la conséquence directe de l'accroissement des vitesses initiales des projectiles.

L'absence de novation dans le domaine des munitions perforantes de char ne doit toutefois pas être interprété comme une absence d'investigations. Il était en effet évident que l'on n'était pas allé « au bout du chemin » dans le domaine des projectiles à noyau lourd sous calibré pour lesquels une augmentation très sensible de la perforation, surtout aux grandes distances d'intervention, doit être obtenue par la réduction du projectile au seul élément perforateur dès la sortie du tube.

Les Allemands ont été les premiers à agir en ce sens, en développant les canons anti-chars « Gerlich » pour lesquels le tube de canon est une sorte de filière conique rayée dont le calibre en volée est celui du perforateur. Cette solution, qui s'est révélée très efficace pour l'anti-char n'a pas été transposée par les Allemands à l'armement des chars. A mon avis personnel, la raison en est que le procédé utilisé du tube conique a l'inconvénient de sous calibrer toute la panoplie des munitions du char.

Ce sont les Anglais qui les premiers disposeront en 1945 d'une solution satisfaisante en réalisant le projectile sous calibré « à sabot détachable » (APDS) solution délicate qui suppose une maîtrise totale sur le plan technique de la séparation des deux constituants du projectile, le perforateur et le sabot, à la sortie du tube, sans incidence sensible sur la dispersion.

Le dernier sujet que je voudrais évoquer à propos des munitions de char de la période 1945/1945 est celui des munitions à charge creuse (CC). Ces munitions existent dans les dotations des chars allemands PZ IV en 1940 ; elles figurent encore dans celles des chars PZ VI Tigre en 1945. Mais elles ne sont pas considérées par les Allemands comme des munitions spécifiques de lutte anti-char, alors que les têtes à CC sont utilisées avec efficacité par les belligérants dans les roquettes de l'armement AC d'infanterie à courte portée : bazooka américain, *panzerfaust* et *panzerschreck* allemands. L'analyse de la

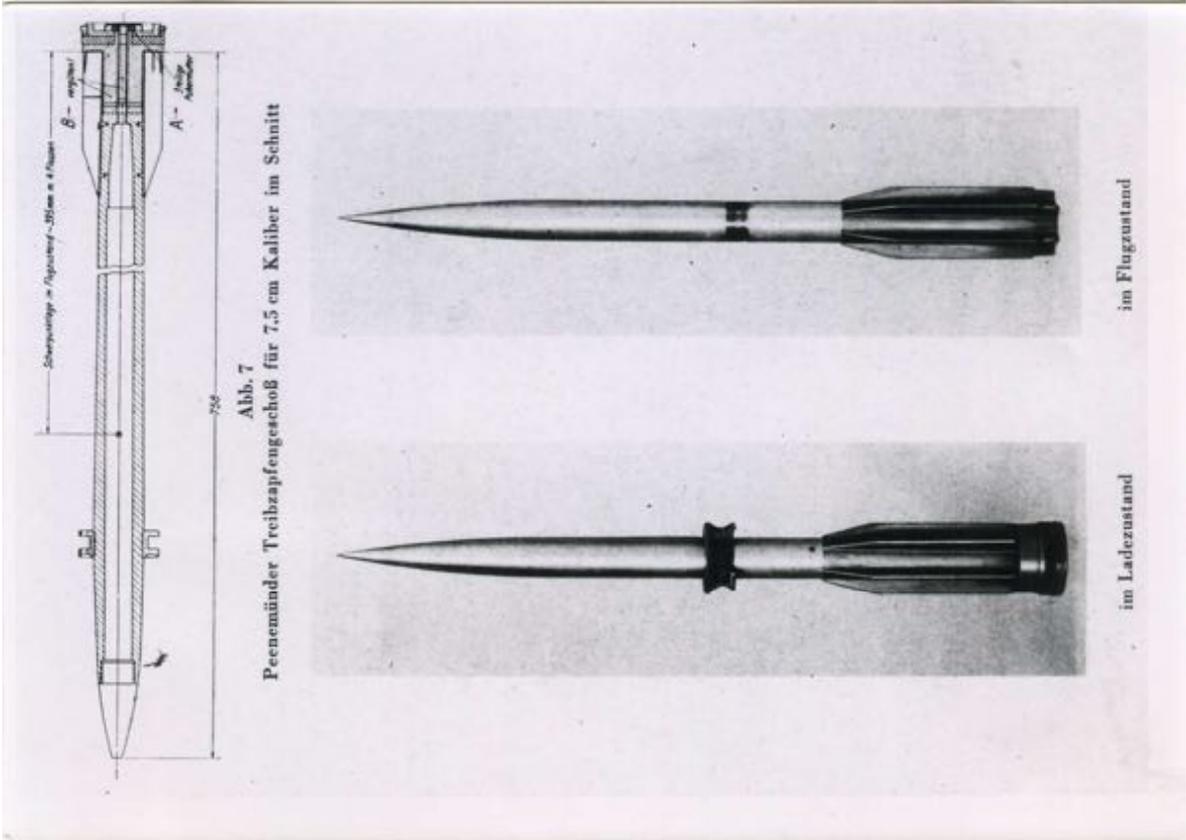
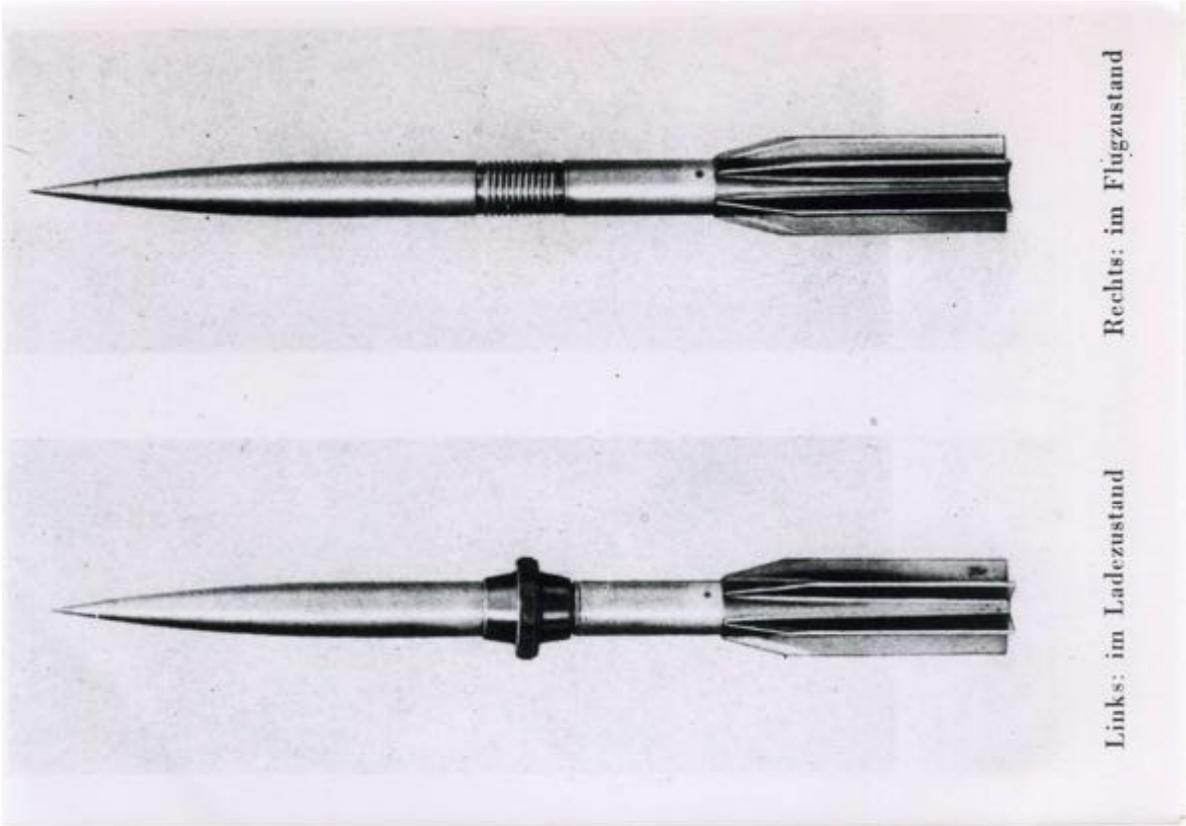


Fig. 3
Projectiles flèches allemands

perte importante de pouvoir perforant au tir dans les canons rayés n'a pas été faite en 1945.

Ce descriptif sommaire de la capacité de feu des chars et chasseurs de chars à la fin de la guerre laisse présager les orientations qui seront prises dans ce domaine à l'occasion du lancement des premiers programmes d'armement et des études générales de préparation de l'avenir :

- choix des calibres et de la puissance balistique des canons,
- études de projectiles perforants nouveaux dans deux directions :
 - projectiles à énergie cinétique sous-calibrés à sabot détachable (APDS)
 - projectiles à charge creuse à grande efficacité
 - études d'équipements de tir destinés à accroître le domaine des interventions efficaces des chars et chasseurs de chars au premier coup tiré.

Telle est la situation en 1945 et telles sont les tendances prévisibles.

Ce que je vais vous dire pour terminer se rapporte à des travaux de recherche avancée entrepris pendant la guerre sur une variété de projectiles perforants où l'on pense couramment que les investigations sérieuses n'ont débuté qu'à partir des années 1960, celle des projectiles flèches.

Le document (figure 3) est issu d'archives ramenées d'Allemagne en 1945 à l'occasion du transport à Saint-Louis du matériel du laboratoire de balistique du Professeur Schardin. Ces clichés provenant de Peenemuende ont été « exhumés » à l'ISL, il y a deux ans environ, à l'occasion de recherches documentaires que j'avais demandées. Le choix du calibre 75 mm pour le canon lanceur laisse à penser que l'application prévue était probablement destinée au char Panther. Pour ceux d'entre vous qui ont eu connaissance des réalisations soviétiques dans ce domaine, dans les années 1970, vous trouverez certaines ressemblances. Ce document, que je porte à votre connaissance, hors sujet de la conférence, dans un but de rétablissement de la vérité historique est une preuve supplémentaire de l'avance technique allemande en 1945 dans le domaine de l'armement conventionnel.

DÉVELOPPEMENTS D'ARTILLERIES ET DE MUNITIONS DE VÉHICULES BLINDÉS DE COMBAT 1944/1956

« Les études de munitions sont à la base des études des matériels blindés » ainsi s'exprime en novembre 1944 un des ingénieurs les plus éminents de la DEFA dans le domaine des chars, l'ingénieur général Joseph Molinié qui n'était à l'époque qu'ingénieur principal.

L'histoire des matériels blindés de combat de l'après-guerre est marquée par trois générations successives de munitions perforantes :

- les munitions à projectiles perforants cinétiques classiques,
- les munitions à projectiles perforants à charge creuse,
- les munitions à projectiles perforants flèches.

La période qui nous intéresse ce soir correspond à la première génération de munition et au début de la seconde la charnière entre les deux se situant dans les années 1953/1956.

Les matériels blindés de transition ainsi que ceux du premier plan d'armement de 1945/1948 seront équipés de canons tirant des projectiles perforants classiques à énergie

cinétique. Le projectile à charge creuse gyro-stabilisé à grande efficacité apparaîtra, au sens de l'acquisition de sa faisabilité, en 1953 pour adaptation à une deuxième version d'armement de l'AMX-13 tandis que le projectile à CC à stabilisation aérodynamique par empennage sera introduit dans les munitions de véhicules blindés entre 1954 et 1956 à l'occasion du programme d'Engin léger de combat, l'ELC.

Avant d'examiner, cas par cas, les diverses études engagées, je voudrais faire deux remarques de portée quasi générale :

- d'une part, toutes les artilleries de véhicules blindés étudiées dans cette période, sauf celles de l'ELC, sont dotées de freins de bouche comme les blindés allemands de la fin de la guerre,
- d'autre part, ces artilleries, à l'exception de celles de l'EBR et de l'ELC sont conçues pour assurer une PUC d'au moins 1 000 m.

Le premier développement est celui de l'artillerie du char de transition. Ce développement est confié aux établissements Schneider. On est à la fin 1944, la guerre n'est pas terminée et l'objectif recherché est de pouvoir lutter à armes égales avec les chars allemands Panther et Tigre. Il s'agit d'une artillerie à canon très long (plus long que celui de l'artillerie future de l'AMX-30) dont le montage sur char présentera certaines difficultés. Tirant un projectile perforant classique de 10,6 kg à 1 000 m/s, le char peut percer 170 mm de blindage à 1 000 m de distance ce qui situe son pouvoir de perforation au niveau de celui du char Tigre utilisant des munitions de même nature et au niveau du pouvoir de perforation du char Panther tirant des munitions sous-calibrées à noyau lourd (HVAP). A l'issue de l'expérimentation en 1950, la STA considère que la bouche à feu et sa munition perforante constituent la seule partie moderne du char, ce qui justifie qu'elle soit conservée tout au moins dans sa définition balistique, comme solution transitoire d'armement pour les chars de 40 tonnes et plus dont les études sont lancées.

Pour l'Engin blindé de reconnaissance, l'EBR, il s'agit d'installer sur ce véhicule de 12 tonnes, une artillerie de 75 mm tirant les munitions des chars Sherman américains de 36 tonnes dont l'Armée française est dotée. Il n'y a pas d'étude balistique à faire, car c'est celle de l'ancêtre, le 75 mm Mle 97 français. Au sens de l'architecture, j'estime que l'armement principal de l'EBR est le mieux conçu de tous les armements de véhicules de combat de première génération.

Le développement de l'artillerie du char aérotransportable de 12 tonnes, le futur AMX-13, sera plus délicat. Il s'agit en effet de définir, pour ce char léger, un armement de puissance équivalente, en PUC et pouvoir perforant, à celui du char Panther de 45 tonnes. Cette condition ne peut être satisfaite que par une forte cylindrée balistique du canon conduisant à un encombrement important en tourelle.

C'est pour ce développement qu'est lancée la première étude de projectile sous-calibré à sabot détachable (APDS) ; tiré à 1 300 m/s il doit procurer une PUC de plus de 1 400 m mais il est peu probable que l'étude aboutisse dans le délai fixé de développement du char car on ne détient pas en ce domaine le savoir faire de conception que possèdent les Anglais et pour éviter tout dérapage du calendrier, l'IC Carougeau fait étudier en même temps deux autres munitions à projectiles perforants classiques plein calibre appelés POT et PCOT, moins performants mais dont la faisabilité est acquise. Tirés à 1 000 m/s ils procurent une PUC de l'ordre de 1 100 m. La qualité des matériaux et des traitements thermiques des spécialistes d'aciers fins Imphy et Bedel, fournisseurs des projectiles perforants permettra d'aboutir à une association canon-munition ayant des performances légèrement supérieures à celles de l'armement du char Panther.

C'est avec cette définition de l'armement que l'adoption de principe du char sera prononcée en décembre 1949, mais l'expérimentation du véhicule par la STA n'avait pas

eu lieu et celle-ci révélera au début 1950 que le canon était ce qu'on appelle trivialement un « arrosoir ». La dispersion est de quatre à cinq fois supérieure à ce que l'on peut raisonnablement admettre pour garantir une bonne probabilité d'atteinte sur cible fixe au tir à la PUC. Ce sera un des très grands mérites de l'IC Carougeau de rétablir en quatre mois cette situation très critique pour l'avenir du programme. En août 1950, le couple canon-munition a une dispersion au tir de l'ordre de 1/1000, environ 1/18^{ème} de degré, c'est-à-dire de la dimension d'un carré de 50 cm de côté à 1 000 m, qui fait de cette artillerie une des plus remarquables d'après-guerre dans ce domaine. Je suis disposé, si la question m'est posée plus tard, à expliquer succinctement ce que l'IC Carougeau a fait pour aboutir à ce résultat.

Le développement de la munition à projectile perforant sous-calibré à sabot détachable (APDS) est cependant poursuivi d'abord par le Bureau d'études artillerie du Service technique puis par celui de l'ABS. Ce développement est toutefois placé en deuxième urgence, dans le cadre des études générales, en vue d'acquiescer un savoir-faire équivalent à celui des Anglais dans ce domaine. On aboutira au début des années 1960 à une expérimentation STA satisfaisante en précision et démontrant une supériorité en pouvoir de perforation du sous-calibré sur les deux projectiles plein calibre POT et PCOT adoptés.

Enfin, il faut rappeler qu'au moment du lancement du programme de l'AMX-12 en 1947, l'état-major avait demandé que l'armement de ce char soit adapté aux chars Sherman de l'Armée française. L'état-major relancera cette idée dès l'adoption de principe du véhicule en décembre 1949. Il n'y eut pas d'aboutissement bien que la question ait été examinée par les différentes parties intéressées. Vous savez que cette modernisation de chars Sherman a été réalisée facilement quelques années plus tard au bénéfice d'un pays du Moyen-Orient que je ne citerai pas.

Les autres développements d'artilleries de véhicules de combat entrepris dans le cadre du premier plan d'armement sont liés aux études de chars moyens et lourds et de canons d'assaut.

Il s'agit :

- d'une part d'artilleries de 90, 100 et 120 mm pour chars AMX et Lorraine de 40 à 65 tonnes et canons d'assaut dérivés,
- d'autre part d'artilleries de 75, 90 et 100 mm pour char de 25 tonnes sur châssis Batignolles.

Les études les plus importantes sont celles des artilleries de 100 et 120 mm destinées aux chars AMX baptisés AMX-50. Ces études sont engagées dans un objectif d'armement de char capable de prendre à partie le char russe JS III par l'avant jusqu'à 2 000 m si possible, cette condition d'efficacité à grande distance impliquant en plus de la puissance balistique du couple canon/munition l'installation d'équipements de tir. Les munitions étudiées pour ces artilleries de 100 et 120 mm ont toutes été des munitions à projectiles classiques de première génération plein calibre, boulets en acier et projectiles à noyau lourd non dépotables. Les conclusions en sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Chars de combat 40/55 t

Caractéristiques balistiques (PUC, efficacité terminale) des artilleries envisagées.

Estimation fin décembre 1951 (Ingénieur général Carougeau).

Cible de référence : plaque 120 mm blindage, incidence 55° (Représentative pointe avant du char JSIII (56 t, canon 122)).

Calibre canon	Projectile perforant	Masse munition	PUC	Portée efficace
100 mm	AP 15 kg $V_0=1000$ m/s	27 kg	1 100 m	500 à 600 m
	HVAP 7.5 kg $V_0=1275$ m/s	20 kg	1 400 m	1 000 m
120 mm	AP 23 kg $V_0=1000$ m/s	46 kg	1 100 m	1 000 m
	HVAP 12.5 kg $V_0=1300$ m/s	31 kg	1 450 m	1 500 m

On se rend compte que pour être efficace à la PUC contre la cible JS III, il est nécessaire de passer au calibre de 120 mm. C'est la conclusion à laquelle étaient arrivés également les Américains en développant le char T 43. Mais les munitions perforantes pour ces canons de 120 mm sont lourdes et encombrantes : le projectile perforant plein calibre pèse 23 kg et la munition encartouchée 46 kg. Cette constatation conduit à prévoir un chargement manuel en deux fardeaux (obus et douille chargée) ou à envisager un chargement automatique de la cartouche complète. C'est cette dernière solution qui sera retenue en 1956 pour la version la plus évoluée de tourelle oscillante de char lourd AMX à tourelle TOB 120 disposant d'une conduite de tir complète pour intervention sur cible fixe ou mobile.

Le graphique ci-contre (Puissances balistiques comparées) a pour objet de vous montrer comment se situent les armements de véhicules blindés dont je viens de vous parler par rapport aux armements des véhicules blindés étrangers – allemands et américains – en service en 1945.

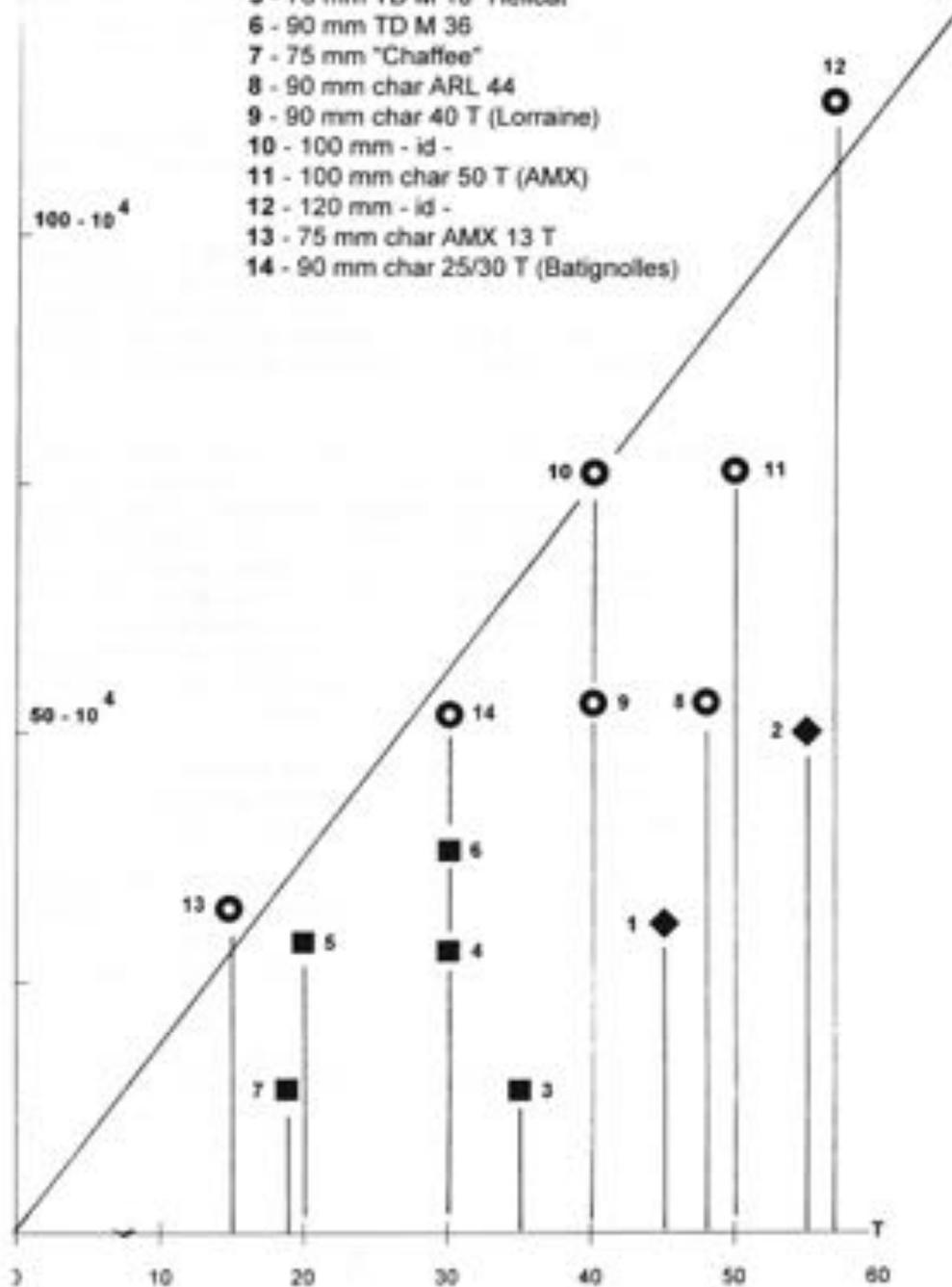
Les unités retenues sur ce graphique sont d'une part le tonnage, d'autre part l'énergie cinétique à la bouche qui peut être considérée comme représentative en première approximation de la puissance de feu pour des artilleries tirant des projectiles perforants à énergie cinétique de première génération.

Ce graphique montre deux choses :

- d'une part le progrès obtenu à l'occasion des développements effectués sous l'égide de l'Ingénieur général Carougeau,
- d'autre part les développements français se situent à un rapport puissance de feu/masse de véhicule à peu près constant.

Energie cinétique
du projectile
perforant
à la bouche
(Pkg · V² m/s)

- 1 - 7,5 cm "Panther"
- 2 - 8,8 cm "Tigre"
- 3 - 75 mm "Sherman"
- 4 - 76 mm TD M 10
- 5 - 76 mm TD M 18 "Hellcat"
- 6 - 90 mm TD M 36
- 7 - 75 mm "Chaffee"
- 8 - 90 mm char ARL 44
- 9 - 90 mm char 40 T (Lorraine)
- 10 - 100 mm - id -
- 11 - 100 mm char 50 T (AMX)
- 12 - 120 mm - id -
- 13 - 75 mm char AMX 13 T
- 14 - 90 mm char 25/30 T (Batignolles)



Puissances balistiques comparées des véhicules de combat allemands (1944), américains (1944) et français (1941-56).

Fig. 4

Projectiles perforants à charge creuse (CC) pour artilleries de véhicules blindés – 1953/1956

En 1945, les charges creuses montées dans des projectiles d'artillerie à stabilisation gyroscopique, tirés par des canons rayés ont une efficacité très inférieure à celle des roquettes d'infanterie de lutte anti-chars à courte portée. Mais on n'en connaît pas la raison.

Ce problème va être étudié au LRSL par le Professeur Schardin et son équipe de personnels allemands qui ont accepté de venir travailler en France avec leur matériel de laboratoire.

L'examen du jet de charge creuse en vol, grâce au procédé de radiographie-éclair mis au point par le Professeur Schardin, donnera la clé du problème : la force centrifuge née de la rotation du projectile désagrège le jet et le disperse ; la perte de pouvoir perforant est sensible à partir de vitesses de rotation de l'ordre de 20 à 25 tours par seconde alors que les vitesses de rotation nécessaires à la stabilisation des obus sont de l'ordre de plusieurs centaines de tours par seconde.

On en arrive donc à la conclusion qu'une charge creuse montée dans un projectile gyrostabilisé ne pourra être efficace que si elle est indépendante du corps extérieur de l'obus. L'étude d'un concept de projectile satisfaisant à cette condition est entreprise à Saint-Louis par un ingénieur allemand nommé Gessner d'où le nom d'obus « G » attribué à cette variété de projectiles. Le principe général est simple dans son énoncé, mais la réalisation pratique est difficile car la partie intérieure du projectile qui contient la charge creuse ne peut pas être totalement indépendante du corps extérieur. Ce sera le mérite du LRSL de trouver la solution pour que les frottements de liaison entre corps extérieur et corps intérieur n'engendrent pas de vitesse de rotation de la charge creuse supérieure à 20/25 t/s au moment de l'impact.

La faisabilité sera acquise en 1953 et on sait dès ce moment là que l'on est capable de réaliser un projectile d'artillerie à charge creuse gyrostabilisé ayant à toute distance un pouvoir de perforation de l'ordre de quatre fois le calibre de cette charge.

La DEFA décide de poursuivre plus avant cette étude au LRSL avec la participation de ses propres établissements dont en particulier l'École centrale de pyrotechnie (ECP) de Bourges pour un armement de 105 mm adaptable au char AMX-13 tonnes sans augmentation d'encombrement à l'intérieur de la tourelle par rapport à l'armement existant de 75 mm.

L'aboutissement de cette étude engagée à l'initiative de la DEFA se situe le trois mars 1955 à Bourges. Je précise cette date parce que, à mon avis, elle est historique dans l'évolution de l'armement des véhicules blindés. C'est le jour où l'obus « G » est tiré pour la première fois à 800 m/s dans l'artillerie de 105 mm destinée au char AMX-13.

La validité opérationnelle du couple canon-munition est confirmée : dispersion de l'ordre de 1/1000 à 1 000 m, de l'ordre de 1.3/1000 à 1 400 m, perforation de l'ordre de quatre calibres de la charge creuse, c'est-à-dire que l'on est assuré avec ce projectile de percer à toute distance 180 mm de blindage sous 60° d'incidence.

Les chars AMX-13 de l'Armée française resteront provisoirement équipés de leurs canons de 75 mm mais leur capacité de feu sera renforcée par l'adjonction de paniers extérieurs avec missiles filoguidés antichars ENTAC et SS 11. L'obus « G » sera retenu plus tard pour la munition perforante de l'AMX-30.

Un obus « G » de 90 mm sera conçu pour une des versions d'artillerie de l'ELC mais pour de tels véhicules de l'ordre de six à huit tonnes, il s'agit d'une solution balistique lourde. C'est pour ce type de véhicules blindés très légers que se situe l'intérêt des projectiles à charge creuse empennés à stabilisation aérodynamique c'est-à-dire sans nécessité de rotation. Le problème principal à résoudre pour cette deuxième famille de

projectiles d'artillerie à charge creuse est la dispersion qui doit rester dans des limites acceptables à grande distance, au minimum à la PUC, pour ne pas altérer la probabilité d'atteinte.

Le premier projectile de cette famille, envisagé en 1954 pour l'ELC, sera un projectile de 90 mm d'origine suisse dénommé Energa conçu par monsieur Edgar Brandt, l'ancien patron des établissements Brandt en France avant les nationalisations de 1936. Ce projectile est très léger, pesant à peine plus de 2 kg, stabilisé par empennage déployant ce qui interdit son emploi dans des artilleries à frein de bouche. Les essais montreront que la dispersion des tirs conduit à des probabilités d'atteinte insuffisantes.

La solution française retenue en 1956 a été étudiée et mise au point par le camarade Arène. C'est le résultat d'une initiative prise entre responsables des bureaux d'études de l'ABS et de l'ARE qui n'étaient pas directement impliqués dans l'armement de l'ELC.

Il s'agit à l'origine de la transposition au calibre 90 d'un projectile de 105 mm à charge creuse à empennage fixe, au calibre du canon, mis au point par l'Ingénieur principal Larroumets, chef du bureau d'études de l'ARE jusqu'en 1955, dans le cadre des développements des canons sans recul et des munitions associées. C'était pour Larroumets, aujourd'hui disparu, l'aboutissement dans une application qu'il n'avait pas prévue au départ, d'un extraordinaire brassage d'idées, de concepts, d'essais en soufflerie et d'expérimentations au tir pendant les dix premières années de l'après-guerre.

Ainsi, les années 1953-1956, avec l'introduction de l'obus de 105 « G » et du projectile de 90 à empennage fixe se trouvent à la charnière du changement de génération de l'armement de tous les véhicules de combat du plus léger au plus lourd qui peuvent dès lors utiliser des projectiles à charge creuse précis et efficaces à toute distance contre toutes les cibles des normes OTAN.

Le tableau ci-dessous résume cette évolution des artilleries de véhicules de combat de 1944 à 1956

Véhicules	Calibres	Caractéristiques projectiles			Montages
Char ARL 44	90 mm	AP	10,6 kg	$V_0 = 1\ 000$	Tourelle
EBR	75 mm	AP	6,4 kg	$V_0 = 600$	Tourelle FL11
AMX-13	75 mm	AP	6,4 kg	$V_0 = 1\ 000$	Tourelle FL10
		APDS	3,9 kg	$V_0 = 1\ 300$	
Chars et canons d'assaut 35 t à 65 t	90 mm	AP	10,6 kg	$V_0 = 1\ 000$	Tourelle : Lorraine Canon d'assaut/Lorraine Tourelle AMX-50
	100 mm	AP HVAP	15 kg 7,8 kg	$V_0 = 1\ 000$ $V_0 = 1\ 275$	Canon d'assaut/Lorraine Tourelle AMX-50
	120 mm	AP HVAP	23 kg 12,5 kg	$V_0 = 1\ 000$ $V_0 = 1\ 300$	Canon d'assaut/AMX Tourelle AMX 65 t
Char 25/30 t	75 mm	AP	6,4 kg	$V_0 = 1\ 000$	Tourelle
	90 mm	AP	10,3 kg	$V_0 = 930$	Tourelle
	100 mm	AP	15 kg	$V_0 = 1\ 000$	Canon d'assaut
AMX-30	105 mm	CC« G »	10,9 kg	$V_0 = 800$	Tourelle FL12
ELC	90 mm	CC« G »	7,6 kg	$V_0 = 750$	Tourelle
	90 mm	CC emp. Energa	2,1 kg	$V_0 = 600$	Tourelle
	90 mm	CC emp. ARE	3,6 kg	$V_0 = 800$	Tourelle

Équipements de tir

Les études sur les équipements de tir ont été entreprises à la demande de l'état-major à l'occasion du lancement du programme du char léger aérotransportable de 12 tonnes en 1947. Il était demandé que soient lancées des études de télémètres et de correcteurs et qu'en particulier le tir sur cible mobile soit pris en considération.

Le but recherché est d'améliorer la justesse des tirs en remplaçant des estimations par des mesures pour des interventions à grande distance sur but fixe ou mobile et à partir de positions sur terrains en devers.

Ces travaux ont été entrepris par le Service optique de l'APX sous la direction d'un grand spécialiste, l'IC Coeytaux, avec la participation des industriels de l'optique.

Ils ont porté sur :

- des télémètres avec affichage manuel ou automatique des hausses,
- des correcteurs de devers,
- des correcteurs tachymétriques de mesure des vitesses de cible qui ne sont vraiment opérationnels que s'ils sont associés aux télémètres.

Dans la période 1950/1956, des télémètres optiques prototypes de bases diverses ont été installés sur char AMX-50 en tourelleau de chef de char et en tourelle et sur canon d'assaut en superstructure ; 20 lunettes à correcteur tachymétrique, malheureusement sans télémètre, ont été montées sur EBR et les premiers correcteurs de devers ont été installés dans des lunettes de tir d'AMX-13.

L'intégration de ces équipements dans de véritables conduites de tir (CdT) a été faite à la fin de la période que nous examinons d'une part pour la tourelle du char AMX de 55 tonnes à canon de 120 mm d'autre part pour la tourelle du char AMX-13 en service. Pour le char de 55 tonnes, cela arrivait au moment où l'étude était arrêtée, tandis que pour le char de 13 tonnes on s'aperçut que l'exiguïté de la tourelle ne permettait pas l'installation de la CdT sans modifications importantes de l'architecture.

Je voudrais sur ce sujet des équipements de tir remercier l'EAABC de Saumur qui a accepté de conserver dans son musée des Blindés les équipements créés à cette époque sous l'égide du Service optique de l'APX.

AUTOMOTEURS D'ARTILLERIE

Avant de vous parler des études d'automoteurs de 155 mm j'ajouterai deux choses à ce que vous a dit mon camarade Bedaux à propos des automoteurs de 105 mm ; l'une concerne l'automoteur à casemate fixe, l'autre se rapporte à l'automoteur à casemate tournante.

L'artillerie montée en casemate fixe n'a pas été conçue spécialement pour l'automoteur. C'est selon l'option prise par l'état-major en 1945 la masse pivotante de l'obusier de 105 mm tracté dont l'étude est lancée alors que celle de l'AMX-12 ne le sera qu'en 1947. L'inspection de l'Artillerie, dans une note adressée à l'état-major était disposée à laisser plus de liberté au concepteur en limitant si nécessaire le tronc commun entre tracté et automoteur au seul tube de canon afin de sauvegarder l'unicité du parc de munitions. Pour l'obusier tracté une des caractéristiques militaires fondamentales retenues était de pouvoir disposer d'un matériel capable de tirer tous azimuts en position de batterie. Cette expression du besoin conduisait à un concept d'affût à circulaire de pointage en direction plus encombrant que l'affût classique à pivot arrière des matériels biflèches à champ de pointage limité. L'IC Carougeau avait signalé les risques en encombrement et en masse de l'option tous azimuts (le matériel pèsera 3,2 tonnes au lieu des 2,5 tonnes demandées). Il avait même été suggéré, un moment, de mener de front jusqu'au stade prototype les

deux options tous azimuts et biflèche pour juger sur pièce des avantages et inconvénients respectifs. En définitive seule la solution tous azimuts sera étudiée avec les répercussions signalées par Bedaux pour le montage en automoteur.

Ma seconde remarque concerne la balistique de l'automoteur de 105 en casemate tournante dans la version retenue pour l'expérimentation officielle de la STA, cette balistique étant différente de celle de l'obusier monté en casemate fixe. L'évolution dont le bureau d'études de l'ABS a pris l'initiative, soutenue par l'Ingénieur général Carougeau, avait pour objectif d'assurer la totalité interopérabilité au sens du service de pièce entre munitions américaines existantes en stock et munitions françaises d'un modèle nouveau tirant un obus à culot creux à 15 km de portée maximum. Le changement de balistique apportait un avantage complémentaire au tir car l'allongement du tube de 23 calibres à 30 calibres éloignait le frein de bouche. Cette solution balistique fut transposée sur l'automoteur de 105 mm à casemate fixe dans un objectif de commercialisation qui aboutit à une commande hollandaise. La munition à obus à culot creux fut achetée par les Belges... pour être tirée dans des automoteurs américains M 108.

Parler des développements d'automoteurs de 155 mm au cours de la première décennie d'après-guerre n'est pas agréable lorsqu'on sait que l'Armée française n'a été dotée d'aucun obusier de 155 mm national monté sur chenilles avant la mise en service en 1968 du 155 dit « automouvant ». Cet échec des études d'automoteurs de 155 provient pour l'essentiel d'une erreur fondamentale de conception architecturale des châssis lesquels avant toute chose doivent être réalisés pour satisfaire aux conditions particulières de service de pièce d'un obusier lourd.

Sur ce sujet là encore je ferai référence à ce qu'a écrit l'Ingénieur général Molinié en 1944 à propos des automoteurs allemands « Wespe » de 10,5 cm et « Hummel » de 15 cm.

« Les châssis utilisés des chars PZ III et PZ IV ont été modifiés, le moteur étant déplacé vers l'avant afin de permettre l'organisation d'une chambre de combat spacieuse à l'arrière ».

Cette architecture est acquise, d'origine, dans le cas du châssis AMX-13 pour les automoteurs de 105 mm. Ce ne sera pas le cas des deux châssis successifs retenus pour l'artillerie de 155, le châssis Lorraine pour la version à casemate fixe et le châssis Batignolles pour la version en casemate tournante, ces deux châssis étant conçus comme des châssis de chars.

Ce problème d'emplacement du moteur dans le châssis a pourtant dès le début été examiné. Trois automoteurs allemands Hummel ont été remis en état et expérimentés à Bourges par la STA en 1945 dans le but de mieux apprécier les conditions de service de pièce d'un obusier lourd en casemate et une réunion a été tenue sous l'égide du chef d'état-major pour traiter de l'emplacement du moteur.



Fig. 5
Automoteur allemand Hummel



Fig. 6
Automoteur sur châssis Lorraine

Seul le directeur de la STA défend l'architecture avec moteur à l'avant et il est décidé de ne réaliser qu'une seule maquette en bois avec moteur à l'arrière. On aura écarté une comparaison objective des conditions d'emploi de l'obusier de 155 monté en casemate fixe, dans deux configurations architecturales différentes du châssis, pour le prix d'une maquette en bois supplémentaire.

Après les premiers essais du prototype d'obusier de 155 sur châssis Lorraine, l'Inspection de l'artillerie faisait part à l'état-major en août 1950 de ses observations et recommandations dont j'ai extrait les passages suivants :

« L'organisation de l'automoteur est contestable, le moteur placé derrière le canon supprime tout dégagement vers l'arrière pour le service de pièce. Le problème reste entier. Un obusier de 155 automoteur est indispensable à l'artillerie, je propose que la mise au point de ce matériel soit continuée en étudiant en particulier l'amélioration des conditions de service de pièce ».

En fait, rien ne sera modifié dans l'architecture du châssis Lorraine et même lorsque l'on évoluera à partir de 1952/1953 vers la solution de montage en casemate tournante, le châssis Batignolles sera encore conçu avec moteur à l'arrière et on aboutira au même échec. Vous comprendrez que dans ces conditions je ne m'étende pas plus sur le déroulement de ces deux études, la seconde celle de l'automoteur en casemate tournante étant arrêtée en 1959.

Le cliché ci-dessous montre qu'en modifiant l'emplacement du moteur d'un châssis de char moyen existant, on peut, cependant, monter dans de bonnes conditions de service, une artillerie de 155 mm.



Fig. 7
Obusier de 155 sur châssis Sherman

Il s'agit de la même masse pivotante de 155 mm de l'obusier français biflèche installée cette fois sur un châssis de char Sherman pour le compte d'un pays étranger, celui que je n'ai pas cité précédemment. Le moteur a été déplacé vers l'avant, l'arrière du châssis a été totalement dégagé permettant l'installation de l'artillerie, le transport du peloton de pièce avec dix-huit coups à bord. J'estime qu'en adoptant une architecture du châssis de

même nature, l'étude de l'automoteur de 155 sur châssis Batignolles aurait pu être menée à bon port.

Certains pourraient m'objecter à propos de ce raisonnement sur l'architecture du châssis que l'automoteur de 155 AU F1 a été réussi en conservant l'implantation à l'arrière du moteur de l'AMX-30. En fait, il s'agit d'une artillerie de conception entièrement différente, unique en son genre, très automatisée pour laquelle l'ergonomie du service de pièce n'a rien de commun avec celle des autres automoteurs de 155 existants.

FABRICATIONS D'ARTILLERIES ET DE MUNITIONS

Les fabrications d'artilleries de 75 mm SA 49 pour EBR sont confiées à l'APX tandis que celles de 75 mm SA 50 pour AMX-13 sont assurées par l'ABS. Elles sont lancées à partir de 1950 ; elles couvrent les besoins de l'EMAT pour les équipements de véhicules et les rechanges ainsi que les besoins des commandes pour l'exportation. Les livraisons vont débuter en 1952 et la montée en cadence mensuelle va être rapide, nécessitant équipements en machines outils et embauches de personnels. On fabriquera à l'APX pour les besoins de l'état-major plus de 800 artilleries de 75 mm d'EBR dont 500 pour la seule année 1953 tandis qu'à l'ABS on fabriquera entre 1952 et 1959 près de 2 200 artilleries de 75 mm pour AMX-13 destinés à l'état-major et dans la même période plus de 600 artilleries supplémentaires destinées aux commandes pour l'exportation, les cadences de production se situant entre 50 et 60 artilleries par mois. Ce fut à l'ABS la plus forte production mensuelle d'artillerie d'un même modèle après la guerre ; elle nécessita une organisation du travail par équipes de jour et nuit sur cinq jours et demi par semaine bien que l'établissement n'ait conservé que les fabrications spécifiques de l'artillerie – gros éléments de canonnerie et liens élastiques – ainsi que le montage final, la fabrication des autres composants mécaniques étant sous-traitée en particulier dans les manufactures.

A partir de 1959, les fabrications d'artilleries pour chars de 13 tonnes furent uniquement destinées à des commandes pour l'exportation réparties entre artilleries de 75 mm pour tourelles FL10 et artilleries de 105 mm pour tourelles FL12. Près de 400 artilleries de 105 mm pour tourelles FL12 furent fabriquées entre 1962 et 1975 en particulier pour l'équipement de deux pays européens : les Pays-Bas et l'Autriche.

Les fabrications de munitions destinées aux EBR et aux AMX-13 ont été confiées à la fois aux établissements spécialisés de la DEFA et à l'industrie privée avec la participation de la Direction des poudres. Environ 300 000 coups de 75 mm pour artillerie d'EBR et près de 1 400 000 coups pour artilleries d'AMX-13 furent produits entre 1954 et 1966.

La fabrication des artilleries des automoteurs de 105 mm a casemate fixe a été réalisée par l'ABS, dont 337 artilleries destinées aux commandes de l'état-major produites entre 1954 et 1958 et 92 artilleries pour des commandes exportation honorées en 1963 avec une définition balistique nouvelle identique à celle de l'artillerie de 105 mm de l'automoteur à casemate tournante. Ces fabrications prenaient la suite de celles des obusiers de 105 mm tractés lancée en 1951.

Pour ne pas risquer de perturber les fabrications des artilleries de 75 mm engagées en même temps une unité de production particulière avait été créée de manière assez spartiate à partir d'un ancien atelier de chaudronnerie et de machines outils récupérées en Allemagne en 1945 à remettre en état. J'en parle d'autant plus aisément que j'en ai eu la responsabilité. C'était difficile mais très formateur au sens du métier de l'ingénieur de l'Armement tel qu'on le concevait à cette époque.

ANNEXE

« *L'ingénieur général Carougeau, homme d'action*²²⁹ »

J'ai eu mon premier contact direct avec l'Ingénieur en chef Carougeau lorsque j'étais élève à l'École nationale supérieure de l'Armement. Il était à l'époque chef du bureau « Artillerie » du Service technique, chargé personnellement de développements importants d'armements de chars, mais il tenait cependant à venir diriger lui-même la formation pratique des élèves qui avait lieu à l'APX, et je me souviens de ses interventions, en tenue militaire, pour nous montrer, manivelles en main, comment se servir « efficacement » des machines-outils. Je me suis rendu compte plus tard, le connaissant mieux, qu'à travers ce comportement anecdotique, c'est toute la passion de cet homme pour la mécanique qui s'extériorisait. Peu de gens savent aujourd'hui que deux ouvrages techniques portant son nom ont été édités après la guerre l'un sur les tours automatiques, l'autre sur l'usinage par abrasion.

Cette passion de la mécanique, associée à une capacité de travail hors du commun allaient le conduire à la réussite qui vous a été exposée dans les études d'artilleries de 75 mm de l'Engin blindé de reconnaissance (EBR) et du char léger aérotransportable (AMX-13).

Homme d'idées et homme de terrain, autant à l'aise dans un bureau d'études que dans un atelier de prototypes ou qu'au champ de tir, son comportement n'était jamais celui d'un spectateur mais celui d'un participant actif.

Donnant beaucoup de lui-même, il lui paraissait naturel que son entourage professionnel adopte le même rythme. Il participait personnellement à la résolution des difficultés techniques, appelant les bureaux d'études de province pour soumettre ses idées et non les imposer, en ajoutant toutefois :

« Réfléchissez-y et appelez-moi demain matin »

Je vous raconterai, si vous le désirez, la genèse de l'étude de l'obusier de 155 mm automouvant, telle qu'elle s'est déroulée personnellement entre lui et moi, qui est caractéristique du comportement professionnel de l'Ingénieur général Carougeau.

Tel était le maître avec lequel j'ai eu beaucoup de satisfaction à travailler « en prise directe » pendant dix ans et qui a eu une influence certaine sur ma carrière. C'était un grand patron, sans doute plus tourné vers l'aspect industriel de sa mission que vers l'aspect étatique (selon le vocabulaire moderne) mais qui agissait à tout moment en homme de service public ayant le souci de servir au mieux les intérêts de la Défense.

²²⁹ Texte inséré dans la conférence du 16 novembre 1993 au CHEAr sur « la renaissance des véhicules blindés français entre 1945 et 1955.

CHAPITRE 6

ARMEMENT PRINCIPAL DES VÉHICULES DE COMBAT DE L'AVANT LES DÉVELOPPEMENTS ET RÉALISATIONS INDUSTRIELLES PÉRIODE 1956-1975²³⁰

LES OBUS ANTI-CHARS

Dès son apparition à la fin de la Deuxième Guerre mondiale, il est clair que la charge creuse révolutionne le combat anti-char à très courte distance. Mais transposer cette capacité sur un obus à grande vitesse initiale est un autre challenge : la rotation de l'obus nécessaire à sa stabilisation fait s'effondrer la puissance de perforation.

Les recherches entreprises très tôt par la DEFA font qu'en 1956 la faisabilité d'obus de chars à charge creuse est acquise et ce avec deux solutions radicalement différentes :

- l'une avec stabilisation gyroscopique et charge creuse libre – obus G.
- l'autre avec stabilisation par empennage au calibre.

L'obus de 105 « G »

L'obus G est le fruit de travaux menés au Laboratoire de recherches de Saint-Louis (LRSL) devenu plus tard l'Institut franco-allemand de Saint-Louis (ISL). Il porte l'initiale de son père l'ingénieur allemand Gessner.

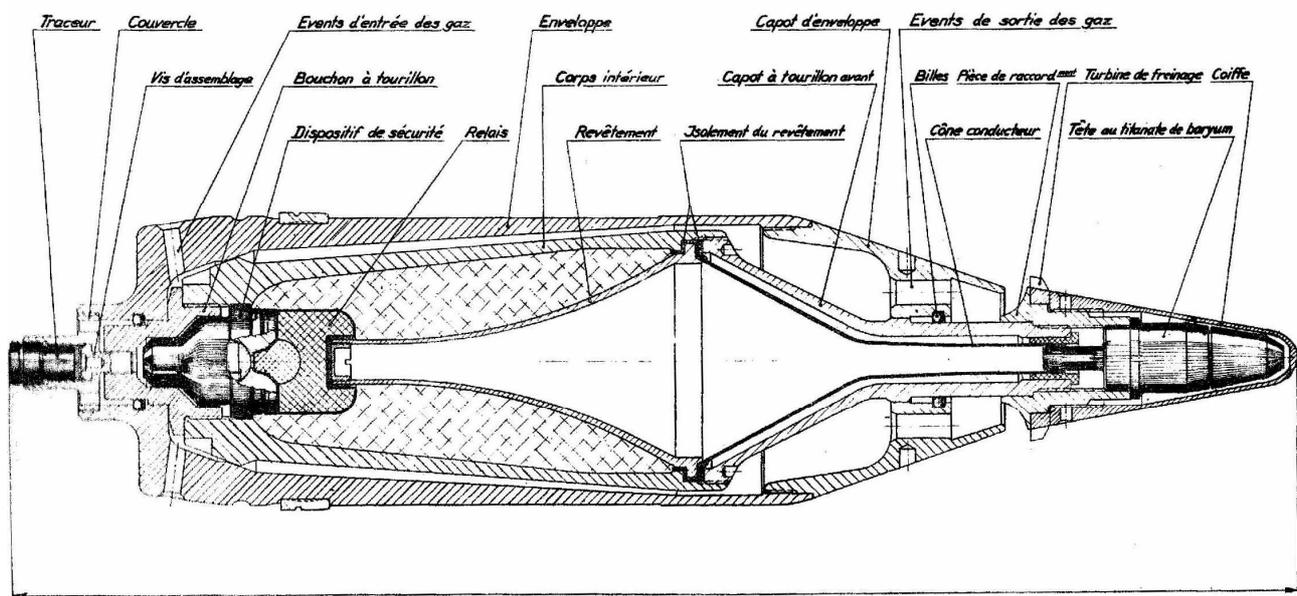


Fig. 8
L'obus G

²³⁰ Texte de l'ingénieur en chef Tausin.

La figure 8 en donne le plan d'ensemble et on en rappelle brièvement le principe :

Un corps extérieur portant la ceinture est entraîné en accélération longitudinale et en rotation (de l'ordre de 300 tours par seconde) ce qui lui confère l'énergie de rotation nécessaire à la stabilisation de l'ensemble.

Un corps intérieur portant la charge creuse repose par des roulements à billes sur des paliers qui font partie du corps extérieur.

Ainsi le corps intérieur n'est-il pas, ou seulement peu, (quelques tours par seconde), entraîné en rotation et il conserve sa capacité de perforation.

On comprend sans peine les nombreux obstacles qu'il aura fallu vaincre et qui portent essentiellement sur deux aspects du projet :

- Le fonctionnement mécanique qui vise à assurer une rotation quasi nulle au corps intérieur. La disposition capitale pour y parvenir consiste en des événements dans le culot du corps extérieur permettant l'admission des gaz de poudre qui poussent le corps intérieur vers l'avant et évitent ainsi son entraînement en rotation par frottement.
- le fonctionnement pyrotechnique qui exige une quasi-instantanéité du fonctionnement (moins de 30 microsecondes) entre l'impact et la détonation de la charge creuse, une performance jamais réalisée à l'époque et qui conduira au développement d'une fusée piézoélectrique complètement nouvelle.

Le développement porte à titre principal sur un obus de 105 G accessoirement sur un 90 G.

Le 105 G est destiné à la valorisation du char AMX-13, puis à l'AMX-30. Le 90 G destiné à l'Engin léger de combat (ELC) sera rapidement abandonné au profit de l'empenné au calibre.

La responsabilité du développement et de l'industrialisation passe du LRSL à l'École centrale de pyrotechnie (ECP de Bourges) mais il y aura encore de nombreuses années d'efforts ponctuées de brillants résultats et d'incompréhensibles séries de ratés.

L'obus G est adopté en 1961 sous le nom de OCC 105 F1 avec ses qualités et ses points faibles résumés ci-dessous.

Les qualités :

- La très haute capacité de perforation.

L'obus de 105 G perce régulièrement la plaque NATO de 152 mm sous 64°20' d'incidence et ce avec des effets arrière significatifs²³¹.

- La très bonne précision de l'obus G : H+L couramment inférieur à 1 millième, à toutes distances. Cette précision est sans doute liée au fait que les pièces étant usinées partout, il n'y a pratiquement aucun balourd et également à la relativement faible pression à la bouche corrélative d'une relativement faible Pm (2 400 kg/cm²).

²³¹ La connaissance de l'effet de la charge creuse derrière le blindage qu'elle a perforé fait l'objet dans les années 1959–1960 de nombreux essais, certains pensant que cet effet risquait d'être très faible. Outre des essais physiques (mesures de pression...) on a pratiqué des tirs sur des carcasses de chars à l'intérieur desquels des animaux vivants étaient enfermés. Le rédacteur alors affecté à l'ETBS revoit toujours le regard d'un maître chien de la compagnie cynophile du camp de Sissonne obligé de se séparer de son chien réformé après des années de bons et loyaux services. Par la suite, nous utilisons des porcs achetés dans des fermes voisines du polygone de Bourges, opération que les propriétaires voyaient plutôt d'un bon œil, car n'étant pas bouchers nous n'étions pas difficiles sur la qualité de la viande.

Les points faibles

La Vitesse initiale (V_0) et donc la portée utile de combat (PUC) sont très modestes comparées aux V_0 permises par les obus à énergie cinétique, en particulier les sous-calibrés utilisables sur le même véhicule :

Sur le char AMX-13 :

- V_0 avec le 105 G : 800 m/s
- V_0 avec le perforant de 75 : 1 000 m/s
- V_0 avec le sous-calibré de 75/54/40 : 1310 m/s

Sur char moyen tel que AMX-30, Léopard 1 ou Centurion :

- V_0 avec le 105 G : 1 000 m/s
- V_0 avec le sous-calibré anglais : 1475 m/s

La très bonne précision masque un peu lors des présentations au champ de tir (où l'on connaît la distance de la cible au mètre près) cette faible valeur de la V_0 et donc de la PUC.

Une fiabilité très longue à maîtriser :

Le faible entraînement en rotation du corps intérieur est bien maîtrisé et donnera peu de soucis. Par contre, la fusée piézoélectrique se montrera très capricieuse même bien après l'adoption de l'obus en 1961.

L'obus de 90 empenné

La munition empennée anti-chars est apparue sur le champ de bataille avec les premiers lance-roquettes à charge creuse. Au lendemain de la Deuxième Guerre mondiale, l'adaptation au canon du projectile empenné à charge creuse a été recherchée dans plusieurs pays notamment les États-Unis, le Canada, la Suisse.

En France, les études lancées par la DEFA, en particulier à l'atelier de Roanne, visent principalement la réalisation d'un projectile de 105 mm pour canon sans recul. Mais ce type d'arme ayant peu la faveur des utilisateurs, elles sont orientées à partir de 1957 vers la réalisation de projectiles pour engin blindé très léger, l'ELC d'abord l'AML ensuite.

Menées par l'IMP Larroumets à l'ARE jusqu'en 1955, les études sont conduites ensuite par l'IMP Arène à l'ARE d'abord puis à l'ABS (Bourges).

Le problème majeur est la précision pour pouvoir assurer une bonne probabilité d'atteinte jusqu'à 1 000 m un peu au-delà de la PUC correspondant à des V_0 de 800 m/s sur l'ELC et 720 m/s sur l'AML. On rappelle que les empennés existants à l'époque (projectiles de mortiers et de LRAC) sont tous subsoniques et que l'étude est donc confrontée à un domaine encore vierge.

La mise au point de ce projectile très novateur sera difficile et longue, peut-être par excès de perfectionnisme.

Ainsi faudra-t-il finalement admettre de sacrifier un peu²³² sur la traînée du projectile (ogive conique au lieu d'ogive convexe) pour reculer le centre de poussée aérodynamique jusqu'à obtenir une précision du tir satisfaisante.

A noter aussi que l'obtention d'une précision satisfaisante exige que l'on donne à l'obus (via des rayures de faible inclinaison dans le canon) une rotation de quelques tours par seconde dont l'objet est d'« enrouler » l'effet des défauts d'alignement de l'obus sur sa

²³² Mais beaucoup moins que ne feront les Américains dont les projectiles empennés anti-chars (M 456) ont l'aspect d'un rouleau à pâtisserie.

trajectoire théorique. Cette rotation doit être choisie pour éviter tout couplage avec la fréquence de pendulation longitudinale de l'obus.

L'obus de 90 empenné (figure 9) est adopté en 1962 sous l'appellation abrégée OCC90EMP Mle 62.

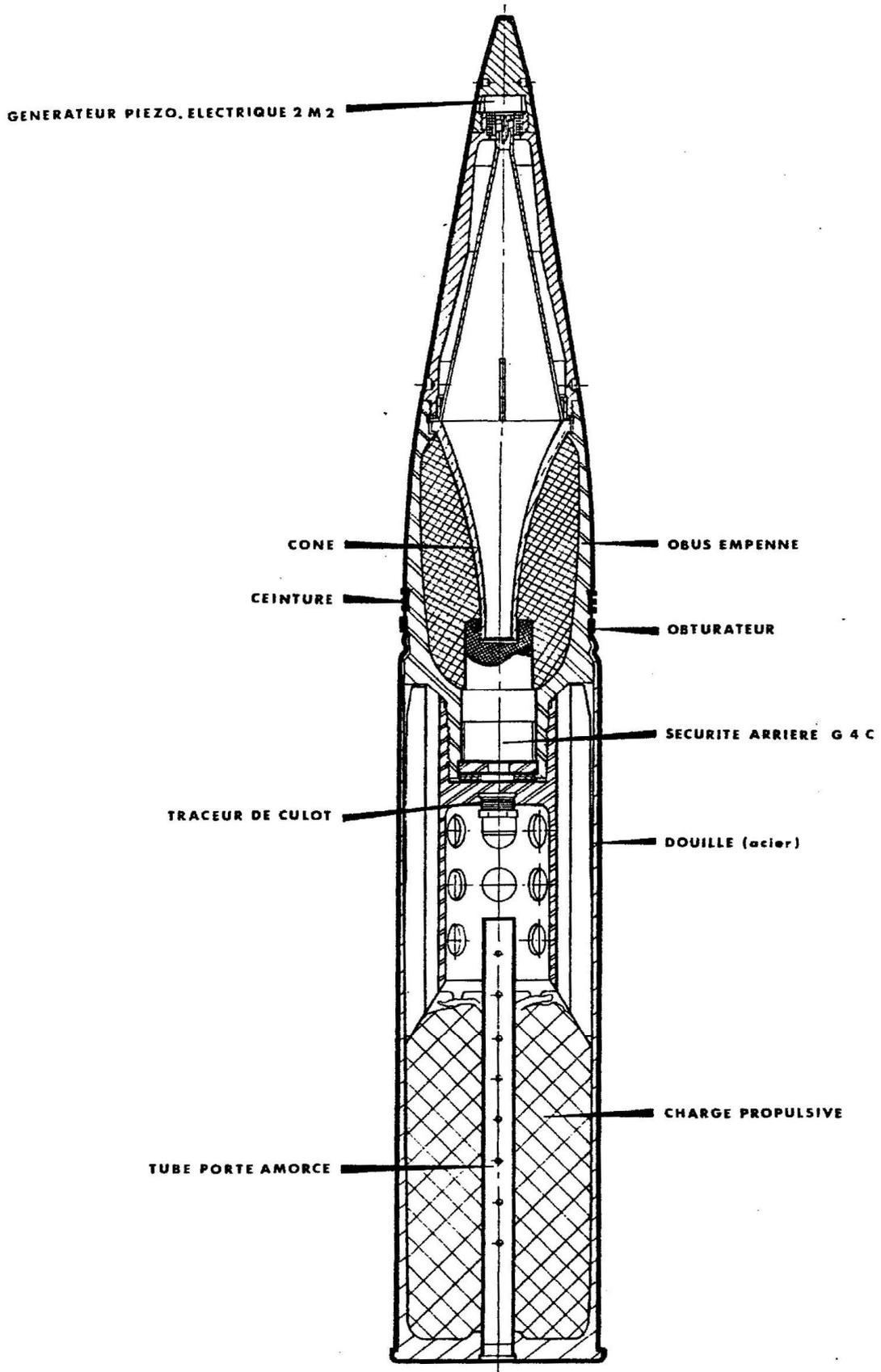


Fig. 9
 Cartouche à OCC90EMP Mle 62

C'est un obus très léger (3,7 kg) pour son calibre (90 mm) qui emporte cependant une charge creuse de 670 g d'hexolite (chiffres à comparer aux 10,8 kg et 760 g pour le 105 « G »). Le corps d'obus et l'empennage sont en alliage d'aluminium et sont protégés par une oxydation anodique dure.

Il est amorcé par une fusée piézoélectrique très semblable à celle de l'obus G mais qui se révélera moins capricieuse. Il perce 350 mm de blindage à incidence nulle ou 100 mm à incidence 64°20'.

Le choix difficile entre projectile à énergie cinétique et projectile à charge creuse

Si l'obus à charge creuse constitue la seule solution pour donner une véritable capacité anti-chars aux blindés très légers (moins de 10 tonnes) le choix entre le projectile à énergie cinétique et le projectile à charge creuse n'est pas évident pour les engins plus lourds.

La DEFA continue d'ailleurs l'étude d'un sous-calibré à sabot détachable pour le canon de 75 SA 50 du char AMX-13.

Projectile sous-calibré perforant pour canon de 75 mm de char AMX 13/FL10

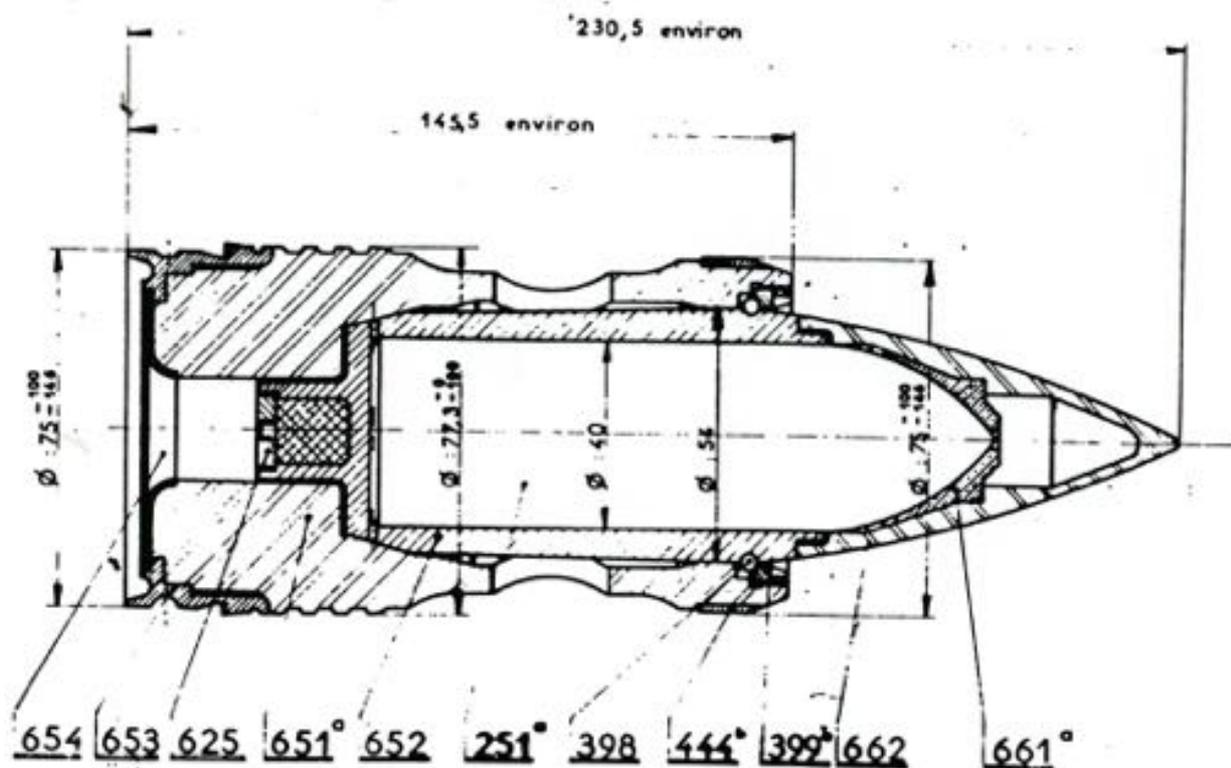


Fig. 10

Les performances nominales sont atteintes au début de la période que nous considérons (1956) à savoir :

- V_0 : 1310 m/s
- Perforation (à 1 000 m) :

80 mm sous 60° d'incidence, 300 mm sous incidence nulle

Cependant, la mise au point véritable n'interviendra qu'en 1962 mais l'état-major de l'armée de Terre (EMAT) se gardera de prononcer l'adoption pour ne pas compromettre la possibilité d'une valorisation de l'AMX-13 autour de l'obus « G ».

Un sous-calibré de 105/60/43 est également mis à l'étude pour le canon du futur char AMX-30.

Ayant surtout misé sur la charge creuse, nous avons, il faut l'avouer, un sérieux retard sur les britanniques dans la maîtrise des sous-calibrés (APDS en anglais).

Ces deux études de sous-calibrés (75/54/40 et 105/60/43) gardent leur crédibilité tant que l'IGA Carougeau, leur initiateur, dirige la DEFA. À son départ en retraite en 1961, les tenants de l'obus G ne sont plus contestés.

Certes, il est clair que le 105 « G » est le seul obus anti-chars qui perfore le juge de paix (la plaque OTAN 152 mm à 64°20') et ce régulièrement, à toutes distances et avec un effet arrière significatif.

S'ajoute à cette caractéristique objective la fierté de la DEFA d'avoir réalisé un projectile aussi complexe tant dans ses aspects mécaniques que pyrotechniques et qui restera sans équivalent dans le monde, mais aussi l'ambition légitime d'établir au-delà de la technique, la dimension industrielle sans laquelle il n'y a pas de vrai succès.

La supériorité de l'obus G est un dogme et l'auteur de ces lignes rapporte à ce sujet une anecdote :

Tout jeune chef du Service des études de l'ABS, j'avais été appelé à donner à l'EAABC (Saumur) une conférence sur l'évolution de l'armement des chars. J'avais prévu de présenter une étude paramétrique sur l'efficacité du char AMX-13 armé soit de l'obus G (V_0 800 m/s) soit du sous-calibré (V_0 1310 m/s).

Cette étude – dont la hiérarchie n'avait pas contesté les résultats tant qu'ils ne sortaient pas de la DEFA – montrait une supériorité incontestable du sous-calibré.

Selon les usages, j'avais envoyé à l'avance mon texte de la conférence, au Service technique de la DEFA.

Quelques instants avant l'heure d'entrer dans l'amphi à Saumur, on me passe un appel de l'ingénieur général chef de ST/AMU qui censure fermement mes conclusions...

Il faut dire que le problème comporte un grand nombre de paramètres. Le résumé qui suit permet de saisir l'alternative dans l'armement des engins blindés – sous-calibré ou charge creuse – qui a marqué toute cette période :

La probabilité de destruction P_d d'un char ennemi pour chaque coup tiré est le produit de la probabilité d'atteinte P_h par la probabilité de destruction du coup supposé arrivé sur l'objectif P_k .

Jusqu'à la portée utile de combat (PUC) – soit en mètres un peu plus que la V_0 en mètres par seconde – la P_h du premier coup sur objectif fixe est élevée pour autant que la dispersion propre de l'arme soit faible par rapport aux dimensions de l'objectif.

P_h chute très vite au-delà pour des engins qui comme l'AMX-13 ne disposent pas d'un télémètre.

Quant à P_k , son évaluation doit prendre en compte la répartition en angle solide apparent des différentes combinaisons épaisseur/incidence du blindage adverse... et dans cette pondération l'angle solide sous lequel est vu un dm^2 de blindage à l'incidence 60° est la moitié de celui sous lequel est vu un dm^2 de blindage sous incidence nulle. Cette considération limite l'avantage de l'obus qui perce la cible la plus difficile (la pointe avant du char adverse) dans la mesure où cette cible ne représente qu'une fraction réduite de l'objectif.

Le choix de l'obus G (P_h faible car V_0 faible, P_k élevée) pour armer le char AMX-30 n'a jamais été sérieusement mis en cause même s'il singularisait la France par rapport aux

autres grandes nations de l'OTAN (États-Unis, Grande-Bretagne, Allemagne) qui avaient retenu très pragmatiquement le canon anglais 105L7A1 et sa munition APDS (Ph élevée car V_0 élevée, Pk plus faible à grande distance).

Le sous-calibré dans une forme nouvelle, l'obus flèche, mettra tout le monde d'accord dans les années soixante-dix, comme on le verra en fin de chapitre.

Pour respecter la chronologie nous revenons maintenant aux canons développés pour les différents programmes.

L'ARMEMENT DU CHAR AMX-30

Le projet initial du canon porte le numéro D1507.

Il s'agit d'un canon de 105 mm tirant l'obus « G » à V_0 1 000 m/s, sous P_m 2 400 kg/cm².

Il a été dessiné par le bureau d'études de ST/ART à Saint-Cloud.

C'est un euphémisme de dire qu'il est inspiré du 88 PAK allemand de la guerre. Ce choix s'avérera d'ailleurs excellent et la mise au point de l'arme conduite par l'ABS ne rencontrera pas beaucoup de difficultés. En particulier le mode d'ouverture de la culasse par l'énergie d'un ressort armé par le recul du canon est moins générateur d'incidents que l'ouverture classique par un levier porté par la masse reculante et entraîné en rotation par une came fixe sur le berceau, lors du retour en batterie.

Durant sa mise au point, il recevra un manchon anti-arcure et sera ainsi le premier canon français équipé de ce dispositif qui améliore très sensiblement la justesse de l'arme.

Il sera également le premier canon français équipé d'un dispositif de chasse des gaz de combustion (soufflette) qui permet le tir prolongé tourelle fermée.

Il porte finalement le numéro de dossier D1512, un certain nombre de numéros intermédiaires retraçant notamment les tentatives de réaliser un canon apte à tirer également la munition sous calibrée anglaise APDS.

Les deux munitions nécessitant des angles de rayure sensiblement différents, ces tentatives demeureront vaines – à l'intime soulagement de la direction centrale de la DEFA (devenue entre temps DTAT).

On donne ci-dessous les caractéristiques principales de cette arme.

Canon de 105 D1512 devenu 105 Mle 62 après son adoption (cette appellation désigne la masse oscillante moins le masque blindé).

Longueur du tube :	5 900 mm
dont partie rayée :	5263 mm
Chambre :	637 mm
Inclinaison des rayures :	7°10'
Masse reculante :	1 980 kg
Longueur de recul :	400 mm
Effort de recul :	23 t

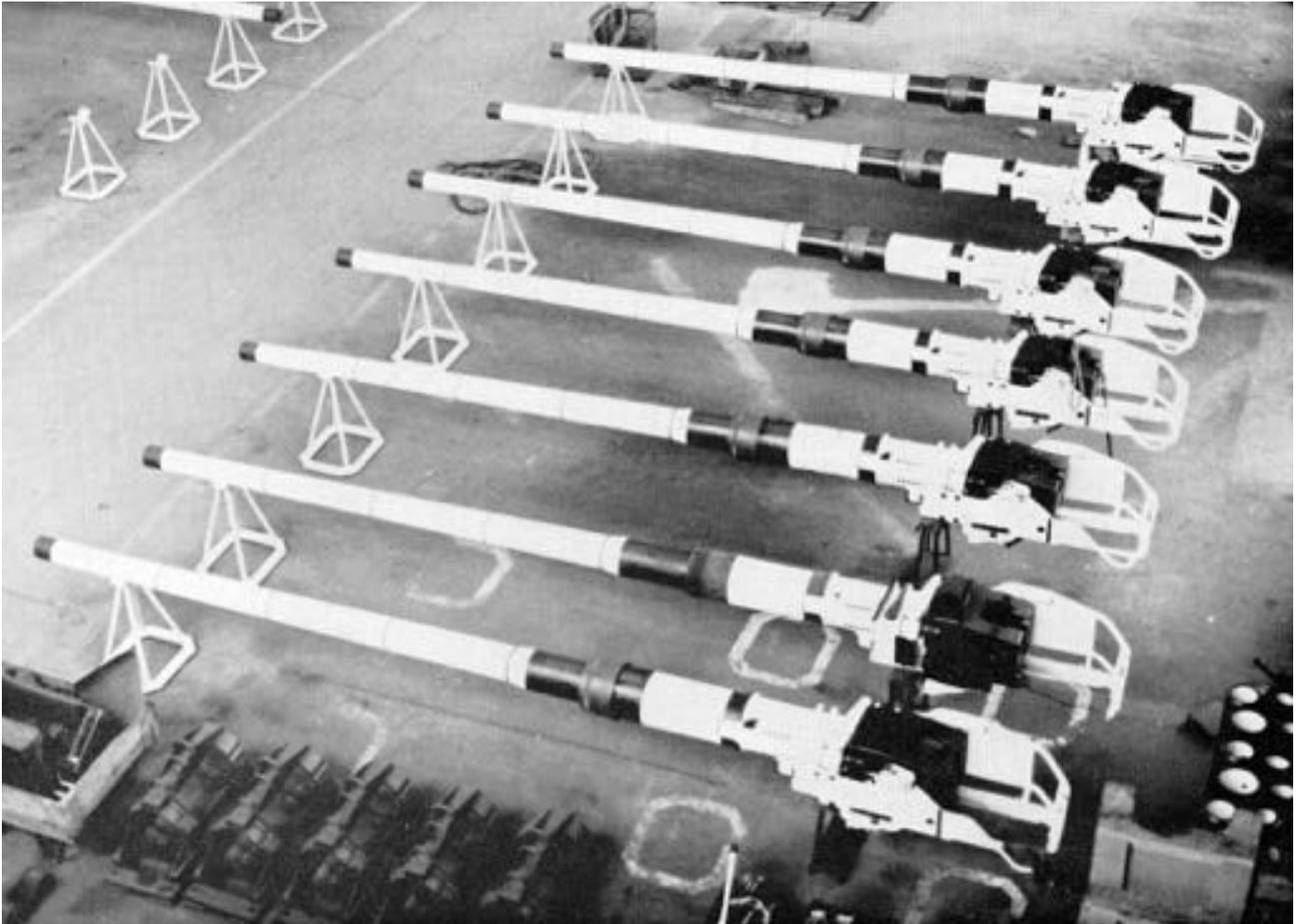


Fig. 11
Canons de 105 mm Mle 62, pour chars AMX-30

L'ARMEMENT DE L'AUTO MITRAILLEUSE LÉGÈRE PANHARD AML 90

Cet engin a d'abord été développé – à partir de 1956 – pour des missions de contre-guérilla en remplacement des AM Ferret d'origine anglaise. Les engins de reconnaissance en service, AMM8 d'origine américaine et EBR, sont mal adaptés à ces missions car ils ne permettent pas le tir de l'armement principal aux sites élevés souvent nécessaires contre un adversaire embusqué à proximité des routes.

C'est donc l'AML 60 armée d'un mortier de 60 spécifique et d'une mitrailleuse qui voit le jour la première au début des années soixante.

Dès la fin des années cinquante, une version reconnaissance de l'AML apte au combat anti-chars est mise en chantier. C'est l'arrivée de l'obus à charge creuse stabilisé par empennage qui permet de monter sur un véhicule de 5,5 tonnes une arme efficace contre n'importe quel char avec une portée utile voisine du kilomètre. Ce mariage restera très longtemps sans équivalent dans le monde et sera un facteur majeur du succès de l'AML 90 à l'exportation.

L'obus de 90 empenné était destiné initialement à l'Engin léger de combat ELC mais l'intérêt de l'EMAT pour cet engin s'est émoussé et l'ELC ne dépassera pas le stade de la présérie.

Cependant, la mise au point de l'armement de l'AML 90 bénéficie des travaux faits pour l'armement de l'ELC, les deux engins très différents dans leur conception étant de masses voisines.

Le montage sur l'AML (tourelle classique et non tourelle oscillante comme sur l'ELC) nécessite un canon spécifique qui portera pendant son développement le numéro D921A et deviendra après son adoption le canon de 90 Mle 62.

Les plans initiaux ont été établis par le bureau d'études de ST/ART à Saint-Cloud et le développement confié à l'Atelier de construction du Havre (AHE). Cet établissement est cédé à la SNECMA en 1962 et la gestion du dossier D921A passe à l'ABS. Ce canon tire l'obus de 90 à charge creuse, empenné à V_0 750 m/s sous P_m 1 100 kg/cm².

Les dimensions – voie et empattement – réduites et la hauteur assez élevée du canon obligent à limiter à 3 500 kg l'effort de recul, ce qui nécessite un frein de bouche de haut rendement – et bien sûr de masse faible. L'ABS réalisera ce frein de bouche par mécano-soudure, une technique qu'il vient de mettre au point et qui reste très exigeante sur le plan de la qualité. C'est la première fabrication de freins de bouche mécanosoudés pour l'Armée française²³³ (fig.12)

Il sera fabriqué au total environ 2 000 canons de 90 Mle 62 dont plus de la moitié pour l'exportation.

²³³ Les premiers freins de bouche mécanosoudés ont équipé les canons de 105D1508 destinés à l'État d'Israël.



Fig. 12
Frein de bouche mécano-soudé pour canon de 90 Mle 62

LES REVALORISATIONS DE L'EBR ET DE L'AMX-13

Les très modestes exigences de l'OCC 90 EMP Mle 61 en termes de masse et d'encombrement du canon conduiront tout naturellement à l'utiliser pour augmenter la capacité anti-chars des blindés en service.

Une première opération concernera l'EBR à tourelle FL11.

Cette tourelle légère est armée du canon de 75 SA 49 qui tire un obus perforant à V_0 600 m/s, parfaitement impuissant à toutes distances contre un char lourd.

L'opération de revalorisation, très simple, consistera à réalésier le canon de 75SA49 aux dispositions intérieures du canon de 90 mm D921A de l'AML 90. Ce canon de 90 mm portera le numéro D 924. La cartouche de l'AML 90 est directement utilisable dans le canon D 924 qui la tire à V_0 750 m/s.

Le développement est entièrement exécuté dans le courant de l'année 1963. La transformation en série des tourelles FL11 débute dès 1964. Elle portera sur 650 tourelles et sera achevée en 1968.

Moins évident est le choix d'une modernisation de l'armement des chars AMX-13 :

Au départ deux concurrents :

- sous-calibré de 75/54/40 tiré à V_0 1 310 m/s dans le canon même (75 SA 50) du char AMX-13.
- obus G tiré à V_0 800 m/s dans un canon de 105 D1504 qui remplace le canon 75SA50 d'origine dans une nouvelle tourelle FL12 (tourelle FL10 transformée).

Après un début de course assez ouvert l'obus G paraît l'emporter. La décision tarde mais entre temps la SOFMA obtient une commande de chars AMX-13 à tourelle FL12 pour les Pays-Bas, qui sera exécutée en 1962/1963.

Cependant, des incidents techniques apparaissent dès la livraison de ces chars ; certains concernant le canon sont rapidement surmontés et finalement l'ensemble de l'affaire est résolu très honorablement par la partie française.

En 1963, la décision concernant les AMX-13 de l'Armée française n'est toujours pas prise. L'EMAT et la DTAT préfèrent le canon D 1504 avec l'obus G mais le coût de cette solution dépasse les ressources qui pourraient être allouées à l'opération.

Dans l'euphorie de l'opération sur l'EBR, l'EFAB (nouvelle dénomination de l'ABS) propose une opération analogue sur l'AMX-13 :

Réalésage du canon au calibre 90 et définition d'une chambre compatible avec les mécanismes du canon de 75 SA 50. Ce sera le canon D 960 qui tire l'obus de 90 empenné à V_0 950 m/s.

Une V_0 augmentée (par rapport à la V_0 des canons de l'AML et de l'EBR) augmente la PUC pour autant que la précision et la justesse soient maîtrisées en valeur absolue. La mise au point du D960 sera ainsi plus délicate que celle du D924.

Cet « outsider » qui a au moins l'avantage du faible coût est finalement choisi et le canon D960 est adopté sous la dénomination de canon de 90 mm F3. L'EFAB transformera 875 tourelles FL10 (860 pour la France et 15 pour la Tunisie) entre 1966 et 1970.

L'ARMEMENT DE L'AMX-10 RC

En 1960 est lancée l'étude d'un engin de reconnaissance amphibie à chenilles de huit tonnes (ERAC). Le choix d'un obus empenné à charge creuse comme munition principale anti-char s'impose compte tenu des résultats obtenus avec l'obus de 90 mm.

Le projet porte sur un obus de 105 mm à corps en acier permettant un tir sous plus forte pression (P_m 2 100 kg/cm²) et atteignant V_0 850 m/s dans le canon D 739.

Les essais sur affût de circonstance en 1962 puis sur l'ERAC prototype en 1963 ne sont pas à la hauteur des prévisions : la précision est juste acceptable et la perforation est médiocre eu égard au calibre.

Entre temps, le projet ERAC est arrêté. Son successeur l'Engin de combat amphibie (ECA) n'aura pas plus de chance :

Après avoir donné lieu à une étude comparative entre les solutions canon et missile (tourelle HOT ou casemate ACRA) il est arrêté à son tour à la fin de la décennie 1960.

A partir de 1970, un nouveau programme de véhicule blindé amphibie apparaît dans une gamme de poids légèrement supérieure (10-15 tonnes) : Il donnera le jour à deux engins tout à fait différents :

Le transport de troupe chenillé AMX-10 P

L'AMX-10 RC (AMX-10 roues canon) dont la mission principale est la reconnaissance mais dont l'armement doit lui permettre d'affronter n'importe quel blindé à des distances importantes.

Ces deux engins blindés seront fabriqués en série et sont encore en service lorsque ces lignes sont écrites en 2005.

Pour l'armement de l'AMX-10 RC, on s'oriente naturellement vers un projectile de 105 empenné au calibre proche de celui étudié initialement par l'ERAC mais avec une balistique plus puissante assurant une V_0 de 1 100 m/s. C'est le projet MECA/EFAB.

Un projectile à propulsion additionnelle et empennage déployant MECA/APX étudié par l'APX est mis en compétition avec la solution plus conventionnelle développée par l'EFAB. La propulsion additionnelle permettrait d'augmenter sensiblement la PUC comme résumé dans le tableau ci-dessous (tir dans le même canon) :

	Masse du projectile (kg)	Pm (kg/cm ²)	V ₀ (m/s)	PUC (pour T = 1,2 sec)
MECA/EFAB	4,6	2 000	1 100	1 175
MECA/APX	6,5	2 200	1 020	1 540

Cependant, la précision indispensable n'est pas obtenue avec le MECA/APX en raison principalement des perturbations induites par le déploiement de l'empennage et la solution MECA/EFAB est finalement choisie en 1974.

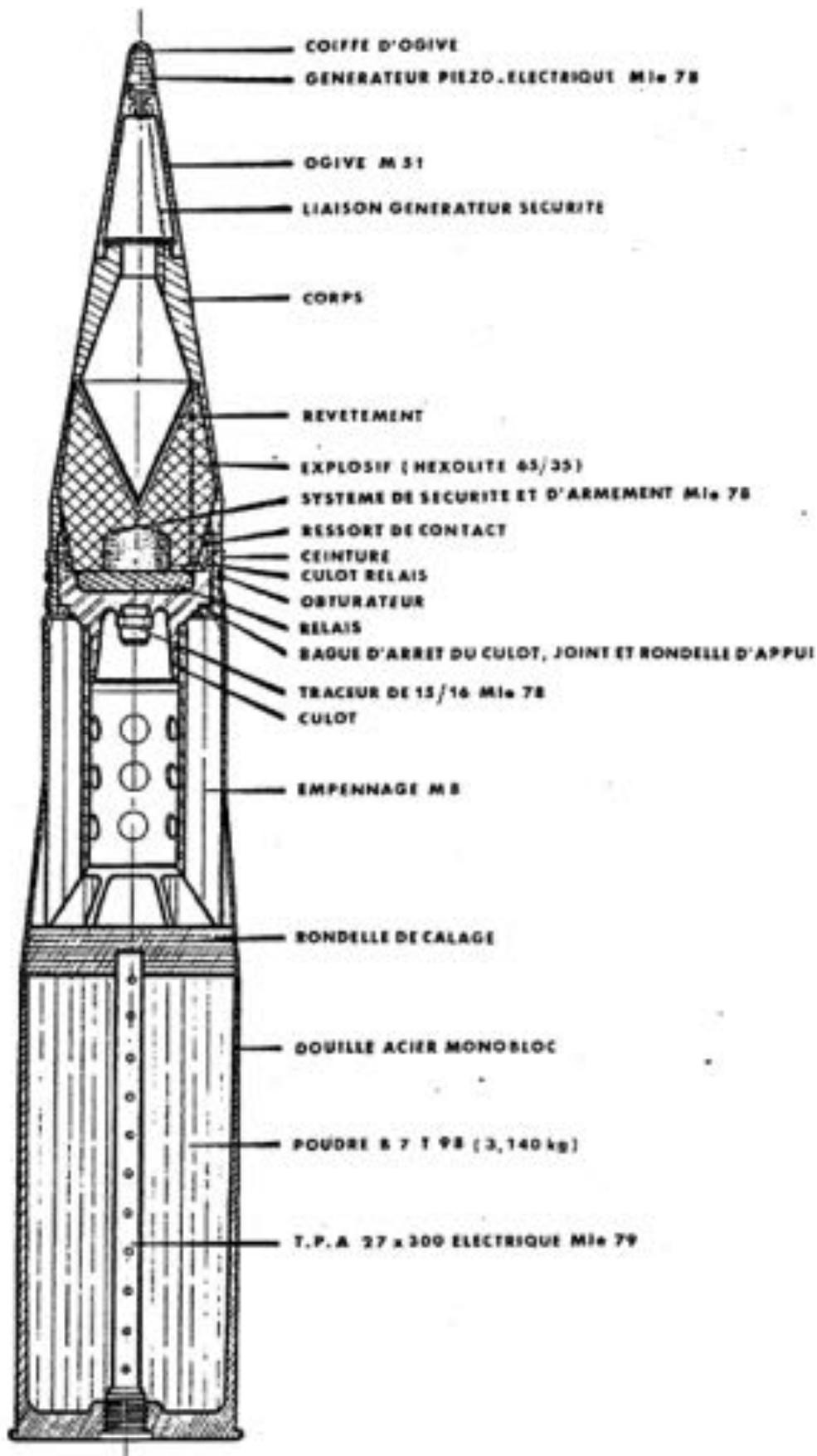


Fig.13.
 Cartouche d'obus à charge creuse de 105mm Mle F3 pour l'AMX-10 RC

C'est donc un canon de 105 tirant un empenné au calibre (OCC 105 Mle F3, figure 13) à V_0 1 100 m/s qui équipera la tourelle TK 105 de l'AMX-10 RC.

Cette extrapolation apparemment limitée du 90 empenné se sera avérée difficile et les performances obtenues tant en précision/justesse qu'en perforation resteront relativement modestes et irrégulières.

En ce qui concerne précision et justesse, il est clair qu'un canon long (nécessaire à assurer une V_0 élevée) et léger (nécessaire pour respecter la contrainte de masse dans un véhicule amphibie) est un facteur défavorable ; et ce alors que le « besoin de précision angulaire » augmente pour pouvoir réellement bénéficier de l'augmentation de la V_0 .

En ce qui concerne la perforation on restera en dessous des performances de l'OCC 105 F1 (obus G) dont le diamètre de la charge, portée par le corps intérieur de cet obus, est pourtant sensiblement plus faible que celle du 105 empenné.

Pour être complet et apporter cette fois une vision plus positive il faut rappeler que l'AMX-10 RC est le premier engin blindé français qui sera équipé d'un simbleautage automatique et d'une conduite de tir automatique.

Par simbleautage automatique il faut entendre la référence directe du pointage à la volée du canon par l'intermédiaire d'un miroir de volée, alors que la lunette de tir liée au berceau masque ne prend en compte ni les phénomènes d'échauffement dissymétrique de ce berceau masque (en alliage léger) ni l'arcure résiduelle (le canon est équipé d'un manchon anti-arcure) du tube.

La conduite de tir automatique COTAC va modifier profondément l'exécution du tir opérationnel : une visée suivie d'un appuyé mesure pour déclencher le télémètre laser et la tachymétrie, le calculateur élabore les corrections du tir, lesquelles sont introduites automatiquement dans la lunette de pointage au niveau d'un déviateur composé de prismes tournants ; le tireur n'a plus qu'à maintenir la visée, sans se préoccuper de l'introduction des corrections, jusqu'au moment du départ du coup.

Les difficultés rencontrées par la fiabilisation de la munition feront que les mérites de la COTAC attendront longtemps avant d'être reconnus.

Ce sont tout de même ces deux innovations simbleautage automatique et conduite de tir automatique qui préfigurent les conduites de tir de l'AMX-30 B2 (version modernisée de l'AMX-30) et ultérieurement celle du char Leclerc.

LES PREMIÈRES ÉTUDES DE PROJECTILES FLÈCHES

Nous avons vu l'armée de Terre et la DEFA s'orienter dès la décennie 1950 vers le projectile à charge creuse (OCC) comme munition anti-chars des engins blindés, puis mener à bien le développement et la production de ces projectiles tant dans les conceptions « à charge creuse non tournante » (obus G) que dans les conceptions à stabilisation par empennage au calibre.

La pertinence de ce choix est incontestable pour l'armement des blindés légers comme en témoignera le succès de l'AML 90 à l'exportation.

Pour les chars de bataille capables d'accepter le tir d'un projectile de quantité de mouvement élevée, la question est plus controversée. Les Anglo-Saxons qui ont fait le choix du sous-calibré (APDS) à stabilisation gyroscopique ont, sur ce type de projectile une avance indiscutable sur la France.

Ils entreprendront avant nous et à plus grande échelle l'étude d'un sous-calibré très novateur, le projectile flèche. Il s'agit d'un véritable saut technologique augmentant en même temps et considérablement tant la probabilité d'atteinte que la probabilité de destruction.

Les Russes utilisent dès les années 1960 un tel projectile pour le char T62, devançant les Américains dont le projectile M735 sera le premier projectile flèche du camp occidental.

Rappelons brièvement en quoi consiste le projectile flèche. Un pénétrateur en matériau très dense – pseudo alliage de tungstène ou uranium appauvri – de très petit calibre et de très grand allongement (15 au moins) est tiré à une V_0 très élevée (au moins 1 500 m/s).

Dans ces conditions, le mécanisme de la perforation du blindage est très différent de celui du perforant classique. Il n'y a plus cisaillement du blindage mais pénétration « hydrodynamique » ; le pénétrateur agit à la manière d'un jet de charge creuse consommé au fur et à mesure de la pénétration.

C'est la densité, l'allongement et la vitesse du pénétrateur qui comptent, pas ses caractéristiques mécaniques. Cela rend d'ailleurs le pénétrateur bien plus facile à fabriquer que ne l'était le noyau en carbure de tungstène inusinable du sous-calibré classique.

Un tel projectile très allongé ne peut recevoir qu'une stabilisation aérodynamique qui le fera ressembler à une flèche.

Il est tiré dans un canon de calibre respectable (105 mm et plus) au moyen d'un sabot de lancement. « Tiré » est par ailleurs le mot juste car pour assurer à la flèche une précision convenable, le sabot de lancement doit prendre appui très en avant sur la flèche qui sera ainsi tractée-poussée et non simplement poussée. Ce sabot s'évacue par morceaux à la sortie du tube.

Côté français, on est au courant de l'existence de tels développements. D'ailleurs, le LRSL (puis ISL) emploie certains anciens de Peenemünde où des études de projectiles flèches avaient été conduites pendant la Deuxième Guerre mondiale ; mais cette voie de recherche est délaissée pratiquement jusqu'en 1964.

A Saint-Cloud comme à Saint-Louis, la priorité dans la lutte anti-chars est toujours à la charge creuse. Un développement important sera consacré durant toute la décennie 1960 à l'ACRA (missile tiré par un canon) un moyen de s'affranchir de la faible probabilité d'atteinte des obus à charge creuse aux grandes distances d'engagement. Ce développement très difficile et coûteux sera arrêté avant terme. Ce n'est qu'à partir de 1970 que l'effort sera mis sur le projectile flèche au titre d'une étude générale initiée par la DTAT et dont l'EFAB est chargé.

Dès 1972, la DTAT pourra présenter au tir un prototype devant le DGA d'abord puis devant le ministre et le CEMAT, en concurrence avec les autres options : le projectile perforé déjà les cibles simple et triple représentatives du char lourd.

La précision laisse encore à désirer. Le passage de la flèche poussée à la flèche tractée-poussée permettra in fine d'atteindre un écart-type de 0,2/1000 m tant en hauteur qu'en direction et donc de garantir une très bonne probabilité d'atteinte au premier coup jusqu'à 2 000 m au moins. La figure 14 retrace (de la gauche vers la droite) l'évolution de la flèche poussée à la flèche tractée-poussée.



Fig. 14
L'évolution des munitions « flèches »

Force est de constater que le retard initial a été rattrapé et qu'au terme retenu pour notre relation historique (1975) la mise au point de l'obus flèche par les équipes de l'EFAB est pratiquement acquise. Elle vaudra à l'Ingénieur en chef Moreau et à l'Ingénieur principal Sauvestre le prix Chanson en 1979.

La première application portera sur la revalorisation de l'armement de l'AMX-30 B2 qui recevra le projectile OFL 105 Mle F1.

Le char Leclerc bénéficiera d'emblée d'une munition flèche aux performances exceptionnelles ; l'OFL 120 F1 A :

- Vitesse initiale : 1 790 m/s
- Portée utile : 4 000 mètres
- Perforations des cibles homogène et composite char lourd et des cibles réactives.

CHAPITRE 7

RÉARMEMENT DES OUVRAGES DE LA FORTIFICATION PERMANENTE 1946-1961²³⁴

PRÉAMBULE

Le réarmement des ouvrages, dans lequel la DEFA a été impliquée, ne représente qu'un des volets de la remise en valeur de la fortification permanente aux frontières du nord-est (6ème RM) et du sud-est (8ème et 9ème RM). Cette revalorisation a, en effet, nécessité, dans les quinze années qui ont suivi la Libération, d'autres interventions²³⁵ de la part des services des transmissions, de la Direction centrale du matériel et surtout de la Direction du génie, l'ensemble des travaux étant coordonné, à partir de 1951, par le Comité technique des fortifications (CTF) présidé par le général inspecteur du Génie.

La participation de la DEFA à cette opération a porté sur :

- des fabrications de matériels d'armement et d'équipements d'optique identiques à ceux existant en 1939,
- des fabrications de rechanges destinées d'une part à la remise en état par la DCM des matériels récupérés et d'autre part à la maintenance,
- des fabrications de munitions,
- des révisions de cinquième échelon de liens élastiques d'artillerie et d'équipements d'optique,
- des études de matériels nouveaux destinés à la modernisation de l'armement de la fortification permanente,
- des travaux sur le gros œuvre menés en liaison avec la Direction du génie (remises en état d'ouvrages, études de nouvelles embrasures de casemates...)²³⁶.

Cette participation de la DEFA est très peu connue, de nos jours, dans les milieux de l'Armement car l'intérêt de ce moyen statique de défense aux frontières s'est rapidement estompé à la fin des années 1950 pour aboutir à un « désengagement » en 1961. Sur le plan technique, elle n'a donné lieu à aucun progrès notable dans le domaine de l'armement conventionnel, la seule « retombée » concrète étant l'adoption pour l'équipement de tourelle des automitrailleuses légères Panhard (AML 60) du mortier de

²³⁴ Par l'Ingénieur général de l'armement (CR) Marest avec la participation du lieutenant-colonel (CR) Truttmann. Sources : Service historique de la défense, Centre d'archives de l'armement (archives du bureau Artillerie du Service Technique de la DEFA) et Département armée de Terre : (fonds Lemaitre) ; Michel de Lombarès *et al.*, *Histoire de l'artillerie française*, Paris, Lavauzelle, 1984.

²³⁵ Remise en état du gros œuvre (en particulier dans les ouvrages de la ligne Maginot qui avaient subi des dégâts en 1940) des centrales électriques, des installations de climatisation, des réseaux téléphoniques intérieurs et extérieurs, des aménagements des tourelles, casemates et cloches, ainsi que de l'armement récupéré.

²³⁶ Actions placées à la DEFA sous la responsabilité du Bureau matériels du génie du Service technique (ST/MG). Parmi ces actions, la remise en état des tourelles à éclipse confiée à la société Batignolles/Châtillon, l'étude d'une nouvelle embrasure de casemate d'artillerie confiée à la société des Ateliers et chantiers de la Loire.

60 CS²³⁷ dont l'étude engagée avant-guerre avait été reprise en 1952 dans le cadre de l'amélioration de la capacité de feu des cloches de la fortification²³⁸. Mais les actions engagées par la DEFA méritent toutefois d'être mentionnées pour deux raisons :

- Au plan financier²³⁹ il ne s'agit pas d'une opération mineure si on la compare à d'autres opérations engagées à la même époque par la DEFA dans le cadre de la réalisation du premier plan d'armement d'après-guerre. Ainsi, les commandes de fabrication de matériels neufs de calibre de 75 mm, 81 mm, 135 mm et de rechanges associés à ces matériels²⁴⁰, notifiées à la DEFA en 1951, ont nécessité 1 211 millions de francs (anciens francs) de financement – dont 464 millions de francs pour les matériels neufs et 747 millions de francs pour les rechanges²⁴¹ – alors que dans la même période (1951/1956) la fabrication des 110 obusiers de 105 mm Mle 50 tractés destinés à l'artillerie divisionnaire coûtait 990 millions de francs hors rechanges de troisième, quatrième et cinquième échelons ;
- Au plan de l'opportunité, la priorité donnée à la rapidité de réalisation sur les performances techniques souhaitables au début des années 1950, dans le choix de l'armement, conduisant à relancer des fabrications de matériels identiques à ceux montés dans les ouvrages en 1939, à l'exception des moyens de défense antichar – canons de 25 mm, 37 mm, 47 mm – qui étaient devenus obsolètes vis-à-vis de la menace blindée d'après-guerre.

RAPPEL DES CAPACITÉS DE FEUX DE LA FORTIFICATION PERMANENTE EN 1939

L'armement des ouvrages est installé dans des tourelles, casemates et cloches. Il comprend :

- des moyens de défense rapprochée contre le personnel à découvert : mitrailleuses jumelées et fusils mitrailleurs de 7,5 mm, lance-grenades de 50 mm,
- des moyens de défense en tir tendu contre les véhicules tactiques et blindés : canons de 25 mm, 37 mm, 47 mm,
- des moyens de feu en tir indirect : mortiers de 81 mm, canons de 75 mm de divers modèles, obusiers (appelés également lance-bombes) de 135 mm, canons de 155 mm²⁴².

La mise en place des feux est assurée par des moyens optiques d'observation et de tir : périscopes, lunettes, appareils de pointage. Les ouvrages ne sont pas dotés de moyens propres de défense antiaérienne. La liste détaillée des matériels installés dans les ouvrages fait l'objet de l'annexe I. Les matériels sont communs aux deux zones de fortifications du nord-est et du sud-est, à l'exception de trois types de canons spécifiques

²³⁷ 60 CS = 60 mm pour cloche spéciale.

²³⁸ Voir plus loin, au paragraphe « Description des études de modernisation : Armement des tourelles d'infanterie à mitrailleuses jumelées, des cloches et des créneaux de cloches ».

²³⁹ Entre 1951 et 1961, le montant total des travaux de remise en état et des études de modernisation de la fortification permanente aux frontières du nord-est et du sud-est (hormis le financement des travaux d'entretien sur crédits de la Direction du génie et le financement des besoins de munitions) a été de l'ordre de 4 800 MF (anciens francs) dont 1 760 MF environ pour les interventions de la DEFA, c'est-à-dire plus de 35 % du total.

²⁴⁰ Les commandes de rechanges couvrent à la fois les besoins de la maintenance et ceux de remise en état par la DCM des matériels récupérés nécessitant réparation.

²⁴¹ Montants financiers extraits des tableaux de l'annexe V.

²⁴² Canons de 155 mm Mle 1877 de Bange installés dans deux tourelles doubles du fort du Vieux Barbonnet (frontière des Alpes-Maritimes).

des ouvrages de la frontière des Alpes : les canons de 75 mm Mle 31 et Mle 33 de casemate ainsi que les canons de 155 mm Mle 1877 de Bange des tourelles du fort du Vieux Barbonnet.

La panoplie de matériels est très diversifiée ; ainsi, pour les trois calibres de 75 mm, 81 mm et 135 mm, on relève sept modèles d'armes donnant lieu à onze variantes de montage en ouvrages (tourelles et casemates), l'unification des munitions par calibre étant toutefois sauvegardée²⁴³. Cette diversification des matériels se répercute sur les montages en tourelles et casemates : les tourelles cuirassées sont dotées, en montage jumelé, de deux canons de 75 mm ou de deux lance-bombes de 135 mm ou de deux mortiers de 81 mm ; les casemates pour tir de flanquement sont armées de deux (ou trois) canons de 75 mm ou d'un lance-bombes de 135 mm ou de deux mortiers de 81 mm.

En 1939, une grande partie de l'armement de la fortification permanente est de conception relativement récente²⁴⁴. Pour la réalisation de cet armement, il a été fait appel à la fois à l'industrie d'État (établissements de la Direction de l'artillerie puis de la DFA) et à l'industrie privée aussi bien pour les phases de développement que de production. Cette répartition des tâches industrielles fait l'objet de l'annexe II qui met en relief le rôle important de la société des Ateliers et chantiers de la Loire (ACL), la participation de la Compagnie générale de construction de locomotive Batignolles-Chatillon (CGCL) et de la Société d'application générale d'électricité et de mécanique (SAGEM) à côté des établissements d'État spécialistes d'artillerie, l'Atelier de construction de Bourges (ABS), l'Atelier de Construction de Puteaux (APX) et l'Atelier de construction de Tarbes (ATS). Cette répartition des tâches, dans la réalisation des matériels de première dotation avant 1939, servira de référence dans le choix des industriels auxquels seront confiées, à partir de 1951, les reprises de fabrications.

GENÈSE DE LA REMISE EN ÉTAT DE LA FORTIFICATION PERMANENTE AUX FRONTIÈRES DU NORD-EST ET DU SUD-EST (1946-1950)

Dès 1946, la Direction centrale du génie, sur instructions de l'état-major, prend des mesures conservatoires concernant la fortification permanente. Ces mesures portant sur :

- le recensement des installations et matériels encore utilisables,
- le rassemblement de la documentation officielle²⁴⁵ d'avant-guerre,
- l'interdiction de prélèvement de matériels,
- la création d'une commission de classement des ouvrages.

²⁴³ Avec une réserve concernant le canon de 75 Mle 31 de casemate pour lequel la standardisation avec les autres canons de même calibre est limitée aux projectiles.

²⁴⁴ Pour l'ensemble des armes de calibre de 50 mm à 135 mm les années d'adoption officielle s'échelonnent entre 1929 et 1935.

²⁴⁵ De son côté, la DEFA entreprend à partir d'août 1946, une opération de recherche et de rassemblement des documents techniques indispensables en cas de reprise des fabrications (tables de construction, cahiers des charges...).

Pour les matériels de calibre 37 mm à 135 mm, les recherches sont menées par le Bureau artillerie du Service technique (ST/ART) auprès des responsables des fabrications d'avant-guerre (voir fin du chapitre II). Il faudra plus de deux ans pour rassembler cette documentation, l'opération étant considérée comme achevée à la fin 1948 avec toutefois des réserves concernant la validité de certains documents (incertitudes sur les mises à jour tenant compte des dernières modifications de 1939/1940).

Au cours du deuxième semestre 1947, le recensement (alinéa 1) a été opéré et la documentation (alinéa 2) a été en grande partie réunie. L'état-major envisage alors (Novembre 1947) une remise en état « partielle » des fortifications permettant d'obtenir progressivement un ensemble cohérent dans un secteur territorial déterminé, l'ordre d'urgence sectoriel étant :

- la zone du nord-est, avec en priorité la zone fortifiée de Metz puis ensuite celle de la Lauter,
- la zone du sud-est,
- la zone du nord (de la mer du Nord à Montmédy),
- la rive gauche du Rhin.

Une étude des conditions de cette remise en état éventuellement est demandée par l'état-major à la Direction du Génie. Cette étude sera confiée au Général Fortin²⁴⁶.

Le rapport du Général Fortin, adressé à l'état-major à la fin novembre 1947, fait apparaître que :

- dans le Nord et sur la rive gauche du Rhin, les ouvrages ont beaucoup souffert et ne sont plus que des « abris passifs », dans le nord-est et dans le sud-est, les fortifications sont dans un état assez satisfaisant²⁴⁷, ce qui doit permettre de les remettre en service progressivement et de pouvoir les utiliser aux divers stades des travaux,
- en ce qui concerne l'armement, l'équipement de 1940 des tourelles et casemates d'infanterie et des cloches²⁴⁸ a, dans la plupart des cas disparu ; par contre, celui des tourelles et casemates d'artillerie subsiste dans une forte proportion²⁴⁹ ; le remplacement des matériels manquants imposera des reprises de fabrications probablement limitées²⁵⁰ ; des fabrications de munitions seront nécessaires²⁵¹.

Par ailleurs, le général Fortin suggère que soit créé un organisme central coordonnateur des actions à mener de front, sous diverses responsabilités – Génie, Transmissions, DCM, DEFA – et propose, pour cet organisme, la dénomination « Comité des fortifications ».

La décision, au niveau ministériel, sera prise au tout début 1950, prenant en compte les propositions du général Fortin, la décision porte sur l'engagement d'entretien de l'ensemble de la fortification aux frontières du nord-est et du sud-est ainsi que sur l'amorce d'une restauration des ouvrages des Alpes. Elle prévoit par ailleurs la création d'un « Comité technique des fortifications »²⁵².

²⁴⁶ Inspecteur du génie.

²⁴⁷ Dans la zone du sud-est, après le désarmement opéré par les Italiens, les Allemands ont entrepris, à partir de 1943, un réarmement partiel dans les ouvrages du secteur des Alpes Maritimes, ces ouvrages pouvant intervenir par leurs feux sur le littoral méditerranéen.

²⁴⁸ Le général Fortin propose que ce qui subsiste de cet armement soit rassemblé au profit des zones fortifiées à rééquiper en première urgence.

²⁴⁹ Les matériels récupérés (canons de 75 mm, mortiers de 81 mm, lance bombes de 135 mm devront être révisés ou même reconstruits selon le degré de détérioration subi (travaux effectués par la DCM avec la participation de la DEFA).

²⁵⁰ Pour limiter les quantités de matériels à fabriquer, le général Fortin propose que dans un premier temps, les casemates de flanquement, où l'équipement normal est de deux ou trois matériels ne soient dotées que d'un (au lieu de deux) ou de deux (au lieu de trois) armes.

²⁵¹ Par suite du ralentissement à partir de 1954 du financement de la remise en état, les fabrications de munitions nouvelles pour la dotation de guerre resteront très faibles et très éloignées du besoin estimé alors que les ouvrages auront été en grande partie réarmés.

²⁵² Sigle CTF – Voir en annexe III, fiche relative à la mission et aux réunions du CTF.

LANCEMENT DE L'OPÉRATION DE RÉARMEMENT DE LA FORTIFICATION PERMANENTE AUX FRONTIÈRES DU NORD-EST ET DU SUD-EST (1950-1951)

En application de la décision ministérielle d'août 1950, l'état-major prescrit, en septembre/octobre de la même année d'entreprendre toutes études visant à la remise en état et au réarmement des ouvrages existants de fortification situés dans les Alpes, la revalorisation recherchée devant pouvoir être effectuée rapidement au prix de mesures relativement simples²⁵³.

Une visite des ouvrages du sud-est est organisée à la fin octobre 1950 par l'inspecteur du Génie avec la participation d'officiers de la Sections technique de l'armée (STA) et d'Ingénieurs de la DEFA²⁵⁴. Les conclusions de cette mission font l'objet d'un rapport adressé à l'état-major par le directeur de la STA²⁵⁵ le 11 décembre 1950. Ce rapport attire l'attention sur :

- l'évolution de la menace depuis 1940 : cette évolution doit conduire à la mise en œuvre d'un plan de feu plus puissant capable d'assurer la protection des ouvrages²⁵⁶.
- les insuffisances et lacunes des solutions envisageables pour un réarmement rapide vis-à-vis de cette menace, le domaine le plus critique étant celui de l'armement antichar ; un tel réarmement ne peut constituer qu'un stade provisoire s'inscrivant dans une réorganisation complète demandant des délais importants.

Pour le réarmement à court terme, deux orientations se présentent :

- soit un équipement identique à celui d'avant guerre (dont seraient éliminés toutefois les matériels devenus obsolètes) ; cette solution privilégie la recherche du délai minimum de remise en service ; elle permet de poursuivre sans aléas, par application des documents de définition en 1939, les travaux sur le gros œuvre et la remise en place des équipements ; la reconstruction des matériels d'armement récupérés, le recensement et le rassemblement des stocks de munitions existantes participent à cet objectif de délai minimum de retour à une certaine capacité opérationnelle mais cette dernière reste limitée ; elle est même quasiment inexistante dans le domaine antichar,
- soit un équipement où seraient introduits certains matériels de « substitution » permettant d'accroître la puissance de feu sans remise en cause profonde du délai de revalorisation des ouvrages ; ces solutions sont basées sur l'utilisation de matériels existants disponibles ; elles portent à la fois sur l'armement antichar des casemates d'infanterie et des créneaux de cloches et sur l'armement des tourelles et casemates d'artillerie ; la viabilité de ces solutions de substitution est liée d'une

²⁵³ A la même époque (1950/1951), la remise en état des ouvrages de la zone fortifiée du nord-est est engagée ; pour l'équipement des tourelles et casemates d'artillerie, le réarmement est basé sur la récupération et la reconstruction de matériels installés en 1939 ; les besoins de matériels complémentaires seront regroupés avec ceux de la zone fortifiée du sud-est dans les commandes de matériels neufs, rechanges et équipements notifiées par l'état-major à la DEFA en 1951.

²⁵⁴ Les représentants de la DEFA sont l'ingénieur en chef Rivals, chef du Service des études de l'ABS et l'ingénieur principal des travaux Nicolas du Service optique de l'APX.

²⁵⁵ Le colonel Lavaud.

²⁵⁶ La mise en place rapide des plans de feux conduit à repenser les moyens de transmissions pour les besoins propres des troupes de forteresse et pour ceux des troupes d'intervalles. D'autre part, la sécurité des ouvrages vis-à-vis de la menace blindée à envisager nécessite un durcissement de la protection des tourelles et des casemates. Ces questions qui relèvent de la Direction du génie et de la Direction des transmissions ne sont pas traitées dans le présent article limité aux seuls problèmes d'armement et aux interventions de la DEFA.

part, à la compatibilité opérationnelle des matériels envisagés avec le gabarit et l'organisation des tourelles et des casemates, d'autre part, à l'existence, pour ces matériels, de munitions ayant des caractéristiques balistiques apportant le gain de performances recherché. L'ensemble des réflexions engagées à ce sujet fait l'objet de l'annexe IV.

Aucune solution de substitution ne sera en définitive retenue et les décisions prises par l'état-major entre mars et septembre 1951 relatives aux actions de nature industrielle à engager pour permettre le réarmement rapide de la fortification permanente se référeront uniquement à l'équipement des ouvrages en 1939. Les commandes notifiées à la DEFA portent sur :

- des fabrications de matériels complets,
- des fabrications de rechanges destinées à la fois à la reconstruction par la DCM des matériels récupérés et à la maintenance,
- des fabrications d'équipements, en particulier de matériels d'optique,
- des révisions et reconstructions de cinquième échelon d'organes sensibles de matériels récupérés (liens élastiques d'artillerie) et d'équipements (optique...).

Rien n'aura été décidé pour l'armement antichar des casemates d'infanterie et même en 1956, le CTF, au cours de sa neuvième réunion, considérait que « tant que les études d'armement AC adapté à la fortification – engin sol-sol, nouveau canon – n'auront pas abouti, il ne pourra être question que de stocker du matériel de barrage – barbelés, mines²⁵⁷ – soit dans des dépôts voisins de la zone fortifiée, soit dans les ouvrages eux-mêmes ».

EXÉCUTION DES COMMANDES NOTIFIÉES À LA DEFA (1951-1956)

Matériels

Les commandes notifiées en 1951 nécessitent un financement de plus de 1 500 millions de francs (anciens francs) ; le contenu physique de ces commandes et la répartition industrielle de leur exécution font l'objet de l'annexe V.

Pour ce qui concerne le contenu physique, 91 matériels complets seront fabriqués dont :

- 6 masses oscillantes doubles de 135 Mle 32 de tourelle,
- 7 matériels de 135 Mle 32 de casemate,
- 2 matériels doubles de 81 mm Mle 32 de tourelle,
- 31 matériels de 81 mm Mle 32 de casemate,
- 4 masses oscillantes doubles de 75 mm Mle 33 de tourelle,
- 39 matériels de 75 Mle 31 de casemate²⁵⁸,
- 2 masses oscillantes doubles de 75 mm R Mle 32 de tourelle²⁵⁹

Les commandes de rechanges comportent des éléments importants de reconstruction de matériels par la DCM, en particulier 54 bouches à feu de 135 Mle 32, 56 tubes de 75 Mle 33 de tourelle, 25 bouches à feu et 37 culasses de 75 R Mle 32 de tourelle.

En ce qui concerne l'exécution des commandes :

²⁵⁷ Solution de substitution évoquée dans l'annexe IV.

²⁵⁸ Dont 13 matériels complets notifiés au titre des commandes de rechanges.

²⁵⁹ Notifiées au titre des commandes de rechanges.

- Les titulaires sont les industriels qui avaient participé à la réalisation des matériels de première dotation des ouvrages avant guerre : la société des Ateliers de chantiers de la Loire (ACL) et les trois établissements de la DEFA spécialistes d'artillerie (APX, ABS, ATS),
- Les livraisons se sont échelonnées entre le deuxième semestre 1953 et la fin 1956, les commandes de rechanges (pièces détachées) et d'optique nécessaires à la DCM pour la remise en service des ouvrages à partir des matériels récupérés, ayant été honorées en 1953 et 1954. Certaines livraisons ont été retardées pour des raisons qui tiennent à la fois aux références anciennes des matériels à fabriquer et aux défauts encore latents de la production industrielle au début des années 1950 :
 - nécessité de remettre en fabrication les outillages de production de série de manière à garantir l'interchangeabilité.
 - tables de construction (provenant de la récupération de documents) incomplètes²⁶⁰.
 - défauts graves de qualité de semi-produits de forge et de fonderie²⁶¹.

Munitions

Les décisions prises en 1951 de réarmement rapide des tourelles et casemates d'artillerie des zones fortifiées du nord-est et du sud-est, avec des matériels identiques à ceux de la dotation de 1939, ont conduit le CTF à se préoccuper des munitions à mettre en place pour les besoins du stock de guerre et de l'instruction, étant entendu qu'il ne pouvait s'agir, pour des raisons impératives de délais, que de munitions de modèles adoptés avant 1940, une sélection devant être opérée entre les différents modèles, par calibre, pour les reprises de fabrications nécessaires. A la fin 1951, le CTF propose que soient retenues les munitions suivantes :

Pour les matériels de 75 mm (hormis le canon de 75 mm Mle 31 de casemate) :

- les munitions à obus à balles à charge arrière Mle 1926
- les munitions à obus explosif Mle 1917 à corps en acier
- les munitions à obus de rupture type M ou Mle 1910²⁶²,

Les proportions respectives de ces trois types de munitions dans les stocks étant estimées à 20 %, 75 %, 5 %.

Pour les matériels de 75 mm modèle de casemate :

- les munitions à obus à balles à charge arrière Mle 1926,
- les munitions à obus explosif Mle 1915, les proportions respectives étant
- de 20 % et 80 %.

²⁶⁰ A titre d'exemple, absence de tracés des outillages de quatrième échelon demandés par la DCM pour les matériels de 75 mm Mle 32 de tourelle (outillages de démontage de berceau et de tube de bouche à feu, gymnastiqueur de liens élastiques...).

²⁶¹ A titre d'exemple, rebuts d'ébauchés forgés de tubes de bouche à feu de 75 mm Mle 32 et d'ébauchés de fonderie de berceaux de 81 mm Mle 32.

Par contre, certaines fabrications ont été facilitées par la récupération de collections de pièces en acier moulé, à l'état d'ébauchés, découvertes au début de 1947 à l'usine de Saint-Denis des ACL (à l'occasion de l'opération lancée par la DEFA de reconstitution de la documentation industrielle). Ces pièces, restées en dépôt, sur parc, depuis 1940 font partie de la définition de plusieurs matériels : 75 mm Mle 29 et 75 mm Mle 32 de casemate, 75 mm Mle 33 et lance bombes de 135 mm Mle 32.

²⁶² Il est reconnu que ces obus de rupture ont une efficacité très insuffisante en 1950, mais ils sont retenus... faute de mieux.

Pour les mortiers de 81 mm Mle 32 :

- les munitions à obus explosif FA Mle 32²⁶³ et RF Mle 36²⁶⁴.

Pour les lance-bombes de 135 mm Mle 32 :

- les munitions à obus explosif Mle 1930.

Le CTF entreprend en même temps – fin 1951 – une étude d'estimation, en volume et par nature de munitions, du stock de guerre et des besoins de l'instruction, et fait faire l'inventaire des munitions existantes, l'ensemble de ces informations permettant d'apprécier l'importance (en quantité et en financement) des fabrications de munitions à notifier. Les éléments de ce travail sont rapportés en annexe VI.

Globalement, le besoin de munitions nouvelles est de :

- 400 000 coups de munitions de 75 mm,
- 300 000 coups de munitions de 81 mm,
- 100 000 coups de munitions de 135 mm,

dont le financement devrait être engagé à partir du budget de 1954, sur le chapitre « Munitions »²⁶⁵ mais à la fin septembre 1953, l'état-major informe le président du CTF que « les perspectives budgétaires pour 1954 et pour les années à venir ne permettent pas d'escompter un effort important pour les fortifications ».

Les commandes de munitions sont limitées en volume ; elles portent sur :

- 58 000 coups de 75 mm dont 48 000 coups de munitions de guerre et 10 000 coups de munitions d'instruction,
- 77 600 coups de 81 mm dont 27 600 coups de munitions réfectionnées destinées à la zone fortifiée du sud est,
- 9 500 coups de 135 mm.

La mise en place de ces munitions – qui ne représentent qu'une faible partie du besoin exprimé pour le stock de guerre – est prévue en 1957. A ce moment, les commandes de matériels neufs, d'équipements et de rechanges notifiées à la DEFA en 1951 sont achevées et on s'achemine vers une situation où le rééquipement en armement des ouvrages n'aboutirait pas à redonner à la fortification permanente la capacité opérationnelle souhaitée à cause de la précarité de la dotation en munitions.

Cette situation amène le CTF (Neuvième réunion du 25 mai 1956) à demander qu'un effort financier soit consenti sur les budgets 1957, 1958 et 1959 (à raison de un milliard environ par an) pour la mise en fabrication du volume de munitions de guerre jugé indispensable, en première urgence, pour les deux zones fortifiées du nord-est et du sud-est. Ce besoin de première urgence est évalué par le CTF à :

- 114 400 coups de 75 mm dont 70 400 pour le nord-est et 44 000 pour le sud-est,
- 60 000 coups spécifiques du canon de 75 mm Mle 31 pour le S-E,
- 141 000 coups de 81 mm dont 57 000 pour le nord-est et 84 000 pour le sud-est,
- 28 000 coups de 135 mm dont 24 000 pour le nord-est et 4 000 pour le sud-est,
- 9 000 coups de 155 mm pour le sud-est.

²⁶³ FA : Corps d'obus en fonte aciérée.

²⁶⁴ Le projectile FA Mle 36 RF est le projectile le mieux adapté au tir par les mortiers de forteresse.

²⁶⁵ Le financement des commandes de munitions ne figure pas dans le coût de « remise en état » de la fortification permanente.

Aucune suite ne sera donnée à cette demande du CTF et au moment du « désengagement » de 1961, les deux zones fortifiées étaient réarmées en quasi-totalité (hormis l'armement antichar) mais sans réelle capacité de feu²⁶⁶ durable.

En plus des fournitures de munitions destinées au stock de guerre, la DEFA a assuré l'approvisionnement des munitions pour les besoins des opérations de recette de l'instruction. Ces fournitures, limitées en volume, ont porté essentiellement sur la réfection et la transformation de munitions anciennes²⁶⁷. Pour les munitions destinées aux opérations de recette, un cas particulier – probablement unique – doit être signalé ; il s'agit des munitions à « projectiles hydraulique »²⁶⁸ utilisées pour les recettes au tir d'ouvrages rééquipés de leur armement, procédé employé en particulier pour les opérations de recette des casemates à canon de 75 mm Mle 31 de la zone fortifiée du sud-est, effectuées en 1961 par la Commission de réception des cuirassements de la STA.

Études de nouveaux matériels

Le texte de l'instruction du 14 octobre 1951 qui définit la mission du Comité technique des fortifications précise qu'en dehors des questions d'entretien, d'utilisation et d'aménagement de la fortification existante, le comité doit diriger également les études techniques de modernisation.

D'autre part, le directeur de la STA, dans son rapport adressé à l'état-major après la visite des ouvrages du sud-est à la fin octobre 1950, a attiré l'attention sur les insuffisances et lacunes pour le réarmement de la fortification permanente d'une puissance de feu basée sur la seule reconstitution des moyens initiaux.

Ainsi, dès ses premières réunions en 1951, le CTF se préoccupe à la fois :

- du premier stade de réarmement à brève échéance,
- des études d'armements nouveaux se situant dans un deuxième stade de modernisation de la fortification.

L'augmentation de la puissance de feu est un des objectifs prioritaires de la modernisation dans trois domaines :

- l'armement antichar des casemates d'infanterie et des tourelles mixtes (remplacement des canons de 37 mm et 47 mm d'une part et de 25 mm d'autre part, devenus obsolètes),
- l'armement des casemates d'artillerie (remplacement des divers modèles de canons de 75 mm devenus insuffisants en portée et en efficacité),
- l'armement des cloches et créneaux de cloches (remplacement des lance-grenades de 50 mm par des matériels à plus grand débit et polyvalents – projectiles antichars, antipersonnel et éclairants).

²⁶⁶ Pour réduire le coût budgétaire de l'approvisionnement des munitions, il avait été suggéré d'utiliser, pour les canons de 75 mm de forteresse, des munitions disponibles de 75 mm Gun américain. Des tirs balistiques préalables étaient indispensables. Il ne semble pas y avoir eu d'application de cette suggestion.

²⁶⁷ Transformation de projectiles explosifs en projectiles inertes ou PLPN (Partiellement lestés en poudre noire), nouvelles charges propulsives.

²⁶⁸ Conteneurs cylindriques étanches, en carton, remplis d'un liquide de chargement inerte, et sans ceintures, mis en place dans le tube en avant de la charge propulsive. Le tir de ces « projectiles » communique à la masse reculante le même mouvement (vitesse de recul, longueur de recul, effort de recul) que le tir avec la cartouche classique de référence. La dispersion des morceaux de carton et du liquide de chargement à la bouche du canon permet d'assurer la sécurité des épreuves de tir sans avoir à recourir aux dispositions restrictives habituelles sur le terrain (polygone de sécurité).

Après une période de foisonnement des idées – 1951/1953 – le CTF (Huitième réunion du 23 septembre 1953) décidera de ne poursuivre qu'une étude dans chacun des trois domaines en cause :

- l'adaptation à la fortification des engins antichars filoguidés (SS10, SS11) pour l'armement des casemates d'infanterie,
- l'étude d'un canon de 105 mm spécifique de la forteresse pour l'armement des casemates d'artillerie,
- la reprise de l'étude engagée avant-guerre du lance-grenades de 60 mm et son adaptation aux différents types de cloches et aux créneaux de cloches.

A l'époque du « désengagement » de 1961, seule l'étude du lance-grenades de 60 mm aura été achevée, le matériel étant adopté, dans une version légèrement modifiée... pour armer l'automitrailleuse légère Panhard (version AML 60). L'armement de la fortification permanente n'aura profité d'aucune mesure de modernisation.

Les études menées sous la responsabilité de la DEFA n'auront nécessité qu'un financement modeste, 28 millions de francs (anciens francs) dont 23 millions de francs mis en place en 1951²⁶⁹.

DESCRIPTION DES ÉTUDES DE MODERNISATION

Armement antichar

L'orientation à donner aux études fait l'objet d'un projet du CTF du 10 avril 1951 qui fixe en particulier les besoins militaires :

- besoins d'une arme efficace²⁷⁰ jusqu'à 1 000 m environ, destinée au remplacement des canons de 37 mm et 47 mm,
- besoin d'une arme légère efficace jusqu'à une portée de l'ordre de 300 m destinée au remplacement des canons de 25 mm.

Hors de la contrainte du tir en casemate (espace clos), le premier besoin correspond au programme de l'arme antichar de bataillon décidé par l'état-major. Ce programme fait l'objet, en 1951, de développements d'engins autopropulsés guidés menés par la SNCAN (engin SS10) et par la DEFA (engin ENTAC). Le programme SS10 est au stade de la préparation de l'expérimentation alors que le programme ENTAC n'en est qu'au stade des essais constructeur. Le tir de ces engins ne pouvant pas être envisagé en espace clos, des dispositions particulières (modifications des casemates) devraient être prises pour permettre leur emploi dans les ouvrages

Par ailleurs, les canons classiques (à culasse) capables de satisfaire au besoin exprimé sont incompatibles par leur encombrement et leur puissance balistique avec les casemates d'infanterie. Les études de canons antichars sont alors orientées vers des solutions répondant à l'exigence d'efficacité terminale mais à portée limitée à 500/600 m. Dans cette voie, la DEFA charge l'Atelier de construction de Roanne (ARE) de l'étude d'un matériel de 105 mm à âme lisse qui utiliserait le projectile à charge creuse défini pour le

²⁶⁹ Les études de modernisation des installations de la fortification permanente engagées dans le même temps par la Direction du génie (STBFT) représenteront 354 millions de francs de financement.

²⁷⁰ Efficacité appréciée en termes de probabilité d'atteinte et d'effet terminal.

canon de 105 mm sans recul de campagne dont le développement a été confié à cet établissement en 1979²⁷¹.

Des essais effectués à Bourges en février 1952 avec un canon de circonstance à culasse de 105 mm, en respectant la pression maximum de tir du canon de 105 sans recul ont donné des résultats satisfaisants concernant la validité de la solution envisagée. L'étude est menée en liaison avec les services du Génie pour ce qui concerne les conditions de montage dans les ouvrages ; l'affût est conçu pour permettre l'adaptation de deux mitrailleuses Mle 31 ; le champ de pointage en direction de 45° est assuré sans modification des casemates ; la masse oscillante est équilibrée hydrauliquement pour permettre le pointage en hauteur manuel. La définition d'ensemble du matériel est acquise à la fin 1952 et l'étude de détail est engagée au début 1953 lorsque l'engin autopropulsé filoguidé SS 10 de la SNCAN est adopté. Le besoin de remplacement des canons de 37 mm et 47 mm dans les casemates d'infanterie est alors orienté sur l'adaptation de l'engin SS10 (puis SS11) et l'étude du canon de 105 mm de forteresse de l'ARE est suspendue.

L'adaptation de l'engin SS10 ou SS11 aux casemates d'infanterie de la forteresse permanente porte principalement sur deux points :

- le pilotage de l'engin à l'aide d'un périscope à double champ ; des essais effectués au camp de Mailly, ont montré la faisabilité de cette organisation,
- le tir en casemate qui nécessite la création d'une embrasure et d'un support d'engin à volet mobile. Cette étude est menée par la DEFA (Bureau génie du service technique (ST/MG) avec la participation de la SFECMAS et en liaison avec la 6ème RM pour aménagement d'une casemate destinée aux essais de tir. Cette étude est mise en sommeil en décembre 1955, la défense antichar de la fortification permanente du nord-est paraissant s'orienter vers l'organisation d'emplacements de tir situés en avant des ouvrages.

Le CTF (Neuvième réunion du 25 mai 1956) confirme toutefois la poursuite de l'étude d'adaptation de l'engin SS 11 aux besoins de défense antichar des zones fortifiées mais aucune action décisive (expérimentation officielle, adoption) de cette adaptation n'aura été effectuée en 1961, au moment du désengagement.

En ce concerne le second besoin d'armement antichar (remplacement des canons de 25 mm), la portée demandée de l'ordre de 300 m est une des caractéristiques militaires du programme de matériel antichar léger d'infanterie, tirable à l'épaule, lancé par l'état-major, qui fait l'objet d'un développement à l'ARE d'un canon sans recul de 75 mm à âme lisse utilisant un projectile empenché à charge creuse²⁷². Comme dans le cas précédent, la DEFA charge l'ARE de l'étude d'un canon classique à culasse de 75 mm tirant ce projectile empenché à charge creuse dans les mêmes conditions balistiques pour remplacer le canon de 25 mm dans les tourelles mixtes (canon+mitrailleuse). L'adaptation à ces tourelles apparaît extrêmement difficile pour des raisons d'encombrement du canon de 75 mm ; la DEFA estime même préférable de reprendre l'idée du « bazooka à culasse » tirant la grenade de 73 mm, idée évoquée à l'occasion de la recherche de

²⁷¹ Le canon sans recul de 105 mm, à âme lisse, étudié à l'ARE, destiné à être monté sur véhicules (chenillette Hotchkiss, chasseur de chars...) et sur affût de campagne tire un projectile empenché à charge creuse de 10 kg environ – dans sa première version – à $V_0=550$ m/s correspondant à une portée utile de combat voisine de 600 m. Le pouvoir perforant de la charge creuse est supérieur à 350 mm d'acier à blindage.

²⁷² Le projectile empenché à charge creuse de 75 mm au poids de 1,9 kg tiré à 325 m/s de vitesse initiale a un pouvoir de perforation de 250 mm d'acier à blindage avec une portée utile de combat de l'ordre de 350 m.

solutions de « substitution », en 1950/1951, à l'occasion de la remise en état rapide de la fortification, permanente²⁷³. Le CTF (Huitième réunion du 23 septembre 1953) décidera de suspendre ces études.

Armement des casemates d'artillerie

Le 31 août 1951, l'état-major décide de procéder, pour les casemates d'artillerie du nord-est et du sud-est, au remplacement des canons de 75 mm de divers modèles par des matériels de 105 mm d'un modèle unique²⁷⁴ offrant des caractéristiques opérationnelles supérieures – portée et efficacité – utilisant les munitions de 105 mm de l'artillerie de campagne (105 HM2). Cette décision faisait suite aux propositions faites par l'ingénieur général Carougeau, chef du bureau artillerie du Service technique de la DEFA (ST/ART) à la deuxième réunion du CTF (22 juin 1951).

L'étude du matériel est confiée à l'Atelier de construction de Puteaux (APX) au début octobre 1951 et le 27 novembre 1951 l'ingénieur général Carougeau expose au CTF les caractéristiques générales du projet :

- canons de 105 mm tirant les munitions de l'obusier américain de 105 HM2 en service dans l'armée française,
- matériel à pivot fictif, masse oscillante équilibrée par contrepoids, ouverture automatique de culasse à toutes charges, aide au chargement par refouloir semi-automatique,
- compatibilité de l'ensemble pivotant avec :
 - les casemates de 75 mm existantes, à l'exception de celles équipées de canons de 75 Mle 31 (spécifiques de la zone fortifiée du sud-est),
 - les casemates équipées d'embrasures anciennes à plaques renforcées,
 - les casemates dotées de nouvelles embrasures²⁷⁵.

Le projet est définitivement mis au point au début de 1952, et la DEFA précise le calendrier de développement :

- réalisation prototypes : fin 1952/début 1953,
- essais et mises au point : six mois.

Pour ce qui concerne les fabrications, après adoption du matériel, la DEFA considère qu'elle ne peut pas s'engager de manière précise sur un calendrier sans information sur :

- les priorités demandées par l'état-major pour les différents programmes du plan général d'armement,
- le nombre de matériels à fabriquer.

²⁷³ Voir Annexe IV. L'étude d'un nouveau corps « renforcé » de la grenade de 73 mm devrait être entreprise pour permettre le tir en sécurité dans des conditions balistiques plus sévères correspondant à une portée utile de combat de 300 m.

²⁷⁴ Dans le cadre de l'estimation des besoins de munitions pour le stock de guerre, faite par le CTF en 1951, il était tenu compte, pour les munitions de 105 mm de la mise en place, au stade de la modernisation de la forteresse permanente de 52 bouches à feu de 105 mm dont 44 dans le nord-est (totalité des casemates d'artillerie de 75 mm) et 8 dans le sud-est (casemates cuirassées à canon de 75 Mle 33 non rééquipées). Le stock de munitions de guerre était estimé à 156 000 coups de 105 HM2 (3 000 coups par bouche à feu).

²⁷⁵ Voir en annexe VII, sommaire des actions engagées par la DEFA (ST/MG) concernant l'étude de la nouvelle embrasure.

Pour des raisons de plan de charge du service d'études de l'APX, le développement du canon de 105 mm de forteresse est transféré en 1956 à l'Atelier de construction du Havre (AHE).

Quatre prototypes sont lancés en fabrication, la livraison devant débuter au cours du premier semestre 1957, le montage en ouvrage fortifié étant espéré à partir du milieu de la même année.

Mais à partir de novembre 1956, faisant suite à une réunion entre état-major et DEFA sur les études d'artillerie en cours, le développement du canon de 105 mm de forteresse est placé en deuxième urgence. Cette décision entraîne des retards dans le calendrier prévisionnel et ce n'est qu'en septembre 1958 que le premier prototype est pratiquement achevé « en usine »²⁷⁶.

L'acheminement progressif vers le « désengagement » fera que ce programme en restera au stade de la réalisation de ces prototypes, l'étude étant définitivement abandonnée en juin 1960.

Une des quatre masses oscillantes prototypes sera utilisée par l'APX dans le cadre d'un autre programme d'étude, comme matériel de circonstance pour les premiers essais de principe de lancement par effet canon d'un engin antichar guidé (programme ACRA).

Armement des tourelles d'infanterie à mitrailleuses jumelées, des cloches et des créneaux de cloches

Dès les premières réunions du CTF (juin-novembre 1951) l'étude d'un « engin lance-grenades », d'encombrement réduit et à cadence de tir élevée, susceptible d'intervenir aussi bien contre l'infanterie que contre les véhicules blindés, est décidée.

Ce matériel nouveau est destiné au remplacement du lance-grenades de 50 mm existant des cloches et créneaux de cloches ; il devra également pouvoir être installé dans les tourelles d'infanterie à mitrailleuses jumelées.

Les principales caractéristiques militaires de cet « engin » sont fixées à la fin de l'année 1951 :

- portée : supérieure à 500 m pour tous les modèles de projectiles,
- munitions : trois catégories de projectiles :
 - antichar (AC) capable de percer 300 mm d'acier à blindage,
 - antipersonnel (AP) utilisable en tir tendu et en tir courbe (deux types de fusées),
 - éclairant (E).
- feux :
 - tourelles d'infanterie à mitrailleuses jumelées : tir tendu de projectiles AC et AP,
 - cloches de guetteur : tir tendu de projectiles AP et E,
 - cloches spéciales lance-grenades : tir courbe de projectiles AP et E.

Pour satisfaire à ce besoin, le CTF, après une période de réflexion sur les solutions envisageables, décide, en novembre 1952, de faire reprendre l'étude du lance-grenades de 60 mm engagée avant-guerre à la Manufacture d'armes de Châtellerauld (MAC), qui avait été stoppée au stade de l'expérimentation d'un prototype après l'adoption du lance-grenades de 50 mm. Il est exigé – en plus des spécifications de 1951 – que ce lance-grenades de 60 mm puisse tirer le projectile standard²⁷⁷ du mortier de 60 mm Brandt de campagne adopté par l'armée française.

²⁷⁶ Certaines opérations de réglage ne peuvent être faites qu'à l'occasion du montage en casemate, par exemple, le réglage d'équilibrage de la masse oscillante.

²⁷⁷ Projectile de 60 mm FA Mle 35.

L'étude du lance-grenades de 60 mm, appelé également « mortier de 60 CS »²⁷⁸, est achevée à la MAC à la fin 1954, deux prototypes sont réalisés au début de 1955 qui sont soumis aux premiers tirs d'expérimentation à Bourges. Les résultats satisfaisants de ces essais conduisent la DEFA à proposer à l'état-major de poursuivre l'expérimentation après montage des lance-grenades prototypes dans l'ouvrage du Grand Hohekirkel de la ligne Maginot (Région de Bitché) désigné à cette fin. Cette expérimentation est effectuée les 25 et 26 janvier 1956²⁷⁹ par la Commission de réception des cuirassements de la STA avec la participation de la DEFA, en présence de représentants du CTF et d'officiers des secteurs de défense des zones du nord-est et du sud-est.

La STA, dans le PV de cette expérimentation, en date du 26 mars 1956, conclut que :

- le lance-grenades de 60 mm est une arme valable ; son fonctionnement est satisfaisant dans son ensemble ; les modifications à effectuer sont mineures et peu nombreuses,
- les tirs aux très faibles portées – inférieurs à 100 m –²⁸⁰ ont été médiocres : trop grande dispersion, irrégularité d'armement de la fusée du projectile,
- l'étude du matériel doit être poursuivie, en particulier en ce qui concerne le choix de l'angle de pointage en hauteur²⁸¹ permettant, par l'emploi des charges divisibles, d'obtenir le meilleur compromis entre portée maximale et portée minimale.

Peu après, en juin 1956, le bureau Auto-char du Service technique de la DEFA (ST/AC), à la recherche d'une arme peu encombrante à tir tendu et à tir courbe pour l'équipement des véhicules blindés légers du type AML Panhard s'intéresse à l'étude du lance-grenades de 60 mm et la Manufacture d'armes de Châtelleraut, responsable de cette étude, est chargée d'examiner l'adaptation du lance-grenades au nouveau besoin exprimé sans modification notable de la définition technique jusque là retenue ; deux prototypes destinés à la tourelle de l'AML Panhard sont demandés à la MAC. Dans le même temps, l'École centrale de pyrotechnie de Bourges (ECP) est chargée de l'étude d'un projectile antichar à charge creuse pour le lance-grenades de 60 mm destiné à l'armement de l'AML.

En février 1957, la STA rend compte des résultats de la poursuite de l'expérimentation menée dans le cadre du besoin de réarmement de la fortification permanente. La STA estime qu'elle ne peut pas proposer à l'état-major l'adoption du nouvel armement (arme+munitions) compte tenu d'une part de l'inaptitude au tir de plein fouet (angle de pointage en hauteur très faible) à la charge maximale, défaut qui remet en cause la capacité de feu antichar recherchée, d'autre part des insuffisances latentes des tirs à très courte portée avec projectiles antipersonnel – instabilité des projectiles, défaut d'armement des fusées²⁸² – qui réduisent notablement la capacité de défense rapprochée des ouvrages. Sur ce dernier point, la STA critique le choix du projectile du mortier de 60

²⁷⁸ Mortier de 60 pour cloche spéciale lance-grenades.

²⁷⁹ Au cours de cette expérimentation, il a été tiré environ 120 coups de projectiles d'exercice PLPN FA Mle 35 de mortier de 60 de campagne.

²⁸⁰ Il importe de pouvoir tirer dans ses conditions satisfaisantes (précision, efficacité terminale) à des portées de l'ordre de 30 m à 50 m pour assurer la défense des entrées des ouvrages ; le lance-grenades de 50 mm satisfait à cette exigence.

²⁸¹ Le lance-grenades tire à angle fixe en élévation quelle que soit la charge propulsive.

²⁸² Des essais techniques effectués ultérieurement – octobre 1957 – ont permis, par réglage du déflecteur de gaz du lance-grenades, d'éliminer les instabilités de projectiles constatées au cours de l'expérimentation ; l'absence d'armement de la fusée au tir à faible charge, à portée minimale, reste le défaut majeur inacceptable.

de campagne (et de sa fusée) comme projectile de référence pour le lance-grenades de 60 mm de fortification²⁸³.

Interrogé par la DEFA sur la suite à donner à l'étude après cette prise de position de la STA, l'état-major demande :

- de poursuivre l'étude à la fois pour le besoin d'équipement de la fortification et pour l'armement des véhicules blindés légers (AML),
- d'étudier un « projectile de base » nouveau, différent du projectile du mortier de 60 mm de campagne et d'entreprendre, si nécessaire, l'étude d'une nouvelle fusée adaptée aux conditions particulières du tir aux très courtes portées spécifiques de l'utilisation dans les ouvrages de région fortifiée.

L'intérêt de la fortification permanente allant rapidement décroître, c'est pour l'armement de l'AML que le lance-grenades de 60 mm sera adopté sous le vocable courant de « mortier de 60 CS », l'étude liée à la modernisation de l'équipement des tourelles d'infanterie à mitrailleuses jumelées, des cloches et des créneaux de cloches étant officiellement abandonnée comme celle de l'artillerie de 105 mm en juin 1960.

Ainsi, aucun des trois développements retenus par le CTF en septembre 1953 dans le cadre de la modernisation de l'armement de la fortification permanente²⁸⁴ n'aura abouti sans que la valeur technique des solutions étudiées ne fût en cause. La raison principale de cette situation se trouve dans le moindre intérêt porté à la fortification permanente dès 1956/1957²⁸⁵ – c'est-à-dire bien avant la décision de désengagement de 1960/1961 – l'absence de réunion du Comité technique des fortifications entre le 25 mai 1956 (Neuvième réunion) et le 16 août 1961 (Dixième réunion) en étant le reflet. Cette situation aboutissait en 1961 à une lacune grave dans la panoplie des armements de la fortification permanente, à savoir l'absence de moyen propre de défense antichar (hormis le minage).

Bilan

Le bilan fait en 1960/1961 des travaux d'entretien et de remise en état effectués depuis 1945 montre que la plus grande partie de la capacité de feu (hormis les moyens antichars) a été réinstallée ; 101 tourelles d'artillerie des ouvrages sur les 132 tourelles existantes ainsi que les casemates pour mortiers de 81 mm et lance-bombes de 135 mm ont été réarmées ; il en est de même des casemates de 75 mm de la zone du sud-est à l'exception de celles à canon de 75 Mle 33 (ces dernières ainsi que les casemates de 75 mm de la zone du nord-est n'ont pas été réarmées en attente de l'installation du nouveau canon de 105 mm...) ; des opérations de recette de casemates équipées de leur armement sont encore effectuées durant l'été 1961 dans la zone du sud-est²⁸⁶ ; les

²⁸³ La munition du mortier de 60 mm de campagne n'a pas été conçue pour les conditions de tir aux très faibles portées exigées pour le lance-grenades de forteresse.

²⁸⁴ Adaptation de l'engin autopropulsé filoguidé SS11 à l'armement anti-char des casemates, développement du canon de 105 de forteresse pour les casemates d'artillerie initialement dotées de canons de 75, reprise du développement du lance-grenades de 60 pour l'armement des cloches.

²⁸⁵ C'est-à-dire :

- Mise en deuxième urgence de l'étude du canon de 105 en septembre 1956.
- Non financement du besoin urgent de munitions demandé par le CTF en mai 1956.
- Arrêt du financement de la remise en état au-delà du budget de 1957.

²⁸⁶ Voir annexe VIII.

équipements d'observation, les équipements et la documentation de tir ont été remis en place mais les munitions font défaut.

C'est dans cette situation que sera entreprise en 1961 l'opération de révision du classement des ouvrages des fortifications des deux zones du nord-est et du sud-est qui aboutiront :

- au déclassement de certains ouvrages avec déclenchement des mesures d'abandon ou d'aliénation,
- au désarmement et déséquipement partiels des ouvrages dont le classement sera maintenu par suite de leur emploi à des fins « passives ».

ANNEXE I

Armement des ouvrages de la fortification permanente en 1939

Matériels d'artillerie et mortiers

Canons de 155 mm Mle 1877 de Bange de forteresse : les plus anciens de tous les canons de la fortification permanente en 1939, installés uniquement dans deux tourelles doubles – tourelle « Jeanne d'Arc » et tourelle « Bayard » – du fort du Vieux Barbonnet (frontière des Alpes Maritimes).

Ce modèle de canon est constitué d'une bouche à feu de 155 mm de Bange de campagne, montée sur un affût spécial de conception analogue à ceux des obusiers et mortiers lourds de siège et place de la Première Guerre mondiale (frein de tir, recul sur plan incliné, rentrée en batterie par gravité).

Obusiers (dénommés également lance-bombes) de 135 mm Mle 32 à culasse semi-automatique, tirant, à portée maximum de 5 700 m un projectile de 19 kg, installés soit en tourelles (masse oscillante double) soit en casemates. Une augmentation de longueur de l'ordre de 10 cm du tube a été adoptée peu avant la guerre (variante Mle 39). Cette dernière définition sera retenue à l'occasion des reprises de fabrications en 1951 non seulement pour les masses oscillantes complètes mais également pour les tubes destinés à la remise en état par la DCM des matériels récupérés.

Mortiers de 81 mm Mle 32²⁸⁷ à culasse pour chargement par l'arrière, tirant sous angle fixe de 45° un projectile de 3 kg à une portée max. de 3 200 m, montés en tourelles (mortiers jumelés) et en casemates.

Canons de 75 mm : (tous les modèles de canons de 75 mm de forteresse tirent les cartouches du canon de 75/97 à l'exception du canon de 75 mm Mle 31 qui ne peut tirer que les projectiles) :

- 75 mm Mle 29 : montés en casemates
- 75 mm Mle 31 : montés en casemates (matériels spécifiques du sud-est)
- 75 mm Mle 32 : montés en casemates
- 75 mm R Mle 32 : montés en tourelles (canons jumelés) et en casemates
- 75 mm Mle 33 : montés en tourelles et en casemates (montage spécifique du sud-est) dotés de tubes identiques à ceux du 75/97 raccourcis de 30 cm environ.

La portée max. de ces matériels est de 12 km sauf pour ceux à tube raccourci dont la portée max. est limitée à 9 km.

D'autre part, dans un souci d'augmentation de la cadence de tir, une culasse semi-automatique a été adoptée en 1937/1938 pour les canons de 75 mm Mle 32 et Mle 33 mais en 1939 une partie seulement de ces canons étaient dotés de cette nouvelle culasse, les autres matériels restant équipés de culasses d'origine de type Nordenfeld.

Canons anti-chars

- Canons de 47 mm Mle 34 montés en casemate
- Canons de 37 mm Mle 34
- Canons de 25 mm (raccourcis) montés en armement mixte avec mitrailleuse de 7,5 mm en tourelles et en cloches.

Armement léger

²⁸⁷ Un exemplaire du mortier de 81 mm Mle 32 et du canon de 37 mm Mle 34 se trouvent au musée d'artillerie de l'EFAB à Bourges.

Mitrailleuses de 7,5 mm montées en tourelles et en cloches

Fusils mitrailleurs de 7,5 mm montés en cloches

Lance-grenades de 50 mm Mle 35 montés en cloches et créneaux de cloches tirant sous angle fixe de 20° ou 45°²⁸⁸ à portée variable par dispositif de réglage d'échappement des gaz²⁸⁹ ; matériel à culasse mobile (chargement par l'arrière avec cuiller de chargement).

En 1939, les ouvrages les plus puissamment armés de la ligne Maginot sont :

- le Hochwald dans la région fortifiée de la Lauter avec 17 bouches à feu dont 10 en tourelles,
- le Hackenberg dans la région fortifiée de Metz avec 20 bouches à feu dont 10 en tourelles.

²⁸⁸ Angle fixe 45° pour le flanquement des fossés.

Angle fixe 20° pour les cloches de guetteur et la défense des portes de casemate.

²⁸⁹ Portées moyennes sous angle de tir de 20° :

- 90 m avec orifices d'échappement des gaz ouverts
- 720 m avec orifices d'échappement des gaz fermés (dispersion importante des impacts).

ANNEXE II

Répartition des responsabilités industrielles de conception et de production des matériels de calibre 37 mm à 135 mm

Matériels	Industries concernées – Industrie privée, établissements d’État –
Canon de 37 mm Mle 34 de casemate Canon de 47 mm Mle 34 de casemate	APX – ABS – SAGEM ²⁹⁰
Canon de 75 mm Mle 29 de casemate Canon de 75 mm Mle 32 de casemate	Conception de l’affût : ACL ²⁹¹ Production : ACL – APX – ABS
Canon de 75 mm Mle 31 de casemate	APX – ABS
Canon de 75 mm Mle 32 de casemate Canon de 75 mm Mle 33 de casemate	Conception de la masse oscillante : ACL Production : ACL – APX – ABS
Canon de 75 mm R Mle 32 en tourelle double	Conception de la masse oscillante et du chargeur automatique : ACL Production : ACL – APX – ABS
Canon de 75 mm Mle 33 en tourelle double	Conception de la masse oscillante et du chargeur automatique : ACL Production : ACL – APX – ABS – CGCL ²⁹²
Mortier de 81 mm Mle 32 en tourelle double et casemate	APX – ATS
Lance-bombes de 135 mm Mle 32 en tourelle double et casemate	Conception : ACL Production : ACL – Établissements d’État pour les bouches à feu et liens élastiques.

Matériels d’optique (périscopes, lunettes, appareils de pointage) : conception et réalisation par l’APX.

²⁹⁰ SAGEM : Sigle de la Société d’application générale d’électricité et de mécanique.

²⁹¹ ACL : Sigle des Ateliers et chantiers de la Loire.

²⁹² CGCL : Sigle de la Compagnie générale de construction de locomotives Batignolles-Chatillon.

ANNEXE III

Le Comité technique des fortifications

La mission du Comité technique des fortifications (CTF) créé par décision ministérielle en août 1950, fait l'objet d'une instruction du 14 octobre de la même année. Ce document précise que le CTF est chargé de :

- diriger les études techniques concernant, d'une part l'entretien, l'utilisation, l'aménagement et la modernisation de la fortification existante, d'autre part la conception d'une fortification future éventuelle,
- coordonner l'établissement des programmes et l'exécution des travaux en matière de fabrication.

Le CTF tiendra treize réunions du 10 janvier 1951 au 27 mars 1962 sous la présidence du Général Inspecteur du génie (successivement, le général Dromard, le général Pinson et le général Thuaire). Le représentant permanent de la DEFA au CTF sera l'ingénieur général Lemaitre, chef du Bureau « matériels du génie » du Service technique (ST/MG).

Alors que les neuf premières réunions du CTF – de janvier 1951 à mai 1956 – seront consacrées aux opérations de remise en état et aux études de modernisation prévues dans la mission du Comité, les quatre dernières – d'août 1961 à mars 1962 – porteront sur l'application des décisions de « désengagement » prescrites par l'état-major à cette époque : limitation au strict minimum de l'entretien des ouvrages, arrêt des travaux d'amélioration, mesures de déclassement et d'aliénation...

ANNEXE IV

Recherche de matériels de substitution (1950/1951)

Armement anti-char

Les canons de 25 mm montés en tourelles et cloches et les canons de 37 mm Mle 34 et de 47 mm Mle 34 des casemates d'infanterie sont devenus obsolètes face à la menace blindée de l'après-guerre²⁹³ ; les chambres de tir elles-mêmes n'offrent pas une protection suffisante vis-à-vis de cette menace²⁹⁴.

Un remplacement rapide des canons de 37 mm et 47 mm sans modification des casemates existantes ne peut être envisagé en 1950 qu'à partir de canons anti-chars plus puissants disponibles²⁹⁵ qui ne présentent pas, a priori, d'incompatibilité flagrante d'encombrement avec le gabarit des casemates²⁹⁶. C'est le cas du canon allemand de prise de guerre de 75 PAK 40.

Une étude d'installation de ce canon a cependant conclu à l'impossibilité d'utilisation de ce matériel dans les casemates existantes. Pour le remplacement du canon de 25 mm, l'utilisation d'un mortier de 81 mm Mle 32 tirant à faible hausse, un moment envisagée, nécessiterait l'étude d'un projectile AC nouveau ; l'idée de recours à la grenade AC de 73 mm pour les créneaux de cloches est également écartée car cette grenade a été conçue uniquement pour des tirs à courte distance²⁹⁷.

L'absence de solution de substitution s'adaptant facilement à la configuration des ouvrages conduit à envisager l'utilisation de moyens de défense anti-char extérieurs à la fortification :

- Minage (champs de mines mis en place en temps opportun) ; cette éventualité a été prise en compte dans le premier devis de financement des besoins de munitions (trois mines AC et une mine AP par mètre linéaire),
- Emploi à poste semi-fixe de chars récents n'entrant pas dans la dotation des unités blindées : chars allemands Panther de prise de guerre reconstruits en France, puis, à la fin 1953, chasseurs de chars français de 48 tonnes²⁹⁸.

Ces dernières réflexions resteront sans suite, et, en définitive, aucune solution satisfaisante n'aura été trouvée pour l'armement anti-char, à court terme, de la fortification permanente²⁹⁹.

²⁹³ Ces canons sont tous inefficaces en attaque frontale des chars modernes, moyens et lourds. Seul, le canon de 47 mm Mle 34 conserve une efficacité limitée dans le cas de tirs sur les flancs des véhicules blindés (distance d'intervention limitée à 450 m vis-à-vis d'une cible représentative du char soviétique JS III). L'idée de regrouper les canons de 47 mm Mle 34 récupérés pour réarmer provisoirement les casemates d'infanterie de la zone fortifiée du sud-est, un moment envisagée, a été abandonnée.

²⁹⁴ Par référence à la puissance de perforation d'un canon de char de 120 mm à $V_0=1\ 000$ m/s.

²⁹⁵ Les lance-roquettes et canons sans recul ne sont pas envisageables pour une utilisation en espace clos.

²⁹⁶ Le canon anti-char allemand de 88 PAK 43 de prise de guerre est ainsi éliminé.

²⁹⁷ Pour des tirs à plusieurs centaines de mètres de portée, un nouveau corps de grenade résistant à des conditions balistiques de lancement plus sévères devrait être étudié.

²⁹⁸ « Chasseur de chars de 48 tonnes » est l'appellation officielle du char de « transition » ARL 44. En novembre 1953, l'état-major a proposé qu'avant de décider du riblannage des 60 chasseurs de chars fabriqués, leur utilisation, à poste semi-fixe pour la défense des régions fortifiées soit examinée. Le riblannage sera en définitive décidé en décembre 1954.

²⁹⁹ La recherche d'un armement anti-char satisfaisant pour la fortification sera poursuivie jusqu'en 1961 au titre des études de « modernisation ».

Armement des tourelles et casemates d'artillerie

Au début 1951, l'état-major a décidé de s'en tenir, pour le court terme, aux différents modèles de matériels de 1939 lorsqu'ils sont communs aux deux zones fortifiées du nord-est et du sud-est. La recherche de solutions alternatives de substitution est limitée à l'armement spécifique de la zone du S-E, à savoir :

- les canons de 75 mm Mle 31 et Mle 33 de casemate,
- les canons de 155 mm Mle 1877 de Bange montés dans les tourelles du fort du Vieux Barbonnet.

En ce qui concerne les canons de 75 mm Mle 31 et Mle 33 de casemate, l'objectif d'augmentation de la puissance de feu conduit à s'intéresser à des matériels disponibles de calibre 105 mm : l'obusier léger de campagne allemand de 105 mm LFH Mle 40 de prise de guerre, modifié pour permettre le tir des munitions américaines de l'obusier de 105 HM2³⁰⁰ et l'obusier de campagne français d'avant guerre de 105 mm Mle 35 B. Les études d'installation dans les casemates existantes de ces deux matériels font apparaître des inconvénients majeurs d'utilisation qui entraînent l'abandon de ces solutions.

Pour le remplacement des canons de 155 mm de Bange, la recherche de solutions de substitution est limitée aux matériels tirant des charges propulsives en gargousses³⁰¹ ; une proposition est faite de mise en place de bouches à feu de 155 mm GPF à tube raccourci. Cette idée restera sans suite et les deux tourelles en question du fort du Vieux Barbonnet resteront équipées de canons de 155 mm de Bange Mle 1877, la remise en état étant effectuée par récupération de matériels existants (actions menées par la Direction du génie et la Direction du matériel).

Comme pour l'armement anti-char, aucune solution de substitution susceptible d'augmenter rapidement la puissance de feu sans modification des ouvrages d'artillerie n'aura été retenue³⁰².

³⁰⁰ Modification de la chambre de tube de bouche à feu par chemisage (appellation du matériel : 105 mm LFH 40/49).

³⁰¹ Les matériels tirant des charges propulsives avec douilles ou culots obturateurs sont écartés à cause des inconvénients de service de pièce en tourelle (douilles ou culots obturateurs restant comme résidus après tir).

³⁰² Une étude de matériel de 105 mm sera poursuivie dans le cadre de la « modernisation » de la fortification permanente... avec modification des embrasures de casemate.

ANNEXE V

Commandes de fabrications

Notifications : de mars à septembre 1951 – Livraisons : échelonnées entre 1953 et 1956

Désignation de la fourniture		Zone d'affectation	Coût	Responsables industriels		Observations
Matériels complets	Nombre			Maître d'œuvre	Coopérants	
135 mm Mle 32 de tourelle (masses oscillantes doubles)	6	N-E	124 MF	ACL	ABS : bouches à feu	
135 mm Mle 32 de casemate	7	N-E et S-E				
81 mm Mle 32 de casemate	31	N-E et S-E	181 MF	ATS		
81 mm Mle de tourelle masses oscillantes doubles	2	N-E				
75 mm Mle 33 de tourelle (masses oscillantes doubles)	4	N-E	42 MF	ABS	APX : liens élastiques ACL : autres composants sauf bouches à feu (ABS)	Bouches à feu à culasse semi-automatique
75 mm Mle 31 de casemate	26	S-E	17 MF	APX		
Périscopes 52	80	N-E et S-E	50 MF	APX		
Jumelages de mitrailleuses de tourelle	43		40 MF	Saint-Chamond		

Coût total : 554 millions de francs dont 464 millions de francs pour les commandes de matériels d'artillerie (75 mm), lance-bombes (135 mm) et mortiers (81 mm).

Rechanges

Désignation de la fourniture. Rechanges ³⁰³ de :	Coût	Responsable industriel	Observations
135 mm Mle 32 de tourelle et casemate	139 MF	ACL	Participation de l'ABS pour la fourniture de 54 bouches à feu de rechange
81 mm Mle 32 de tourelle et casemate	267 MF	ATS	
75 mm Mle 33 de tourelle	224,5 MF	ABS	Dont 56 tubes de rechange
75 mm R Mle 32 de tourelle			Dont deux masses oscillantes doubles complètes, 25 bouches à feu et 37 culasses
75 mm Mle 31 de casemate	116,5 MF	APX	Dont 13 masses oscillantes complètes
75 mm Mle 29 et Mle 32 de casemate		ACL	Participation APX et ATS
Affûts et lunettes pour jumelages de mitrailleuses Mle 31 de casemate (200 collections)	151,5 MF		

Coût total : 898,5 millions de francs dont 747 millions de francs pour les commandes de rechanges de matériels d'artillerie (75 mm), lance-bombes (135 mm) et mortiers (81 mm)

³⁰³ Rechanges destinés aux deux zones du nord-est et du sud-est. Ces rechanges comprennent en particulier des équipements d'optique : lunettes d'observation et de pointage, lunettes d'âme...

Remises en état et révisions – fournitures diverses

Désignation des opérations	Coût	Responsable industriel	Observations
Remise en état de matériels d'optique	40 MF	APX	
Révisions de liens élastiques d'artillerie ³⁰⁴	30 MF		
Achat et entretien de petit matériel ...	31 MF		

Coût total des commandes notifiées à la DEFA (fabrications de matériels et rechanges, remises en état et révisions, achat et entretien de petit matériel) : 1 553,5 millions de francs.

³⁰⁴ Référence à 55 récupérateurs et 82 freins de tir de matériels divers, en révision en 1954.

Il est prévu que tous les liens élastiques des matériels d'artillerie des zones nord-est et sud-est devront passer en révision de cinquième échelon (on trouve encore des commandes de révisions notifiées par la DCM à la DEFA en 1961).

ANNEXE VI

Tableau des besoins en munitions pour le stock de guerre (Estimation du CTF à la fin 1951)

Commentaires relatifs au tableau joint

Nombre de bouches à feu :

Il s'agit d'une estimation faite en 1951 pour chacune des trois régions militaires concernées – 6ème RM, 8ème RM – du nombre de bouches à feu, par modèle, qui seront réinstallées dans les ouvrages à la fin de l'opération de remise en état. Si on se rapporte à la situation décrite en 1961 – au moment du « désengagement » – cette estimation initiale est très proche de la réalité.

Dotation individuelle de guerre :

Le nombre de coups à prévoir, par pièce, a été estimé en tenant compte, pour partie, des enseignements de la campagne de 1940. Cette dotation est plus faible pour les bouches à feu installées dans la zone fortifiée du sud-est que pour celles du même modèle installée dans la zone du nord-est.

Stock existant (1951) :

Un grand nombre de munitions de 75 mm utilisables par les canons de ce calibre des ouvrages de la fortification permanente ont été récupérées, couvrant quantitativement les besoins exprimés, mais une expertise balistique menée par la STA en 1952 a montré que ces munitions n'étaient pas utilisables ; elles ne figurent pas dans le tableau joint.

Tableau des besoins de munitions pour le stock de guerre

Notation :

T : Tourelle

C : Casemate

Modèles de matériels		75 R Mle 32 T	75 Mle 33 T	75 Mle 29 C	75 Mle 32 C	75 Mle 31 C	81 Mle 32 T	81 Mle 32 C	135 Mle 32 T	135 Mle 32C
Nombre de bouches à feu	6ème RM (N-E)	24	32				42	18	32	7
	8ème RM (S-E)			2		12		18		
	9ème RM (S-E)		10	7	2	18		48	2	2
Dotation individuelle de guerre (Nombre de coups)	N-E	4 000	6 400				3 200	3 200	2 000	2 000
	S-E		2 000	2 000	2 000	2 000		2 000	1 000	1 000
Besoins	6ème RM (N-E)	96 000	204 800				134 400	57 600	64 000	14 000
	8ème RM (S-E)			4 000		24 000		36 000		
			20 000	14 000	4 000	36 000		96 000	2 000	2 000
	Total	342 800				60 000	324 000		82 000	
Stock existant		1					58 800 ²		8 000 ³	
Diff. : besoins – stock existant		402 800					265 200		74 000	

¹ : Il a été inventorié près de 800 000 coups de 75 mm dont 275 000 coups à obus explosif Mle 1917, environ 500 000 coups à obus explosif Mle 1900 et 1915, 11 000 coups à obus de rupture Mle 1910 et 9 000 coups à obus à balles Mle 1926. La STA a jugé en 1952 que ces munitions n'étaient pas utilisables.

² : Dont 43 000 coups à obus explosif Mle 36 RF.

³ : Projectiles sans charges propulsives. 10 000 charges propulsives (7 500 charges divisibles + 2 500 charges fortes) seront commandées par la DCM en 1952).

ANNEXE VII

Étude de la nouvelle embrasure pour les casemates d'artillerie à canons de 105 mm de la fortification permanente

Les premiers projets partiels de nouvelle embrasure sont établis par le Service d'études du matériel du génie au cours du deuxième semestre 1952.

Au début de 1953, deux entreprises qui ont été précédemment impliquées dans les aménagements de la fortification permanente (Schneider et les ACL) sont consultées par la DEFA pour soumettre des propositions. Les ACL sont retenus et établissent en juillet 1953 un projet de marché portant sur :

- l'étude et la fourniture de deux embrasures prototypes modernisées,
- la fourniture de 40 embrasures.

En novembre 1953, un premier marché limité à l'étude « papier » de l'embrasure (pour tenir compte des restrictions budgétaires) est notifié ; des crédits complémentaires sont dégagés en 1954 pour la réalisation d'une seule embrasure modernisée, le marché correspondant étant notifié en avril 1955³⁰⁵. La réalisation de l'embrasure modernisée prototype est contrariée par des difficultés industrielles dans la fourniture des blindages par les aciéries Marrel (rebuts sur volet et plaque d'embrasure) et les Chantiers de l'Atlantique estiment que la livraison de la fourniture par l'ancienne usine de Saint-Denis des ACL ne pourra être effectuée qu'en mai 1960³⁰⁶.

Avant cette échéance, le 31 mars 1960, les Chantiers de l'Atlantique décident de fermer l'usine de Saint-Denis et demandent la résiliation du marché de fourniture de l'embrasure type³⁰⁷. L'Atelier de construction de Tarbes (ATS) est retenu pour en achever la réalisation et ST/MG fait procéder à l'expédition vers cet établissement des éléments d'embrasure entreposés à l'usine de Saint-Denis³⁰⁸. En septembre 1960, l'ATS estime à 40 000 francs (nouveaux francs) le coût d'achèvement du prototype d'embrasure modernisée de casemate d'artillerie.

La casemate choisie pour l'installation de ce prototype de nouvelle embrasure a d'abord été une casemate de la fortification du nord-est (casemate Est du bloc 6 de l'ouvrage du Simserhoff qui était initialement armée d'un canon de 75 mm Mle 32), puis, en 1960, sur proposition du président du CTF il a semblé préférable de retenir une des huit casemates cuirassées des la zone du sud-est (dotées en 1939 de canons de 75 mm Mle 33) qui n'ont pas été réarmées dans le cadre de l'opération de remise en état rapide lancée en 1951. La casemate retenue appartient à l'ouvrage du Sappey dont les plans de feux se situent dans la vallée de l'Arc.

Mais à partir de juin 1960, le « désengagement » se dessine, l'utilité des grands ouvrages d'artillerie en tant que moyens de défense actifs étant profondément remise en cause. L'étude de l'artillerie de 105 mm placée en deuxième urgence, pour des raisons de financement, depuis 1956, est arrêtée et par voie de conséquence l'intérêt de la modernisation des casemates par installation de la nouvelle embrasure disparaît.

³⁰⁵ Les travaux sont transférés, par avenant, en février 1956, à la Société anonyme des chantiers de l'Atlantique (Plenhoet – Loire) nouvelle raison sociale des ACL.

³⁰⁶ Délai non respecté à la suite des retards dans les livraisons des blindages (défauts de qualité) par les aciéries Marrel. Ces livraisons ne seront achevées qu'en août 1960.

³⁰⁷ Le marché proprement dit sera liquidé en mars 1961. Les avenants complémentaires seront réglés en février 1962.

³⁰⁸ Expédition réalisée en janvier 1961.

ANNEXE VIII

Zone fortifiée au sud-est (8ème et 9ème RM), casemates rééquipées de leur armement recettées au tir³⁰⁹ (Juin 1961 à octobre 1961)

Région Militaire	Casemates		Ouvrages concernés
	Type d'armement	Nombre	
8ème RM	Casemates de 75 Mle 31 à 2 bouches à feu	5	Ouvrage de Saint-Antoine : 1 casemate Ouvrage du Lavoir : 3 casemates Ouvrage du Pas du Roc : 1 casemate
	Casemates de 75 Mle 29 à 2 bouches à feu	1	Ouvrage du Sappey : 1 casemate
	Casemates de 81 Mle 32 à 2 mortiers	8	Ouvrage de St-Antoine : 2 casemates Ouvrage de St-Gobain : 2 casemates Ouvrage du Lavoir : 2 casemates Ouvrage du Pas du Roc : 2 casemates
9ème RM	Casemates de 75 Mle 29 à 1 bouche à feu	2	Ouvrage de Cap Martin : 1 casemate Ouvrage de Saint Roch : 1 casemate
	Casemates de 75 Mle 29 à 2 bouches à feu	3	Ouvrage de Monté Grosso : 1 casemate Ouvrage du Barbonnet : 1 casemate Ouvrage de Castillon : 1 casemate
	Casemates de 75 Mle 31 à 1 bouche à feu	2	Ouvrage du Haut de St-Ours : 1 casemate Ouvrage de Restefond : 1 casemate
	Casemates de 75 Mle 31 à 2 bouches à feu	2	Ouvrage de Janus : 1 casemate Ouvrage de Roche la Croix : 1 casemate
	Casemates de 75 Mle 32 à 2 bouches à feu	1	Ouvrage de Restefond : 1 casemate
	Casemates de 81 Mle 32 à 2 mortiers	22	Ouvrage de Roquebrune : 1 casemate Ouvrage de Ste Agnès : 2 casemates Ouvrage de Cap Martin : 1 casemate Ouvrage d'Agaisin : 2 casemates Ouvrage de Saint Roch : 2 casemates Ouvrage de Monté Grosso : 2 casemates Ouvrage de Barbonnet : 1 casemate Ouvrage du Castillon : 2 casemates Ouvrage de Gordelon : 2 casemates Ouvrage de Flaut : 2 casemates Ouvrage de Rimplas : 1 casemate Ouvrage de Janus : 1 casemate Ouvrage de Roche la Croix : 1 casemate Ouvrage du Haut de St-Ours : 2 casemates
	Casemate de 135 Mle 32 à 2 lance-bombes	1	Ouvrage de Sainte Agnès : 1 casemate

Nota : Il n'est pas tenu compte de la recette des deux tourelles bitubes de 155 mm de Bange du Vieux Barbonnet, effectuée sans tirs le 15 juin 1961. Les opérations de recette avec tirs ont porté au total sur 47 casemates représentant 90 bouches à feu.

³⁰⁹ Opérations de recette effectuées par la Commission de réception des cuirassements de la STA. L'ingénieur en chef Trémouilles du Bureau matériel du génie du Service technique de la DEFA (ST/MG) participait à ces opérations.

CHAPITRE 8

L'ARTILLERIE DE CAMPAGNE (PÉRIODE 1945-1975)³¹⁰

Le premier plan d'armement de l'après-guerre (1945) conserve les deux calibres de 105 et 155 mm.

Le but recherché est d'abord une portée augmentée par rapport aux matériels américains dont l'armée de Terre est équipée. La compatibilité avec les munitions américaines qui existent en grande quantité est impérative.

OBUSIERS DE 105 TRACTÉS

Le programme d'un obusier divisionnaire tracté de 105 mm destiné à remplacer le 105 HM2 américain est initié dès mars 1945 et lancé par décision ministérielle du 31 juillet 1946.

L'état-major a spécifié une portée maximale de 14 000 mètres au moins (contre 11 000 m pour le 105 HM2) et une capacité de tir tous azimuts qui doit pouvoir être mise en œuvre quels que soient l'angle de tir (-7° à $+70^\circ$) et la charge.

Cette exigence d'une capacité de tir tous azimuts est conservée malgré les mises en garde du Service technique de la DEFA (IGA Carougeau) sur les conséquences qu'elle entraîne sur le poids et la complexité du matériel.

Pour la satisfaire, l'ABS réalisera un matériel triflèche original : la masse pivotante repose et pivote en position de tir sur une plate-forme abaissée lors de la mise en batterie ; les flèches sont ouvertes et ancrées à 120° entre elles (Figure 14).

Un frein de tir à recul variable est nécessaire pour permettre à la fois le tir à l'horizontal (effort faible pour la stabilité, donc besoin d'un grand recul) et le tir à grand angle au-dessus d'une flèche (court recul, donc effort élevé). Nécessaire aussi pour satisfaire cette dernière contrainte un frein de bouche à haut rendement, particulièrement désagréable aux oreilles.

Cet obusier est tout de même adopté dès 1950 sous l'appellation abrégée OB 105 Mle 50 TF.

Il pèse 3 200 kg à comparer aux 1 900 kg du 105 HM2 mais ce poids ne constitue finalement pas un handicap important.

Avec sa bouche à feu de 23 calibres, il tire l'obus explosif Mle 53 à V_0 568 m/s pour une portée maximale de 14 500 mètres.

Cependant, de nombreux défauts de conception conduiront à faire passer en reconstruction la totalité des 120 matériels fabriqués, ce qui retardera la mise en service effective de l'OB 105 Mle 50 TF jusqu'à la fin des années cinquante. Quelques matériels seront utilisés durant les dernières années de la guerre d'Algérie dans les unités radars-canon de défense du barrage des frontières – un emploi statique mais où la capacité de tir tous azimuts est un atout majeur.

Malgré son originalité technique, l'OB 105 Mle 50 TF ne sera un succès ni à l'exportation, ni – en terme de longévité – dans l'armée de Terre.

³¹⁰ Texte de l'ICA (ret.) Tausin.



Fig. 15
L'obusier OB 105 Mle 50 TF

Dès le début des années 1960, toutes les armées occidentales choisissent petit à petit le seul calibre de 155 mm pour l'artillerie de campagne. Le calibre 105 mm n'est conservé – en concurrence avec le mortier de 120 mm – que pour des obusiers très légers destinés principalement aux troupes de montagne et aux aéroportés, un concept très éloigné de celui de l'OB 105 Mle 50 TF. L'armée de Terre française acquiert un petit nombre d'obusier de montagne italiens décomposables en fardeaux mais fera largement appel au mortier de 120³¹¹.

OBUSIERS DE 105 AUTOMOTEURS

Sous l'impulsion de la DEFA, un prototype d'obusier de 105 automoteur voit le jour dès 1948.

Ce matériel utilise la masse pivotante de l'OB 105 Mle 50 TF en cours de développement, montée en casemate fixe sur un châssis de char AMX-13 dont le développement vient de commencer.

L'organisation du châssis AMX-13 dont le groupe motopropulseur placé à l'avant laisse libre tout l'arrière du châssis, permet une grande souplesse d'aménagement, qui sera à la base du succès de la famille AMX-13.

On aura grand besoin de cette souplesse :

D'une part, la masse pivotante de l'OB 105-50 – conçue pour le tir tous azimuts de l'obusier tracté – est très encombrante ; elle devra d'ailleurs être modifiée.

D'autre part, s'agissant du premier automoteur d'artillerie conçu en France, la doctrine est encore incertaine sur de nombreux aspects de la mise en œuvre ; ainsi, la préparation des munitions initialement prévue à l'extérieur de la casemate, devra finalement trouver place à l'intérieur.

L'AMX – avec la coopération de l'ABS – réussit ainsi à offrir un automoteur de 105 sans avoir à développer ni un porteur spécifique ni une artillerie spécifique.

Le gain de poids par rapport à l'automoteur américain M7 de la guerre est considérable : 16 tonnes contre 26 tonnes.

Cependant, l'armée de Terre – singulièrement la Section technique de l'armée – fait la fine bouche. De nombreuses modifications et expérimentations diffèrent la fabrication en série, qui n'interviendra qu'au milieu des années cinquante.

Parallèlement, l'armée de Terre obtient en 1952 de faire développer une version plus sophistiquée (à casemate tournante) mais ce développement arrivera à terme en 1960 alors que l'obusier à casemate fixe OB 105 Mle 50 AU est en service. 429 OB 105 Mle 50 AU seront fabriqués dont 92 pour l'exportation (aux Pays-Bas). A noter que quatre obusiers à casemate tournante seront vendus à la Suisse, unique client de ce matériel.

³¹¹ (voir chapitre 10).

Caractéristiques générales de l'OB Mle 50 AU

Masse en ordre de combat	16,3 tonnes
Équipage	6 hommes
Vitesse sur route	60 km/h
Armement principal	obusier de 105 en casemate fixe
Vitesse initiale (V_0)	230 m/s à 568 m/s avec l'obus explosif Mle 53
Portée maximale	14 500 mètres
Champ de tir horizontal	37°
Champ de tir vertical	-4° à + 66°
Cadence de tir	6 coups/minute
Munitions	54 coups dans la casemate



Fig. 16
Obusier OB 105 Mle 50 AU

LES MUNITIONS D'ARTILLERIE DE 105 MM

Il s'agit d'abord de définir la munition principale (à obus explosif) de l'obusier de 105 Mle 50, munition qui doit permettre d'atteindre la portée de 14 500 mètres. L'obus sera adopté sous l'appellation OE Mle 53. C'est un obus de 16 kg tiré en charge 7 sous pression maximale (P_m) 2 600 bars pour une V_0 de 568 m/s et une portée maximale de 14 500 m.

Le recouvrement des portées est assuré par l'emploi de deux systèmes de charges :

- Charges vives : 1 à 5
- Charges lentes : 5 à 7

Cette munition est d'une conception tout à fait classique. Cependant, des difficultés s'étendront bien après la mise en service. Elles concernent d'une part la régularité insuffisante des V_0 /Pm d'autre part le fonctionnement intempestif de la fusée PDM51A5 :

Une régularité insuffisante des V_0 /Pm est constatée lors des tirs à grand angle. Il en résulte des surpressions dangereuses et une dispersion anormale des portées. Le problème concerne les charges de poudre elles-mêmes mais aussi et surtout leur amorçage via le tube porte-amorçe (TPA). Un grand nombre de variantes du TPA seront essayées jusqu'à ce que la variante R permette enfin au début des années 1960 de maîtriser le phénomène ;

Des accidents de tir sont provoqués par le fonctionnement intempestif de la fusée d'origine américaine PDM51A5.

On rappelle ici que toutes les munitions d'artillerie produites après 1945 utilisent des fusées d'origine américaine fabriquées sous licence.

La fusée PDM51A5, fusée percutante peut être réglée sur le fonctionnement instantané à l'impact ou sur le fonctionnement à retard. C'est de loin la fusée la plus répandue et la plus largement utilisée.

Cependant, sa sécurité de bouche très courte ne garantit pas l'équipe de pièce contre un fonctionnement intempestif du système à retard qui est sujet au vieillissement.

La solution consistera à remplacer le booster mécanique (s'armant par l'effet de la force centrifuge) par un booster horloger. La nouvelle fusée PDM557 présente une sécurité de bouche de plus de 30 mètres.

A l'initiative de l'ABS, un obus à culot creux de 13 kg à ceinture en fer fritté est développé à la fin des années 1950.

Cet obus est bien adapté aux obusiers à dispositions intérieures (chambre et rayures) américaines.

Il sera d'ailleurs vendu à la Belgique pour emploi dans le 105 M 108 automoteur américain en substitution de la munition américaine à culot creux que les États-Unis ont dû retirer du service à la suite d'accidents. On rappelle ici que l'obus de 105 à culot creux américain est composé d'un corps en fonte malléable perlitique à l'origine de ces accidents et d'un culot en acier assemblés par frettage.

Cependant, l'obus à culot creux n'est utilisable dans les obusiers français Mle 50 qu'aux V_0 élevées sa stabilité étant insuffisante aux V_0 plus faibles (ceci provient de ce que les obusiers Mle 50 sont rayés à 8°, contre 10° pour les obusiers américains).

L'obus de 105 à culot creux sera adopté mais ne sera jamais fabriqué pour l'Armée française.

L'OBUSIER DE 155 MM TRACTÉ

L'étude d'un obusier tracté de 155 mm est initiée dès mars 1945 et lancée la même année.

Ce matériel est destiné à remplacer le 155 HM1 américain avec une portée maximale accrue (17 700 m au lieu de 15 000 m). Il est développé par l'ABS (Bourges) mis au point rapidement et adopté dès 1950 sous l'appellation OB 155 Mle 50 BF.

Il sera ensuite fabriqué en série par l'ATS (Tarbes), pour une production totale de 980 matériels (armée de Terre et exportation). Il entre en service au milieu des années 1950.

Une seule modification ultérieure notable s'avérera nécessaire. Elle concernera l'appareil de mise de feu Forgeat qui présentait à l'origine le risque d'une possibilité de mise de feu culasse non verrouillée et qui rencontrait d'assez nombreux ratés de mise de feu.

La mise au point sera assurée par l'ABS dès la fin des années 1950.

Dans l'ensemble, l'OB 155 Mle 50 BF est considéré comme un matériel réussi et il bénéficiera d'ailleurs d'une longévité exceptionnelle puisqu'il équipait toujours des unités de réserve dans les années 1990.

On en rappelle ci-dessous les principales dispositions techniques :

C'est un matériel tracté à flèches ouvrantes et à recul variable (frein à contretige), équipé d'un frein de bouche à ouïes.

Durant le tir, le matériel repose :

- à l'avant sur une plate-forme (remontée en position route)
- à l'arrière sur les deux flèches fixées sur deux caissons de flèches ancrées au sol par des couteaux.

Sur chacune des flèches est monté un balancier portant les roues à pneumatiques increvables.

- Poids total du matériel : 8,5 tonnes
- Bouche à feu de 22 calibres tirant l'obus explosif Mle 56 sous Pm 2 800 kg/cm² à V₀ 647 m/s pour une portée maximale de 17 700 m
- Champ de tir en direction : 82°
- Champ de tir en hauteur : -5° à + 70°
- Chargement de l'obus au refouloir court puis mise en place de la gargousse
- Fermeture de la bouche à feu par culasse à vis
- Mise de feu par étoupille sur système Forgeat
- Cadence de tir : 3 coups/minute



Fig. 17
Obusier de 155 en position de route

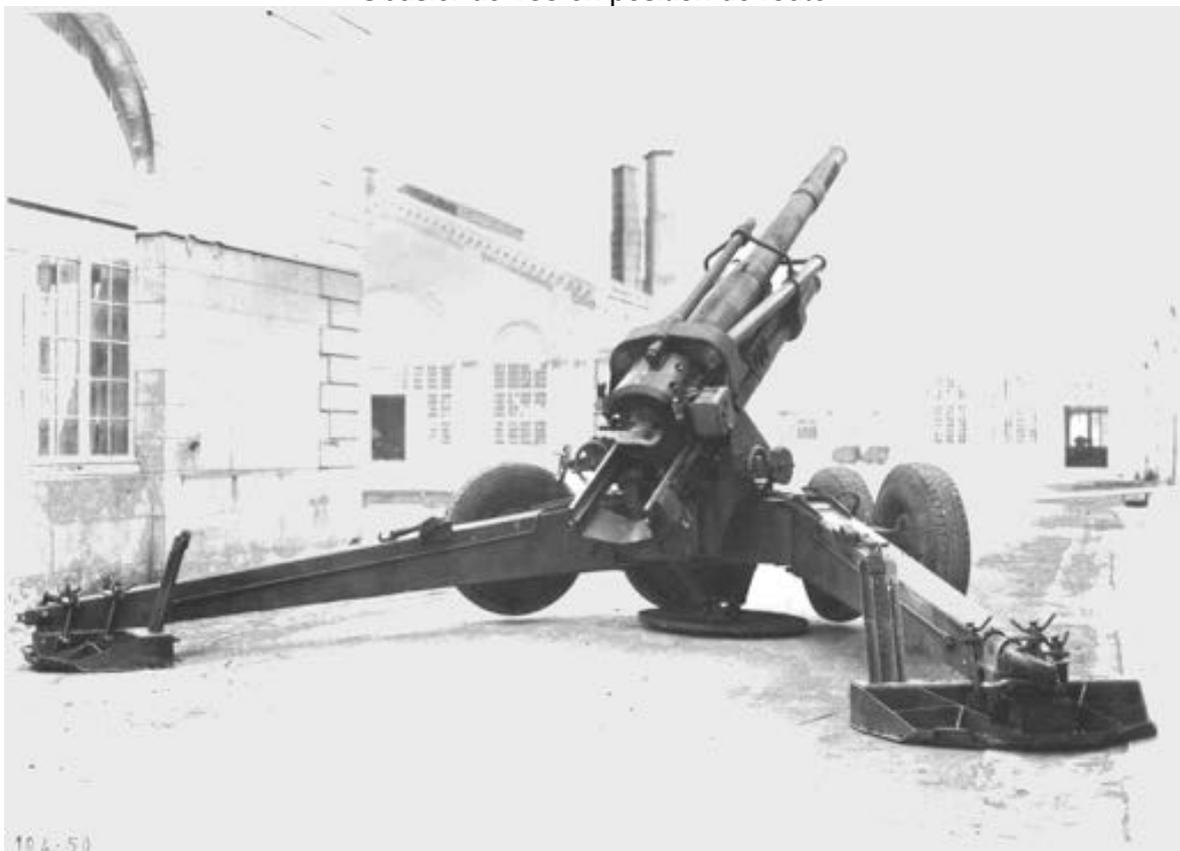


Fig. 18
Obusier de 155 en position de tir

LES AUTOMOTEURS D'ARTILLERIE DE 155 MM

Les programmes initiés dès 1945 pour les matériels d'artillerie comportent pour chacun des deux calibres 105 et 155 une version tractée et une version automotrice.

Si pour le 105 les deux versions aboutissent presque simultanément, le résultat est tout à fait différent pour le 155.

La version tractée du 155, l'obusier de 155 Mle 50 atteint sans avatar majeur la fabrication en série puis la mise en service. Cet obusier est le premier matériel d'artillerie français de l'après-guerre.

L'automoteur de 155 au contraire va rester très longtemps un engin fantôme par suite d'une faute grave dans sa conception, ou plutôt dans l'organisation et la responsabilité de la conception.

L'état-major demande une artillerie, reprenant au moins le tube de l'obusier tracté, servie en casemate sans chargement automatique et montée sur un châssis chenillé à développer (masse totale prévue autour de 30 tonnes).

Une expérimentation menée sur des automoteurs allemands de 15 cm Hummel récupérés et remis en état, avait mis en lumière l'importance de disposer d'un large espace sur l'arrière du châssis, en vue d'organiser correctement le service de la pièce. Corrélativement, le moteur de propulsion devait être placé en avant de l'artillerie.

Cependant, c'est le projet avec moteur à l'arrière que l'état-major retient et que la DEFA fera donc développer.

La DEFA à cette époque n'a pas encore inventé la fonction de « Directeur de programme » et son organisation est trop lourde pour rattraper une telle erreur :

Le développement de l'artillerie est du ressort de l'ABS sous l'autorité de ST/ART.

Le développement du châssis est confié à la société Lorraine Dietrich sous l'autorité de ST/AC.

Ce châssis est destiné non seulement à l'automoteur de 155 mais également à un char de 40 tonnes qui ne verra jamais le jour. C'est un châssis classique avec moteur et transmission à l'arrière.

La coordination remonte donc à un niveau très élevé mais mal outillé pour trancher en temps utile dans des questions de conception, entre ces deux chaînes hiérarchiques.

Les essais de l'automoteur sur châssis Lorraine mettent en évidence l'erreur de conception dont l'Inspection de l'artillerie fait part à l'état-major en août 1950 dans les termes suivants :

« L'organisation de l'automoteur est contestable, le moteur placé derrière le canon supprime tout dégagement vers l'arrière pour le service de pièce... Le problème reste entier... Un matériel de 155 automoteur est indispensable à l'artillerie... Je propose en conséquence que la mise au point de ce matériel soit continuée en étudiant en particulier une amélioration des conditions de service de la pièce. Pour l'instant sa fabrication en série ne se justifie pas. »

En fait, rien ne sera modifié dans l'architecture du châssis Lorraine. Pire encore, lorsqu'on en viendra à la solution de montage en casemate tournante le châssis commandé en 1954 à la société Batignolles sera encore conçu avec moteur à l'arrière. On aboutira au même échec et l'étude de l'automoteur sur châssis Batignolles sera arrêtée en 1959.

Il est même envisagé en 1961 de reprendre l'étude en utilisant le châssis du char AMX-30, et c'est un des mérites de l'Ingénieur en chef Marest que d'avoir contribué à arrêter le lancement de ce nouvel épisode.



Fig. 19
Le canon automouvant de 155 F3 Am

La DEFA a heureusement lancé entre temps (1958) le développement d'un automoteur léger de 155 sur châssis AMX-13, servi à terre sans protection pour le personnel. Il conserve la masse pivotante de l'OB 155 Mle 50 mais avec un tube allongé à 30 calibres qui lui confère l'appellation de canon.

Le prototype est présenté à l'état-major en 1964 et sera adopté en 1969, sous l'appellation de canon automouvant de 155 Mle F3 Am – adoption faite de mieux auront sans doute pensé certains –. Certes, le 155 F3 Am réalise pour un coût bien moindre la plupart des performances recherchées pour l'automoteur : portée, recouvrement des charges, cadence de tir, mais également la mobilité sur route et en tout terrain, la mise en batterie et la sortie de batterie dans des délais très courts (de l'ordre de la minute).

Un gros handicap cependant ; l'équipe de pièce mais surtout les munitions doivent être transportées séparément et le service se fait à l'air libre sans protection.

On donne ci-dessous quelques caractéristiques techniques du 155 F3 Am (fig. 6) plus couramment le « 155 automouvant » qui sera fabriqué à 383 exemplaires (222 pour l'Armée française, 161 pour l'exportation) :

- Équipe de pièce de neuf hommes dont deux seulement sont transportés sur le canon automoteur lui-même.
- Masse en ordre de combat : 17,4 tonnes
- Canon de 155 mm L30 tirant l'obus explosif Mle 56 à V_0 725 m/s pour une portée maximale de 20 000 mètres.
- Champ de tir horizontal : 50°
- Champ de tir vertical : de 0° à 67°
- Mise en batterie par abaissement des bèches et mise en marche arrière pour forcer leur ancrage.
- Cadence de tir : trois coups par minute (mais l'auteur de ces lignes a vu tirer six coups en une minute par une équipe de pièce particulièrement vigoureuse et motivée).

Le « 155 automouvant » qui rejoint les régiments d'artillerie au milieu de la décennie 1970 nous apparaît comme la dernière composante du programme d'artillerie initié dès 1945 (un matériel tracté et un matériel automoteur pour chacun des calibres 105 et 155).

L'automoteur qui lui succédera et qui deviendra le 155 AU F1 aura été conçu à partir d'une démarche sensiblement différente. A l'origine, il s'agit de répondre au besoin du tir indirect anti-blindés TIAB, sujet du chapitre 9 du présent ouvrage. Nous nous contenterons ici de situer la place du 155 AU F1 dans cette recherche.

Dès 1960, tous les services concernés des pays de l'OTAN se mobilisent autour du TIAB. Il s'agit toujours d'arrêter une Armée rouge réputée très supérieure en nombre d'engins blindés. Une capacité d'action à grande distance en tir indirect devrait conduire à un rapport de forces moins défavorable dans le combat en tir direct.

Faute de munition « intelligente » on en est réduit à tirer un grand nombre de coups en un temps très court (puisque l'objectif se déplace ou se disperse rapidement).

Il y aura en France deux réponses à cette gageure :

- Le lance roquettes multiple LRM qui fera l'objet au début des années 1970 d'un développement national (programme SYRA). Ce développement sera abandonné au profit d'une participation au programme LRM dont les États-Unis sont chef de file.

- Un canon de 155 à grande cadence de tir initialement désigné 155 GCT. Ce sera un matériel sous casemate tournante équipé d'un dispositif de chargement automatique pour assurer le tir de six coups en 45 secondes. Dans cette disposition l'usage d'un châssis à moteur et transmission arrière n'est plus un handicap et le châssis AMX-30 sera retenu.

Un prototype de 155 GCT est en essais en 1975 mais des problèmes subsistent qui feront différer son adoption sous l'appellation 155 AU F1 de quelques années.

LES MUNITIONS D'ARTILLERIE DE 155 MM

Le système développé pour l'obusier de 155 Mle 50 comporte un obus explosif de 43,7 kg qui sera adopté sous l'appellation OE Mle 56.

Tiré sous Pm 2 650 bars il atteint V_0 647 m/s pour une portée maximale de 17 700 m dans l'OB 155-50 BF et V_0 725 m/s pour une portée maximale de 20 000 mètres dans le canon de 155 F3 Am.

Il y a un système de charges vives (1 à 7) et un système de charges lentes (6 à 9).

Les charges sont conditionnées dans des gargousses en toile dont les sachets sont séparables. L'arrière des charges minimales (vive et lente) comporte un sachet de poudre noire auquel le feu est transmis à travers une lumière dans la culasse par une étoupille mise en place à l'arrière de cette culasse.

C'est une disposition très classique à cette époque pour les matériels de gros calibre. Elle n'a pas engendré de difficultés majeures si l'on excepte les problèmes liés à la mise à feu de l'étoupille elle-même et qui sont évoqués plus haut.

L'inconvénient majeur des gargousses en toile est d'être pratiquement incompatible avec un chargement automatique.

Les munitions de 155 mm vont suivre deux lignes de développements pratiquement indépendantes, l'une pour les obus, l'autre pour les charges propulsives.

En ce qui concerne les obus, au-delà de l'OE Mle 56 il est développé au début des années 1960 un obus à culot creux. L'intérêt de cet obus – dont le principe est rappelé dans le chapitre 3 – est le gain en portée résumé dans le tableau ci-dessous :

	OE Mle 56		OE à culot creux	
	V_0 m/s	Xm mètres	V_0 m/s	Xm mètres
OB 155 Mle 50	647	17 700	725	20 000
CN 155 F3 Am	725	20 000	745	21 000
CN 155 AU F1	790	22 200	810	23 500

La modestie de ce gain, jointe à l'abondance en munitions américaines 155 HEM1 utilisables dans l'OB 155 Mle 50 et le CN 155 F3 Am feront que l'obus à culot creux développé dans le début des années 1960 ne sera adopté sous l'appellation OE 155 F1 que 15 ans plus tard à l'occasion de sa mise en service sur le CN 155 AU F1.

Les autres développements d'obus de 155 mm visent à obtenir une efficacité en tir indirect anti-blindés (TIAB).

Des efforts considérables sont consacrés à ce sujet dans les décennies 1960 et 1970, en particulier autour d'un obus à fragmentation prédéterminée (155 FPD).

Cependant, les résultats sont très médiocres aussi longtemps qu'on ne saura pas conférer à l'obus une certaine « intelligence » terminale.

Ces travaux sont relatés en détail dans le chapitre 9 sur le tir indirect anti-blindés.

Pour les charges propulsives, c'est le programme du 155 à grande cadence de tir 155 GCT futur 155 AU F1 qui impose une nouvelle conception compatible avec le tir à grande cadence sous tourelle.

Le conditionnement des charges propulsives doit permettre le chargement automatique et cela sans résidu à évacuer après tir tant pour contribuer à assurer la cadence que pour maintenir une atmosphère respirable en tourelle.

La solution sera la douille combustible dont les premiers essais ont lieu en 1969 et qui équipera le CN 155 AU F1 lors de sa mise en service une dizaine d'années plus tard.



Fig. 20
Le canon automoteur CN 155 AU F1

La description ci-dessous est extraite de la notice technique de ce matériel, document MAT 4118/1.

Charge propulsive

La charge propulsive, en évitant toute éjection après le tir, contribue à assurer une grande cadence de tir. Elle se compose d'une douille combustible contenant différentes charges pouvant être ajustées par le chargeur avant le tir.

Description (fig. 20)

La douille combustible est composée des éléments suivants :

- un corps (D) ;
- un fond (G) muni d'un inflammateur (F) fonctionnant par induction ;
- un couvercle (A) maintenu par bande autoagrippante et muni d'une poignée.

Elle est recouverte d'un enduit et d'un vernis la protégeant contre l'humidité.

A l'intérieur, sont déposées les charges sous forme de sachets de poudre (J) ainsi qu'un sachet d'allumage (E) et un sachet relais (H). Les charges propulsives portent en leur centre les tubes SD combustibles (C) liés aux sachets intermédiaires.

Un disque de calage (B) maintient la ou les charges en appui sur le fond de l'étui.

Charges

Deux gammes de charges sont utilisées :

- gamme forte (charges 3 à 7) – charges lentes ;
- gamme faible (charges 1 à 2) – charges vives.

La gamme forte permet une V_0 de 490 m/s à 810 m/s avec l'obus OE 155 F1.

La gamme faible permet deux V_0 , l'une de 360 m/s, l'autre de 420 m/s avec l'OE 155 F1.

La charge 6 correspond au maximum admissible pour le tir de l'obus modèle 56 ou 56/69.

Mise en œuvre des charges

Gamme forte : La charge propulsive étant livrée avec la charge maximale (charge 7) il suffit que le chargeur enlève les sachets excédentaires à la charge choisie, puis replace le disque de calage et le couvercle.

Gamme faible : Pour obtenir une charge en gamme faible, il faut retirer tous les sachets de la gamme forte sauf l'appoint d'allumage et les remplacer par le sachet de poudre vive suivant la charge désirée puis remplacer le disque de calage et le couvercle.

Caractéristiques :

- Longueur : 755 mm
- Diamètre au culot : 174,6 mm
- Masse totale : 12,8 kg
- Masse de la douille : 1,8 kg
- Masse des charges :

Charge 1 : 0,880 kg

Charge 2 : 1,450 kg

Charge 3 : 4,4 kg

Charge 4 : 5,6 kg

Charge 5 : 8,3 kg

Charge 6 : 10 kg

Charge 7 : 11 kg

Allumage : 250 g de PNL1 + 1 sachet relais de 50 g

La composition de base de la douille est la nitrocellulose et le kraft.

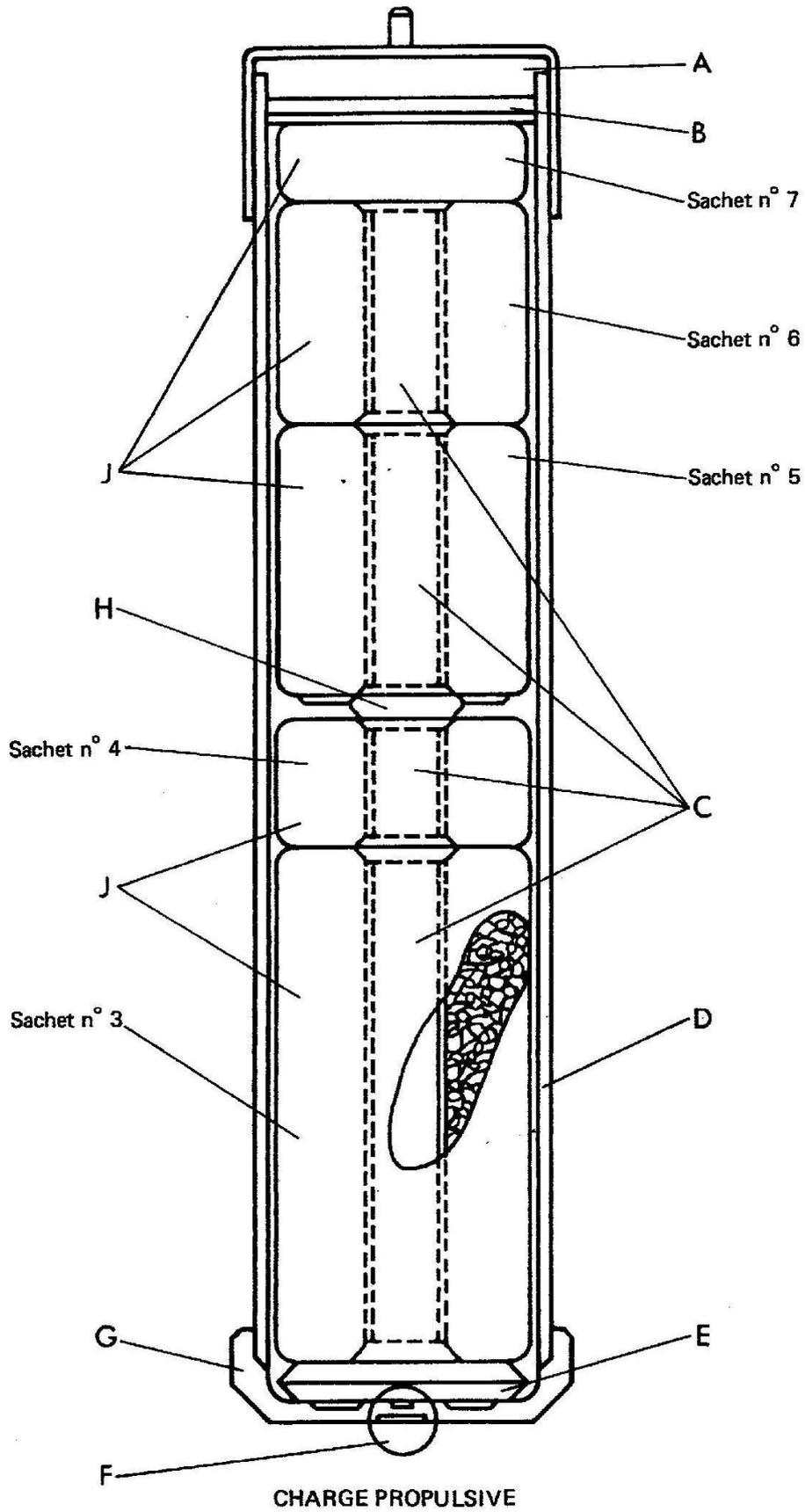


Fig. 20

LE CANON DE 175 PUISSANT

Ce matériel ne dépassera finalement pas le stade du prototype, mais s'agissant du dernier canon de gros calibre réalisé en France, il mérite quelques lignes dans une relation historique.

Il s'agissait au départ de prévoir le remplacement des canons français de 155 GPF-T et américains 155 GUN.

Une portée de 32 km au moins devait être recherchée. Très vite, la DEFA a proposé de passer à un calibre supérieur (175 mm) permettant d'obtenir ce résultat sans craindre une usure trop rapide des tubes – une approche inspirée par les calibres (17 cm et 21 cm) des canons allemands de la Deuxième Guerre mondiale.

L'étude est finalement lancée au début des années 1950 et le développement confié en 1953 à l'ABS qui réalise en particulier une bouche à feu prototype en 1957, puis à partir de 1958 à Schneider pour la fabrication du prototype de matériel complet.

Rappelons ici les principales dispositions du canon de 175 :

- tube de 50 calibres à culasse à coin,
- utilisation de culots obturateurs en acier,
- matériel tracté à double système de recul (en berceau et en affût),
- pointage hydraulique avec chargement à angle fixe (civière montée sur vérin hydraulique télescopique et refouloir hydraulique télescopique),
- attelage en semi-remorque, organisation du train de roulement arrière pour permettre les grands changements de direction de tir,
- Pm 2800 kg/cm² obus de 73 kg charge propulsive de 28,2 kg en deux gargousses
- V_0 en charge maximale 860 m/s,
- portée maximale 32 km.

Si le développement était financé à 50 % par les États-Unis sur un contrat MARIS il apparût assez vite que tant le calibre (175) que la conception générale (canon tracté) étaient en voie d'être abandonnés par ces mêmes États-Unis pour leur artillerie lourde. Ils construisirent au contraire un matériel de 203 sur châssis chenillé « automouvant » c'est-à-dire avec bêtes à l'arrière et service de la pièce à l'air libre.

L'espoir un temps caressé de disposer un jour de projectiles nucléaires a peut-être retardé la décision d'arrêter le développement du 175, décision finalement prise en 1960.



Fig. 22
Canon de 175 en position de tir

CHAPITRE 9

ÉTUDES RELATIVES AU TIR INDIRECT ANTI BLINDÉS

PÉRIODE 1945-1975³¹²

VUE D'ENSEMBLE

Entre 1945 et 1975, les études de systèmes d'armes capables, par tir indirect, d'interventions massives et brutales sur des zones de superficies relativement limitées, ont été guidées, successivement, par deux expressions de besoins :

- De 1946 jusqu'à la fin des années 1950, la mission première est la lutte antipersonnel – à découvert – qui était l'objectif principal des armes de saturation allemandes et russes mises en service pendant le deuxième conflit mondial³¹³. Le développement de l'arme de saturation multitubes française au calibre de 150 mm correspond à ce besoin.
- Dès le début des années 1960, les caractéristiques de la menace sont telles, que l'aptitude à détruire, ou au minimum neutraliser, une partie notable des unités blindées ennemies se trouvant au voisinage de nos propres forces³¹⁴ devient la mission prioritaire du tir indirect sur zone. Des réflexions et des études exploratoires sont engagées sur les munitions spécifiques de ce type d'objectif, limitées, pour l'essentiel, à l'effet terminal des têtes militaires³¹⁵. Le besoin d'un système lance-roquettes multitubes ne sera exprimé qu'en 1968 ; il entraînera le lancement du programme SYRA, système lance-roquettes de 142 mm qui n'en sera qu'à la fin de sa première phase de développement en 1975. L'arme de saturation de 150 mm, comme le lance-roquettes de 142 mm SYRA, ne seront pas adoptés. Pour l'arme de saturation de 150 mm dont l'expérimentation par la STA est stoppée à la fin de 1958, l'abandon résulte de la conjonction, d'une part, d'un bilan coût-efficacité défavorable³¹⁶, d'autre part, de l'aptitude du mortier de 120 mm à satisfaire – en partie et dans de meilleures conditions économiques – au but recherché. De plus, en 1958, la seule mission de lutte antipersonnel en tir indirect sur zone n'est plus suffisante pour justifier un système d'armes particulier. Il n'en sera pas de même en ce qui concerne l'arrêt du programme SYRA après 1975. Le système d'arme était reconnu comme balistiquement très performant, pour un lance-roquettes, en justesse-dispersion, mais son efficacité dans la lutte anti-blindés par tir indirect était limitée, à court terme, au seul emploi de têtes à mines dispersables, en l'absence de têtes « semi-intelligentes »³¹⁷ à effet immédiat, cet inconvénient

³¹² Texte de l'IGA Marest

³¹³ Nebelwerfer allemand en service dès 1940 ; Orgues de Staline russes.

³¹⁴ Le tir « anti-blindés », sur zone, « en profondeur du champ de bataille » ne sera pris en compte que dans le cadre multinational du programme MLRS (munition intelligente acquise), en février 1994.

³¹⁵ Études menées à la fois au plan national et en coopération franco-allemande.

³¹⁶ Dispersion irrégulière, coups anormaux, prix unitaire, en 1958, la roquette à tête explosive = 58 000 francs (anciens francs).

³¹⁷ En 1975, on ne détient pas, en France, de concept de tête militaire efficace, par effet immédiat, dans la lutte anti-blindés selon la définition de l'objectif de référence. Le seul concept efficace est celui de la tête militaire à mines AC largables, à effet différé.

opérationnel étant aggravé, au plan budgétaire, par le coût élevé d'approvisionnement des roquettes. D'autre part, la portée maximale souhaitée vers 1975, rejoignant les orientations de l'OTAN était plutôt de 25 à 30 km au lieu des 20 km du programme national et la roquette de 142 mm n'était pas susceptible d'une telle extension de portée sans remise en cause des conditions de service de pièces retenues³¹⁸ ou de son efficacité (réduction de masse de la tête militaire). Mais l'expérience acquise tant par les Services techniques de la DTAT que par les Industriels constituera un acquis appréciable au moment de l'organisation de la coopération pour la fabrication en Europe, sous licence, du système lance-roquettes multiple américain MLRS et des études de nouvelles munitions associées.

ARME DE SATURATION DE 150 MM (1950-1963)

Sous l'égide du département « Études et recherches techniques » (ERT) créé en octobre 1945 au sein du Service technique de la DEFA et dont la direction a été confiée à l'ingénieur en chef Lafargue, des études de principe d'engins autopropulsés sol-sol, non guidés, destinés au tir sur zone à effet antipersonnel, sont entreprises entre 1946 et 1950, à la fois dans les établissements de la DEFA et dans l'industrie privée afin d'apprécier les performances à attendre de tels systèmes qui se situent dans la continuité des *Nebelwerfers* allemands et des Orgues de Staline russes³¹⁹.

Dans ces premières études qui ont porté essentiellement sur la balistique (maîtrise de la propulsion, portée, justesse, dispersion) et sur les dispositifs de lancement (rampes, tubes...), il y a lieu de retenir :

- l'engin Carrière³²⁰,
- l'engin autopropulsé lourd Brandt,
- l'engin de 150 mm à trois rampes de lancement.

Ces engins ont des portées de 12 à 15 km mais la dispersion des tirs est relativement importante³²¹.

A partir de ces investigations, l'EMAT établit à la fin des années 1940 les caractéristiques de l'engin dont il souhaite se doter pour des « interventions

³¹⁸ La masse totale de la roquette est limitée, au sens ergonomique, par l'exigence de chargement manuel sans moyen de levage et toute augmentation de masse de la partie propulsive pour augmenter la portée se fait au détriment de la masse et de la capacité volumique en sous munitions de la tête militaire.

³¹⁹ A la demande de la Direction de l'arme blindée, intéressée, la STA a effectué une expérimentation avec tirs d'un « Maultier » allemand de prise de guerre (Panzerwerfer 42 à 10 tubes de lancement au calibre de 15 cm monté sur véhicule semi chenillé ; portée 6 700 m).

De leur côté, les États-unis ont réalisé en 1946 deux lance-roquettes multiples :

- un lance-roquettes à 60 tubes de 4,5 pouces (114 mm) dénommé T 35 monté sur châssis de char M4,
- un lance-roquettes à 24 rampes monté sur camion de 2,5 tonnes tirant des autopropulsés de 7,2 pouces (183 mm).

³²⁰ Engin conçu par l'ingénieur militaire Carrière qui participa à l'essor du LRBA de Vernon.

³²¹ Au cours des essais effectués, le minimum de dispersion, à 12 km, a été de l'ordre de 600 m en portée et de 400 m en direction.

massives et brutales » sur des objectifs assez étendus à portée moyenne³²², à savoir :

Portée : au moins 7 000 m, ultérieurement 10 000 m,

Caractéristiques balistiques : écart probable (en direction et en portée) inférieur à 50 m pour des portées de plus de 3 500 m,

- Matériel : appareil de lancement rustique doté du plus grand nombre possible de tubes de lancement (longueur des tubes inférieure à 2 m) ; mise en batterie et sortie de batterie très rapides,
- Engin : masse inférieure à 25 kg pour permettre un rechargement manuel du lanceur dans des délais très courts ; efficacité terminale équivalente à celle d'un obus de 155 mm³²³.

Le développement est confié à la Manufacture d'armes de Levallois (MLS) de la DEFA³²⁴. L'ingénieur militaire principal Joneaux est chargé de cette étude.

Le matériel de lancement et l'engin sont définis en 1951 et les premiers essais sont effectués en juin 1952. Ce système appelé « arme de saturation de 150 mm » est constitué d'un affût à 22 tubes de 1,50 m de longueur tirant chacun un engin autopropulsé à poudre au calibre 150 mm, pesant 27 kg, dont la portée maximale est de 7 000 m et dont l'efficacité de la tête antipersonnel est estimée équivalente à celle d'un obus explosif classique de 135 mm. La masse de l'affût tracté, en position de route (tubes non chargés) est de l'ordre de 1 300 à 1 400 kg.

La définition du matériel et de l'engin ne seront arrêtées qu'en 1955 et un prototype dans la version prévue pour l'expérimentation officielle, sera présenté au tir en juin 1955³²⁵. Les caractéristiques principales de cette version du système – lanceur et engin – font l'objet de l'annexe I. Pour cette expérimentation, six lanceurs et 1 200 engins à tête inerte sont mis en fabrication suivis d'une commande de 2 500 engins à tête explosive et de 2 500 engins fumigènes, ces derniers étant destinés aux écoles à feu.

Le coût d'un tel système pour un approvisionnement par l'armée de Terre, en cas d'adoption, est estimé par la DEFA à la mi 1957 :

4 millions d'anciens francs par lanceur sur la base d'une série de 200 matériels,

58 000 anciens francs par engin à tête explosive (avec son conditionnement de stockage) sur la base d'une série de 50 000 coups.

L'expérimentation officielle par la STA est engagée en juillet 1957 mais elle est très rapidement suspendue à cause de trop fortes dispersions des tirs dès le largage des engins³²⁶. Elle est reprise en 1958 dans un cadre tripartite (Italie, RFA, France),

³²² Les deux éléments prioritaires sont la rapidité de l'intervention et l'efficacité, la portée maximale n'étant pas fixée de manière impérative.

³²³ La double exigence de masse totale (corps de l'engin, propulseur, tête explosive) et d'efficacité terminale était très difficile à satisfaire. Un obus explosif de 155 mm (référence à la tête d'engin) pèse environ 43 kg dont 6,5 à 8 kg d'explosif.

³²⁴ La DEFA avait décidé en août 1950 d'implanter à la MLS un centre d'études d'autopropulsés à poudre agissant pour le compte du bureau « Études et recherches techniques » (ST/ERT) du Service technique. La mission antérieure de manufacture d'armes de cet établissement devait progressivement disparaître pour être remplacée par des activités de réalisation de prototypes pour le compte des bureaux ST/ERT et ST/DCA du Service technique (décision DEFA du 15 décembre 1950).

³²⁵ Les 22 engins du lanceur prototype seront tirés, en rafale, en 12 secondes.

³²⁶ Ces très fortes dispersions au départ des coups nécessitent même des adaptations des moyens de mesure de champs de tir, en particuliers des cinéthéodolites Contraves.

le programme d'essais portant sur les conditions de mise en œuvre du système, le fonctionnement des engins aux températures extrêmes, la qualité des tirs en justesse-dispersion et en effet terminal.

Les résultats sont médiocres : la dispersion est importante et irrégulière³²⁷ avec deux pour cent de coups « anormaux »³²⁸, la fusée de la tête explosive n'est pas au point, l'efficacité antipersonnel n'est pas supérieure à celle d'un obus de 105 mm ; l'importance des défauts constatés conduit à une suspension du programme d'expérimentation à la fin 1958. A ce stade des essais, la comparaison avec le mortier de 120 mm, en coût-efficacité, sur objectif de surface réduite (4 hectares) est en faveur de ce dernier matériel : à portée égale et pour un même nombre de coups sur cible, la consommation de tirs est moindre pour le mortier de 120 mm et le coût des munitions tirées est cinq fois plus faible. Un regain d'intérêt pour l'arme de saturation de 150 mm nécessiterait une reprise profonde de l'étude au plan technique (élimination des coups dits « anormaux », réduction de la dispersion) et au plan économique (diminution notable du prix des engins). L'étude de l'arme de saturation de 150 mm aurait probablement été définitivement arrêtée à la fin 1958 si la Direction des armes spéciales n'avait pas manifesté son intérêt à en connaître davantage³²⁹ dans le cadre de ses propres missions. De 1959 à 1961, des tirs d'engins équipés de têtes spécifiques du nouveau besoin sont effectués par la STA et un programme d'expérimentation officielle est préparé à la fin 1961 pour juger de l'opportunité d'une adoption de l'arme de saturation de 150 mm pour l'équipement des unités des Armes spéciales³³⁰. Les essais effectués en 1962-1963 ont pour objectifs principaux :

- l'examen de la répartition des coups d'une salve sur la cible,
- l'exécution des tirs d'engins à tête active,
- l'établissement de la table de tir.

Ces essais confirment les insuffisances constatées au cours de l'expérimentation de 1958 (dispersion importante) et l'arme de saturation ne sera pas retenue pour satisfaire aux besoins des armes spéciales. Son développement sera arrêté en 1963³³¹.

³²⁷ Dispersion constatées au sol, à l'occasion de tirs de rafales de 22 coups :

- 630 m x 165 m à portée de 3 400 m
- 570 m x 280 m à portée de 4 900 m
- 370 m x 300 m à portée de 6 100 m

³²⁸ Chute des engins entre 20 m et 200 m en avant du lanceur.

³²⁹ Intérêt pour le multitube à grande cadence de tir : dans le temps imparti pour que 24 mortiers de 120 mm neutralisent 3 ha, deux armes de saturation de 150 mm à 22 tubes neutralisent 5 ha.

³³⁰ Cette expérimentation nécessite la remise en état des matériels de lancement existants et la fabrication d'engins de 150 mm à tête inerte et active.

³³¹ Les besoins de la Direction des armes spéciales seront réorientés, dès 1963, sur une nouvelle voie (projectiles de 155 mm).

FEUX CLASSIQUES À GRAND RAYON D'ACTION

Tir indirect anti-blindés (TIAB) (1962-1968)

Au début des années 1960, des réflexions sont engagées sur le plan international (groupe AC 175 de l'OTAN) et au plan national, en particulier en France et en République fédérale d'Allemagne, sur les appuis-feux par tir indirect capables d'interventions massives et de très courte durée sur des éléments ennemis détectés dans des zones voisines des troupes amies. Ces appuis-feux doivent pouvoir traiter toute sorte d'objectif dans la zone considérée – chars de combat, véhicules blindés légers, véhicules tactiques, fantassins au sol...– avec des appréciations de priorité sur lesquelles les avis sont partagés. Ainsi, au groupe OTAN AC/175 qui traite des « matériels d'artillerie perfectionnés d'appui rapproché » les États-Unis proposent une spécification (STANAG) de système d'arme capable de détruire sur une zone de surface réduite, jusqu'à des portées de l'ordre de 30 km, les objectifs allant du fantassin au véhicule blindé léger et « éventuellement » au char lourd, alors que pour la France la préoccupation majeure pour ce système d'arme est la destruction de toutes les catégories de véhicules blindés dont « en priorité » les chars³³². L'accord se fera toutefois sur la spécification de la cible « véhicules blindés » à savoir : « 10 véhicules blindés disséminés sur une zone de 20 ha »³³³.

En France, la réflexion sur ce sujet du tir indirect sur zone à vocation anti-blindés est confiée à la Commission consultative permanente (CCP) « feux classiques à grand rayon d'action » créée par DM du 15 juin 1962 dont la présidence est confiée au général Inspecteur de l'artillerie³³⁴. La mission de cette CCP consiste à :

« Explorer les possibilités de réalisation d'un moyen de feu à grand rayon d'action dont les effets de neutralisation, sinon de destruction, soient à l'échelle de l'objectif constitué par des véhicules blindés en formation largement dispersée ».

La DM précise que la mission d'exploration se limitera à la recherche de principes de munitions, à l'exclusion du vecteur. Elle fixe également certaines caractéristiques militaires auxquelles devra satisfaire le moyen de feu recherché :

- en efficacité : mise hors de combat de 50 % (si possible 70 %) d'une formation de 10 véhicules blindés³³⁵ répartis sur une zone de 20 hectares,
- en consommation de munitions : six tonnes au maximum par intervention³³⁶ pour obtenir l'efficacité recherchée,
- en délai d'intervention : 3 à 5 minutes de préparation, les munitions étant délivrées sur la zone en 20 à 30 secondes,
- en champ de portées : de 2 à 30 km.

³³² La France, soutenue par la plupart des représentants des autres pays au groupe AC/175, obtiendra que les spécifications des nouveaux systèmes d'armes ne soient arrêtées qu'après garantie de compatibilité avec les munitions nouvelles destinées à la lutte antichar, en cours d'étude.

³³³ Cette définition correspond, en vue aérienne, à une surface « véhicules cibles » inférieure à 1/1 000 de la superficie totale de la zone.

³³⁴ Un ingénieur militaire désigné par la DEFA fait partie de la CCP à titre consultatif.

³³⁵ La DM prévoit « 6 à 10 véhicules blindés ». En fait, pour les études de recherche opérationnelle, la référence sera de 10 véhicules (spécification OTAN).

³³⁶ Ce tonnage correspond à la consommation de 40 à 60 munitions (2 à 3 par ha) dont la masse unitaire serait comprise entre 50 et 100 kg.

Les investigations de la CCP auxquelles participent, à titre consultatif, des personnalités extérieures à la commission³³⁷ sont concentrées sur l'effet terminal anti-blindés des munitions³³⁸. Ces investigations sont réparties entre deux sous-commissions :

une première sous-commission, présidée par l'ingénieur en chef DeFrance de la DEFA, traitant des munitions anti-blindés pour systèmes d'armes classiques d'artillerie (canons et lance-roquettes),

une deuxième sous-commission présidée par un Ingénieur des Poudres, chargée de la recherche de procédés d'agression nouveaux vis-à-vis des véhicules blindés, cette recherche étant orientée dans le domaine de la chimie (nuages incendiaires et explosifs...). C'est dans le cadre des travaux de cette sous-commission que sont entreprises par la SNPE des expériences sur la détonation gazeuse³³⁹ et que sont proposés à la Direction des recherches et moyens d'essais (DRME) des thèmes de recherches, en particulier dans le domaine de la contre-mobilité³⁴⁰.

Les réflexions de la première sous-commission portent sur des concepts de munitions spécifiquement anti-blindés, à effet immédiat et à action différée, pour canons de 155 mm³⁴¹ et pour lance-roquettes, les choix techniques étant basés uniquement sur le critère d'effet terminal³⁴².

Le champ d'application des investigations est, schématiquement, le suivant :

Armes	Munitions à effet immédiat	Munitions à effet différé
Canons de 155 mm	Obus explosif « à fragmentation prédéterminée »	Obus « cargo » mine AC largable
Lance-roquettes	Tête militaire à sous-projectiles largables – charges creuses et plates ³⁴³	Tête militaire à mines largables

Pour les feux à effet immédiat, la saturation de la zone est obtenue par dispersion de projectiles élémentaires : éclats d'obus de 155 mm, sous projectiles à charges creuses ou plates larguées par une roquette de gros calibre.

³³⁷ Dont les ingénieurs généraux de deuxième section Carougeau et Wilmet connus pour leur carrière à la DEFA.

³³⁸ La spécificité de l'objectif à traiter – cibles élémentaires de surface réduite, en nombre limité – a conduit la CCP à évoquer les questions de détection des cibles et de guidage des projectiles. La CCP a considéré que ces problèmes n'étaient pas de sa compétence.

³³⁹ Voie de recherche explorée par les États-unis (*fuel-air explosives*) dont la France est informée.

³⁴⁰ Entraves au déplacement des véhicules, au fonctionnement des moteurs ...

³⁴¹ La portée maximum retenue dans les caractéristiques militaires – 30 km – ne peut être atteinte à cette époque (sans propulsion additionnelle) qu'avec des canons de calibre supérieur à 155 mm. A la fin des années 1950, après l'arrêt de l'étude du canon d'action lointaine de 175 mm – portée max 32 km – le calibre maximum des canons de campagne en service et en développement en France est de 155 mm – portée max de 18 à 21 km.

³⁴² Les spécifications des cibles standard retenues par la première sous-commission de la CCP pour apprécier l'effet terminal font l'objet de l'annexe II.

³⁴³ Une deuxième variante de tête militaire contenant plusieurs centaines de fléchettes autopropulsées, à noyau perforant, avait été initialement retenue (noyau de 15 g de carbure de tungstène projeté à 1 500 m/s de vitesse initiale). Cette variante qui ne pouvait être efficace que vis-à-vis des blindés légers a été jugée moins intéressante que celle des sous projectiles à charge creuse ou plate et en est restée au stade de l'avant-projet.

Les obus explosifs classiques dont le corps est en acier forgé³⁴⁴ engendrent des éclats de formes irrégulières et de masses diverses, qui sont très peu efficaces par tir fusant à 15 m d'une cible représentative d'un toit de véhicule blindé léger³⁴⁵. Pour ces projectiles, l'augmentation de vitesse des éclats par recours à un explosif plus puissant (par exemple. substitution de l'octogène à l'exogène) n'est pas suffisante pour remédier à cette quasi-inefficacité.

La sous-commission a considéré que le seul domaine d'exploration envisageable était celui de la fragmentation « prédéterminée » du corps d'obus – optimisation, en masse et forme, des éclats associée à un choix approprié de l'explosif – en estimant toutefois que la capacité de perforation de l'éclat individuel optimisé se limiterait très probablement aux toits des véhicules blindés légers, à l'exclusion de ceux des chars³⁴⁶. La recherche du découpage régulier du corps d'obus est engagée dans deux voies :

- Par fragmentation réticulaire de la partie cylindrique centrale de ce corps (rainurages intérieurs, traitements métallurgiques...), le chargement de l'obus étant réalisé par coulée comme pour les projectiles explosifs classiques,
- Par deux familles de charges diédriques croisées disposées à la périphérie du chargement³⁴⁷, celui-ci étant réalisé à partir d'éléments moulés, empilés et installés dans le corps d'obus.

La première voie sera rapidement abandonnée³⁴⁸ et l'exploration ne sera poursuivie que dans la deuxième voie. Ce sera le concept de projectile de 155 mm, à fragmentation prédéterminée, dit FPD, dont l'étude sera menée par l'École centrale de pyrotechnie (ECP) de Bourges³⁴⁹.

³⁴⁴ Les projectiles explosifs à corps en fonte malléable perlitique produisent de petits éclats de forme et de masse régulières, efficaces à courte distance en antipersonnel « à découvert » mais inefficaces contre toute protection blindée. Cette formule a été abandonnée par les États-Unis pour les obus explosifs de 105 mm à culot creux après mise en fabrication, et en France par Brandt pour les projectiles de mortiers destinés à l'armée de Terre.

³⁴⁵ Cible de référence : plaque de blindage de 15 mm d'épaisseur sous incidence de 45°. L'efficacité est exprimée par le rapport du nombre de perforations au nombre total d'impacts. Dans le cas des obus explosifs de 155 mm (OE Mle 56/69, OE à culot creux) chargés en hexogène-tolite, l'efficacité anti-blindés légers est inférieure à 7 %.

³⁴⁶ Cible de référence (voir annexe II) : plaque d'acier à blindage de 40 mm d'épaisseur sous incidence de 60°.

³⁴⁷ Détails techniques du concept en annexe III. La faisabilité, au sens de la dynamique du tir, est dépendante de la résistance des charges diédriques aux contraintes du départ du coup de canon (choix d'un explosif de chargement ayant des caractéristiques appropriées, à l'état d'élément moulé).

³⁴⁸ Régularité de forme et de masse des éclats, insuffisante. De nouvelles études sur la fragilisation du corps d'obus seront reprises en 1975 dans le cadre de la diversification des munitions de l'automoteur de 155 AUF1, basée sur le choix d'un corps d'obus standard (155 culot creux), la fragilisation devant être obtenue par traitement thermique (projet EFAB) ou par amorces de rupture internes du corps d'obus (projet Brandt). Ces solutions techniques plus simples que celle de l'obus de 155 FPD s'avèreront insuffisantes en efficacité terminale anti-blindés.

³⁴⁹ L'étude de la fusée de proximité radioélectrique spécifique de l'obus de 155 FPD sera confiée à la société TRT (hauteur de fonctionnement de l'ordre de 10 à 13 mètres en tir plongeant, sous angle d'arrivée faible, condition de tir favorable au sens de l'efficacité du « coup de hache » de la gerbe latérale d'éclats.

Le second procédé de saturation par tir indirect avec effet immédiat consiste à disperser au-dessus de la zone à traiter des projectiles élémentaires ayant une efficacité antichar connue ; le premier concept retenu à la fin 1962 est celui de la dispersion de grenades (appelées également bombettes) à charge creuse transportées et larguées par une roquette de gros calibre³⁵⁰. Aucune roquette d'artillerie n'étant à l'époque en service dans l'armée de Terre, l'étude exploratoire est engagée en utilisant comme vecteur de circonstance un armement de la Marine nationale, le mortier – ou lance-bombe – de 305 mm³⁵¹ et sa munition équipée de la nouvelle tête anti-blindés. Cette munition de 305 mm, à bombettes à charge creuse au calibre de 40 mm sera dénommée « NACEL ». L'ECP de Bourges sera chargée de l'étude de la bombette et de l'organisation de la tête – dépotage des bombettes³⁵², maîtrise de la dispersion...

Pour les feux à action différée, la réflexion n'est orientée que sur un projet d'obus « cargo » de 155 mm transportant une mine AC à charge creuse à effet ventral. Larguée par dépotage à une altitude de 400 m, cette mine, freinée dans sa chute par un empennage, se plante dans le sol à faible profondeur, et son bondissement hors de la souille ainsi que son fonctionnement sont commandés, au passage du char, par un allumeur à influence. Les solutions techniques retenues pour l'obus-mine de 155 mm pourront être transposées ultérieurement – avec moins de contraintes de lancement – à une tête de roquette à mines largables. L'étude du concept d'obus-mine de 155 mm dénommé OMAC (Obus mine anti-char) sera menée par l'ECP de Bourges avec la participation de la société CRIF³⁵³.

Ainsi trois axes de recherches, dans lesquels l'ECP de Bourges est particulièrement concernée, sont retenus à la fin 1963 par la CCP « Feux classiques à grand rayon d'action »³⁵⁴ :

- le projet d'obus explosif de 155 mm à fragmentation prédéterminée FPD,
- le projet de tête militaire de 305 mm NACEL à bombettes à charge creuse,
- le projet d'obus-mine de 155 mm OMAC à mine antichar ventrale.

A cette époque, la République fédérale d'Allemagne, qui participe aux travaux du groupe de travail OTAN AC/175 sur « les matériels d'artillerie perfectionnés d'appui rapproché », a engagé de son côté une étude de tête à mines antichar largables pour son lance-roquettes léger Lars³⁵⁵ – calibre 110 mm, portée 15 km – ce concept

³⁵⁰ Pour toutes les munitions à sous-projectiles dispersables, le corps du projectile primaire n'est qu'une enveloppe de transport et il y a intérêt à en minimiser la masse et à rechercher la capacité volumique maximale compatible avec les exigences balistiques (résistance au départ du coup, stabilité en vol...) ce qui aboutit, pour ce type de munitions, à préférer les systèmes d'artillerie à lance-roquettes à la condition qu'ils soient suffisamment performants en justesse-dispersion.

³⁵¹ Mortier ou lance-bombe de 305 mm, dénommé trivialement « Barbuca », allusion au nom de son concepteur, l'Ingénieur général de l'artillerie navale Barbe.

³⁵² Dépotage commandé par une fusée mécanique « à temps » (durée de trajet) de manière à minimiser l'erreur de justesse en portée.

³⁵³ CRIF : Centre de recherches industrielles et de fabrications. Le CRIF est chargé de l'étude de l'allumeur à influence de la mine de l'obus de 155 mm OMAC. Cet allumeur doit être capable de supporter l'accélération d'inertie au départ du coup de canon, exigence à laquelle ne sont pas soumis les allumeurs à influence analogues des mines antichars du Génie (mine HPD).

³⁵⁴ Propositions présentées au CEMAT à l'occasion du compte-rendu des travaux de la CCP le 24 janvier 1964.

³⁵⁵ Tête à 8 mines « bâton » largables. Ces mines sont activées par allumeur à pression au passage d'une chenille de char.

dénommé « Pandora » doit ultérieurement être transposé à un calibre de l'ordre de 300 mm pour le futur lance-roquettes moyen Mars – portée 30 km³⁵⁶.

Dans le cadre des relations franco-allemandes, un groupe de travail sur le thème du « Tir indirect anti-blindés » (TIAB) est créé à Bonn le 18 décembre 1963³⁵⁷. L'objectif initial est la coordination des études menées de part et d'autre, au plan national, avec, en perspective, une coopération sur les sujets d'intérêt commun. Dès les premières réunions, la délégation allemande marque son intérêt pour les deux concepts français à effet immédiat – obus de 155 mm FPD et tête NACEL – complémentaires de l'étude allemande Pandora à action différée, tout en regrettant que la France ne puisse pas proposer de vecteur-roquette de gros calibre³⁵⁸.

En France, les premiers essais en tir statique du projectile de 155 mm FPD sont effectués en 1964 avec deux modèles de chargement en explosif – nombre et masse des éclats³⁵⁹. Ces essais confirment la régularité du découpage du corps d'obus par les charges diédriques périphériques du chargement mais l'effet terminal est limité, comme on le pressentait, aux superstructures des véhicules blindés légers³⁶⁰. L'étude du projectile sera poursuivie sur deux axes principaux : mise au point de la fusée de proximité et choix de l'explosif de chargement.

Dans le même temps, des essais en tir statique, de bombettes à charge creuse au calibre de 40 mm, destinées à la tête NACEL, démontraient la capacité de perforation de ces sous-projectiles sur cible représentative des toits de chars³⁶¹. Les premiers tirs réels de projectiles de 305 mm équipés de têtes NACEL, ayant pour objet de s'assurer du bon fonctionnement de la chaîne pyrotechnique de dépotage et de la régularité de dispersion des bombettes³⁶² ne seront effectués au polygone de Gârves qu'en 1965.

Mais ces résultats intéressants, en effet terminal, obtenus à l'occasion de tirs statiques à proximité des cibles (obus de 155 FPD) ou au contact des cibles (bombettes de tête NACEL) sont insuffisants pour rendre compte de l'efficacité opérationnelle des systèmes d'armes utilisant ces projectiles en tir indirect, exprimée en probabilité de destruction des véhicules blindés constituant l'objectif de référence (10 chars répartis sur une zone de 20 hectares). La première étude théorique sur ce sujet sera entreprise par la Section de recherche opérationnelle de l'armée de Terre (SROAT), à partir des caractéristiques de la tête NACEL ; les résultats acquis à la fin

³⁵⁶ Tête à 60 mines « bâton largables identiques aux mines du Lars ».

³⁵⁷ Le premier président de la délégation française au groupe de travail TIAB est l'Ingénieur en chef DeFrance, président de la première sous-commission de la CCP.

³⁵⁸ Toute réflexion sur les vecteurs a été exclue du domaine d'investigation de la CCP « Feux classiques à grand rayon d'action » dès la création de cette commission.

³⁵⁹ Chargements devant découper 288 éclats de 90 grammes ou 144 éclats de 190 g. L'explosif de chargement pour les premiers essais statiques est l'hexolite ; quelques essais seront faits avec chargement en octolite sans avantage important en effet anti-blindé des éclats.

³⁶⁰ Voir Annexe II : Spécifications des cibles de référence « Véhicules blindés légers » et « chars ». Les essais en tir statique ont démontré la quasi-inefficacité de l'obus FPD fonctionnant à 15 m d'une cible « toit de char » quelle que soit la masse de l'éclat individuel (90 g ou 190). Le modèle de chargement retenu pour les essais ultérieurs sera celui à 288 éclats de 90 g qui émet deux fois plus d'éclats efficaces contre la cible « toit de véhicule blindé léger ».

³⁶¹ Cible de 40 mm d'épaisseur d'acier à blindage placée sous incidence de 60°.

³⁶² Tirs effectués avec têtes équipées de 24 puis 112 et 140 bombettes inertes.

1965³⁶³ montrent, qu'en termes de probabilité, l'efficacité de ces têtes utilisées en tir indirect « classique » est très éloignée des caractéristiques militaires retenues par l'EMAT : on ne peut espérer qu'une destruction de 10 % à 30 % des chars répartis sur la zone avec une consommation de l'ordre de 40 tonnes de munitions alors que le but à atteindre est de détruire 50 % (si possible 70 %) de ces cibles avec six tonnes de munitions au maximum.

Ainsi, à cette époque – fin 1965 – les seuls concepts crédibles, au sens du besoin militaire exprimé, sont les solutions à action différée par largage sur zone de mines antichar à partir d'obus de 155 mm et surtout de têtes de roquettes.

L'EMAT, soucieux de cette situation, demande, à la fin de 1965, que le problème soit repensé « de manière plus prospective ». C'est à l'occasion de cette prospection engagée auprès des industriels munitionnaires qu'Hotchkiss-Brandt propose une tête militaire à charges creuses radiales, présentant des caractéristiques intéressantes en perforation et distance d'action. Cette idée sera reprise ultérieurement lors du développement exploration du « lance-roquettes » multitubes d'artillerie de brigade³⁶⁴. Par ailleurs une réflexion sur la poursuite du projet NACEL est engagée : après les premiers tirs effectués avec le projectile Marine de 305 mm, on envisage l'emploi d'un vecteur fusée porteur d'une tête plus performante. Des contacts sont pris avec Sud-Aviation pour l'utilisation du propulseur ARES et une étude de tête militaire à 225 grenades d'un modèle amélioré pour vecteur fusée d'un calibre voisin de 300 mm est confiée à la SEPR³⁶⁵ en 1967. Mais aucune proposition nouvelle ne traite de l'accroissement de l'efficacité en tir indirect par augmentation de la probabilité d'atteinte du coup individuel (guidage des projectiles en phase terminale de trajectoire, « effet dirigé » des éléments actifs...).

Dans le même temps, au sein du groupe de travail TIAB, les deux délégations s'accordent pour proposer que les trois études en cours – projectile de 155 mm FPD et tête NACEL de 305 mm en France, tête Pandora de 110 mm en République fédérale d'Allemagne – soient poursuivies en coopération avec financement à parts égales et pilotage des études assuré, dans chaque cas, par le pays concepteur³⁶⁶. Le projet de convention établi en 1965 par le groupe TIAB recueillera l'avis favorable de l'EMAT à la fin de la même année mais l'accord intergouvernemental ne sera signé qu'en février et avril 1967³⁶⁷. A la fin octobre 1967, le groupe de travail TIAB propose une extension du contenu de cet accord portant en particulier sur les études d'obus-mines de 155 mm – obus français OMAC à mine à charge creuse et variante allemande avec mine à charge plate de la tête Pandora de deuxième génération. L'avenant à l'accord initial entérinant cette évolution sera signé en juin 1970³⁶⁸.

³⁶³ Communication faite pour la SROAT à l'occasion de la présentation au CEMAT de l'avancement des travaux de la CCP le 14 décembre 1965.

³⁶⁴ L'Atelier de construction de Puteaux (APX) proposera, à l'occasion de la prospection demandée par l'EMAT, une tête à canons multiples tirant des projectiles perforants à grande vitesse initiale, concept dont la faisabilité et l'efficacité ne sont pas assurées mais auquel le groupe de travail TIAB s'intéressera en 1967.

³⁶⁵ SEPR : Société d'études de propulsion par réaction.

³⁶⁶ Les deux délégations conviennent d'assurer l'interchangeabilité des fusées « à temps » de dépotage des têtes NACEL et Pandora : fusée mécanique (NACEL) et fusée électronique (Pandora).

³⁶⁷ Dates des signatures à Bonn et à Paris après mise au point des clauses administratives et commerciales : conditions d'exploitation des résultats d'études...

³⁶⁸ Inclus initialement dans le projet d'extension de l'accord binational, le concept APX de tête à canons multiples ne semble avoir été retenu dans l'avenant de 1970.

Entre temps, en France, l'objectif des réflexions a évolué : alors que depuis la création de la CCP, en 1962, ces réflexions étaient limitées à l'effet terminal des projectiles, quel que soit le type de lanceur, on est passé, en 1968, à un besoin exprimé par l'EMAT d'un « système d'armes multitubes d'artillerie » ayant pour mission prioritaire la lutte anti-blindés par saturation de zone dans des délais très courts d'exécution des feux.

Cette orientation nouvelle n'a pas de répercussion immédiate sur le déroulement des études des projectiles d'artillerie de 155 mm spécifiques de la lutte anti-blindés – obus FPD et obus mine – lesquelles sont poursuivies dans le cadre de la diversification des objectifs pouvant être traités par des unités dotées de canons de ce calibre. La chronologie de ces développements est rapportée dans les annexes – annexe III, deuxième partie pour l'obus FPD, annexe V pour l'obus-mine.

Pour l'obus de 155 FPD, il s'agira, jusqu'en 1973, d'achever les travaux engagés sur le choix de l'explosif (tenue du chargement au départ du coup, énergie cinétique des éclats) et la mise au point de la fusée de proximité, avec un corps d'obus particulier, à grande capacité. En 1973, à la demande de l'EMAT, l'étude sera réorientée sur l'utilisation d'un corps d'obus ayant le profil et la masse de l'obus explosif de 155 à culot creux de manière à en permettre l'emploi par les unités dotées d'automoteurs de 155 AUF1 (stockage et chargement automatique des obus FPD, standardisation des gammes de charges et des tables de tir).

Mais l'efficacité anti-véhicules blindés des tirs restera très faible vis-à-vis des cibles très dispersées, aucune disposition de correction de trajectoire, en phase terminale, n'ayant été envisagée pour accroître la probabilité d'atteinte³⁶⁹. Pour l'obus mine de 155 mm l'étude sera suspendue en 1970 lors du lancement du développement exploratoire du lance-roquettes multitubes, ce système d'arme s'avérant très supérieur, opérationnellement, aux canons, pour la dispersion de mines antichar sur zone.

SYSTÈME D'ARME MULTITUBES D'ARTILLERIE : AVANT-PROJETS ET PREMIÈRE PHASE DE DÉVELOPPEMENT DU PROGRAMME SYRA (1968-1975)

La directive d'orientation du 10 juillet 1968 de l'EMAT définit les principales caractéristiques militaires souhaitées pour un système d'artillerie de brigade³⁷⁰ capable de réaliser en 10 à 20 secondes, avec six lanceurs multitubes (une batterie) et une consommation maximale de 11 tonnes de munitions par intervention, la saturation antiblindés d'une zone de 20 hectares ou la saturation antipersonnel d'une zone de 40 hectares, la portée maximale du système d'arme ne devant pas être inférieure à 20 km.

Sur l'expression du besoin, trois points doivent être plus particulièrement soulignés :

³⁶⁹ Vers le milieu des années 1970, les États-Unis mettent au point un concept de projectile de 155 mm, dit « *Copper Head* » à guidage terminal sur faisceau laser (action sur des gouvernes placées à l'arrière de l'obus), principe utilisé durant la guerre du Vietnam pour le guidage des bombes à partir de l'avion lanceur. Dans le cas du concept *Copper Head* le marquage laser des cibles est effectué par des troupes au sol ou à partir d'hélicoptère.

³⁷⁰ Voir en annexe V, la liste des principales caractéristiques militaires.

Cible prioritaire ; l'EMAT confirme la priorité donnée à la destruction des véhicules blindés, la cible étant identique à celle retenue pour les travaux de la CCP (10 véhicules répartis sur 20 hectares) et même si la consommation maximale de munitions par intervention a été accrue – onze tonnes au lieu de six tonnes – il est très peu probable que les têtes militaires « sans intelligence » du type NACEL permettent d'obtenir le taux de destruction recherché (au moins 50 % des véhicules blindés se trouvant sur la zone), justesse des tirs : l'exigence d'une très faible erreur de « justesse » (du même ordre que celle d'un canon de 155 mm) quelles que soient les conditions atmosphériques d'environnement nécessitera une organisation attentive de la propulsion (vitesse initiale de la roquette en sortie de tube, propulsion sur trajectoire...), mise en œuvre du système d'arme : il est demandé que le chargement des munitions sur le lanceur soit assuré sans moyen de levage, par la seule équipe de pièce (analogie avec l'artillerie de 155 mm). Cette spécification va entraîner une limitation de masse totale de la roquette³⁷¹ qui orientera le choix du calibre et l'organisation de la propulsion pour obtenir une portée maximale supérieure à 20 km (60), la masse de la tête militaire n'étant que la conséquence du bilan de masse totale.

A la DTAT, la mission étatique de conduite des opérations est confiée à l'ingénieur en chef Cartoux, chef du bureau « Techniques communes » du Service armes et systèmes d'armes – ASA/TC – avec le soutien de l'Établissement d'études et de fabrications d'armement de Bourges (EFAB) pour la définition des spécifications techniques et la consultation des industriels compétents.

La période comprise entre juillet 1969 et avril 1972 est consacrée au concours d'avant-projets, à la levée des incertitudes techniques sur des points critiques concernant des caractéristiques militaires majeures, à une phase de développement exploratoire devant aboutir à la définition du système d'arme et à son développement proprement dit.

Concours d'avant-projets. Le concours d'avant-projets est lancé par l'EFAB à partir du 7 juillet 1969. Il porte sur :

- le vecteur,
- les têtes militaires anti-blindés et les fusées chronométriques de dépotage des éléments actifs,
- le système oscillo-pivotant de mise en direction des lanceurs,
- les équipements de tir³⁷².

Le véhicule porteur retenu est le camion Berliet GBU adopté par l'armée de Terre.

Les points clés de ce concours d'avant-projets sont d'une part, l'ensemble propulsif des vecteurs dont dépend la justesse des tirs, quelles que soient les conditions atmosphériques (température, vent transversal...) et d'autre part les têtes militaires anti-blindés qui commandent l'efficacité.

En parallèle il est prévu de lancer une étude paramétrique de manière à optimiser le calibre et la masse de la munition pour obtenir l'effet anti-blindé prévu avec têtes à effet immédiat à la portée maximale ; souhaitée. Par la suite on établira un programme PERT simplifié (calendrier) et une évaluation financière du programme (coût de développement, prix de série des lanceurs et des engins...).

³⁷¹ La manipulation de chargement à deux hommes par roquette conduit, pour des raisons ergonomiques, à limiter la masse totale de roquette à 60 kg environ.

³⁷² En particulier les dispositifs de tempage et réglages avant tir (fusées chronométriques de dépotage, allumeurs de mines...), de contrôle des circuits, de mise de feu.

Propositions relatives aux vecteurs : Hotchkiss-Brandt, SEP, SERAT et Nord-Aviation sont intéressés³⁷³. Les premières propositions portent sur des solutions allant de la roquette monoétage à faible vitesse de largage à la bouche du lanceur – de l'ordre de 60 m/s³⁷⁴ – qui ne peut satisfaire balistiquement (justesse « tous temps » des tirs) au problème posé, à des roquettes biétage – propulseur d'accélération et propulseur de croisière – à vitesse de largage de l'ordre de 200 m/s (et atteignant des vitesses de l'ordre de 400 m/s à l'allumage du propulseur de croisière)³⁷⁵, en passant par des solutions hybrides à propulseur de croisière mais avec lancement par effet sans recul³⁷⁶ ou effet mortier³⁷⁷.

Après discussion sur ces premières idées, les propositions seront figées sur les concepts suivants :

- SERAT et Nord-Aviation (devenu SNIAS) associés, et SEP présentant un projet de roquette biétage – propulseur d'accélération et de croisière³⁷⁸,
- Hotchkiss-Brandt proposant un lancement par canon sans recul « à chambres latérales »³⁷⁹ tirant une roquette composée d'un propulseur de croisière et d'une tête militaire.

Propositions relatives aux têtes militaires anti-blindés : on en reste aux têtes classiques à dépotage de grenades à effet immédiat ou de mines à action différée.

En ce qui concerne les têtes à grenades, en dehors de la solution d'attaque par les toits développée à l'occasion de l'étude NACEL et poursuivie par l'EFAB, la novation provient d'Hotchkiss-Brandt qui propose une solution d'attaque latérale des véhicules blindés par grenades mises à feu simultanément par dispositifs de lancement à effet sans recul dans des directions radiales autour de l'axe du projectile, le déclenchement à proximité du sol étant commandé par un appendice mécanique simple. Les caractéristiques principales de ces deux projets sont les suivantes :

- tête à grenades à effet vertical : masse totale 18 kg ; longueur : 1,30 m ; 63 sous projectiles à charge creuse (calibre 42 mm, masse 205 g)³⁸⁰,

³⁷³ La CNIM qui a étudié, sur fonds propres, une roquette d'artillerie (RAP 14) souhaiterait être consultée, mais la présence dans son bureau d'études d'ingénieurs étrangers pose un problème de sécurité. La société suisse Oerlikon aurait souhaité présenter une roquette au calibre 130 mm étudiée dans le cadre du programme allemand Lars et non retenue. Cette roquette ne présentait pas, a priori, les caractéristiques techniques requises.

³⁷⁴ Proposition Hotchkiss-Brandt.

³⁷⁵ Proposition SERAT et SEP.

³⁷⁶ Proposition Nord-Aviation et Hotchkiss-Brandt.

³⁷⁷ Proposition Hotchkiss-Brandt.

³⁷⁸ Roquette de calibre 120 à 168 mm, de masse comprise entre 40 et 60 kg, d'une longueur de l'ordre de 2 à 3 m.

³⁷⁹ Principe de fonctionnement du canon à chambres latérales explicité en annexe VI. L'intérêt des chambres latérales, en balistique intérieure, est de maintenir plus longtemps – par allumage successif des charges qui y sont placées – la pression maximum prévue pour le lanceur à chambre unique axiale, et, par voie de conséquence, d'augmenter la vitesse initiale. Les Allemands ont utilisé cette technique au cours du second conflit mondial pour des canons à longue portée tirant sur l'Angleterre à partir de positions de batterie installées dans le Pas-de-Calais. L'intérêt des chambres latérales est aussi de pouvoir réduire la pression max et par voie de conséquence la masse du lanceur, pour une vitesse initiale donnée du projectile. C'est l'objectif recherché dans la proposition d'Hotchkiss-Brandt pour son canon sans recul (difficulté à surmonter : régularité des vitesses initiales).

- tête à grenades à effet horizontal : longueur 1,57 m ; 15 sous-projectiles de calibre 66 mm ; portée par effet sans recul : 140 m ; pouvoir perforant estimé : 320 mm.

C'est dans le cadre de ces avant-projets de têtes militaires à effet immédiat, que fut faite la première proposition de tête militaire guidée, émanant de la société MATRA, avec autodirecteur passif laser utilisant les techniques mises en œuvre pour l'engin MAGILAZS. Cette proposition restera sans suite.

En ce qui concerne les têtes à mines, les propositions émanent de SNIAS/SERAT et de l'EFAB. Elles portent sur des solutions à mines posables – avec parachute –, toutes ces mines étant équipées d'allumeurs à influence pour effet ventral. Les propositions concernant ces allumeurs émanent de SNIAS/SERAT et de l'Atelier de fabrication de Toulouse (ATE)³⁸¹. La tête à mines posables contient cinq mines à charge plate de 2,4 kg perforant 70 mm d'acier à incidence 0° ou 50 mm d'acier sous incidence 45°. La tête à mines largables contient six mines à charge plate cylindriques actives sur leurs deux faces (mines ne nécessitant pas de dispositifs de redressement à l'arrivée au sol), de masse individuelle de 2 kg (dont 0,5 kg d'explosif) ayant un pouvoir de perforation voisin de celui de la mine posable.

Ensemble oscillo-pivotant de mise en direction des lanceurs et équipements de tir : ces éléments du système d'arme ne présentent pas d'incertitudes techniques. Les industriels susceptibles d'intervenir dans la définition de ces éléments sont :

- pour l'ensemble oscillo-pivotant, les établissements de la DTAT de Bourges et de Tarbes (EFAB et ATS) et la SEP,
- pour les équipements de tir, les industriels impliqués dans les avant-projets de vecteurs, SEP Hotchkiss-Brandt et SNIAS-SERAT, ainsi que TRT impliqué dans le développement des fusées chronométriques de dépotage.

Études de faisabilité : menées entre 1970 et 1972, ces études ont pour objet de lever certaines incertitudes techniques qui risquent de remettre en cause des caractéristiques militaires majeures : portée max, efficacité anti-blindés liée à la justesse des tirs et à l'effet terminal. Elles portent sur les vecteurs et les têtes :

- Performances en vitesse de largage et en vitesse de fin de combustion des propulseurs d'accélération des roquettes biétage SNIAS-SERAT et SEP ; régularité de fonctionnement à toutes températures,
- Fonctionnement du canon sans recul à chambres latérales Hotchkiss-Brandt ; vitesse de la roquette en sortie de tube ; régularité d'allumage à basse température,
- Fonctionnement de la tête à grenades à effet horizontal Hotchkiss-Brandt,
- Faisabilité des têtes à mines posables et largables EFAB et des allumeurs à influence associés, proposées par l'ATE et SERAT.

En avril 1972, la faisabilité des propulseurs d'accélération SNIAS-SERAT et SEP est acquise³⁸² ; il en est de même du canon sans recul à chambres latérales

³⁸⁰ Le nombre de grenades par tête est considérablement réduit par rapport au projet lancé en 1967 à la SEP d'une tête à grenades (type NACEL) pour vecteur au calibre de 300 mm (63 grenades au lieu de 225).

³⁸¹ Allumeurs dotés de dispositifs d'autodestruction après armement : soit avec délai unique (2 heures) soit, de préférence, avec proposition de réglage entre 2 heures et 24 heures.

³⁸² Propulseur d'accélération de structure lamellaire bicomposition pour la roquette SNIAS-SERAT et bloc propergol plastifié pour la SEP. Les vitesses de sortie de tube de lancement

Hotchkiss-Brandt mais avec des caractéristiques insuffisantes de vitesse de sortie de canon de la roquette³⁸³. Le principe de fonctionnement de la tête à grenades à effet horizontal Hotchkiss-Brandt est acquis mais l'efficacité, examinée par la SROAT, reste très faible sans choix préférentiel directionnel d'éjection des sous-projectiles. La faisabilité de la tête à mines posables est acquise (avec allumeur à influence ATE), celle de la tête à mines largables – sans parachute – reste à prouver (résistance à la chute, en particulier pour le capteur sismique de l'allumeur).

Un premier rapport de synthèse faisant le point de la situation technique et des aspects calendaires et financiers des propositions est établi par la direction de programme en juin 1972 et propose les choix suivants :

Quelle que soit l'option retenue pour le vecteur, les critères concordent pour les autres sous-ensembles et conduisent à retenir :

- le camion Berliet GBU (ou un véhicule de même classe),
- l'ensemble oscillo-pivotant de pointage EFAB³⁸⁴,
- la tête à mines EFAB avec allumeur à influence ATE³⁸⁵,
- la fusée chronométrique de dépotage et les équipements de tir TRT.

En ce qui concerne le vecteur, le choix de la DTAT se porte sur la solution SNIAS/SERAT³⁸⁶ « sans condamner la solution Hotchkiss-Brandt » moins performante mais aussi moins coûteuse qui reste une solution de repli « acceptable ».

Aucune proposition de tête à grenades à effet immédiat (action verticale ou horizontale) n'est retenue, leur conception classique n'aboutissant qu'à une très faible efficacité vis-à-vis de la cible de référence³⁸⁷.

A la réception de ce rapport, la Direction des programmes et des affaires industrielles (DPAI) de la DMA demande une étude complémentaire de l'incidence de certaines atténuations des caractéristiques militaires sur les coûts d'approvisionnement des systèmes d'armes. Cette étude est engagée sur le caractère prioritaire ou non de la mission anti-blindé, en ajoutant aux vecteurs retenus (solutions SNIAS et Hotchkiss-Brandt) des variantes de conception plus simples :

- roquette monoétage « lente » type RAP 14 de CNIM,
- roquette monoétage « rapide » type Rafale de SEP (calibre 140 portée 30 km),
- roquette biétage SNIAS/SERAT au calibre de 155 mm.

sont supérieures à 200 m/s ; les vitesses en fin de combustion des propulseurs d'accélération sont de l'ordre de 400 m/s.

³⁸³ Vitesse de l'ordre de 270 m/s trop faible avant allumage du propulseur de croisière, organisé uniquement pour annuler les effets de la traînée aérodynamique.

³⁸⁴ Étude menée par l'EFAB avec l'appui du bureau d'études Acrotechna.

³⁸⁵ Les essais des allumeurs à influence SERAT sont poursuivis. Par ailleurs, l'EFAB est chargé du développement d'une tête militaire complémentaire à effet antipersonnel.

³⁸⁶ La préférence donnée à SNIAS-SERAT sur SEP (dont les essais de faisabilité du propulseur d'accélération avaient donné satisfaction) a porté d'une part sur les effets des gaz de propulsion sur le lanceur et sur les incertitudes relatives au propulseur de croisière SEP à tuyères « latérales ».

³⁸⁷ Confirmation donnée par la Section de recherche opérationnelle de l'armée de Terre des évaluations faites précédemment pour la CCP « Feux classiques à grand rayon d'action » (1965).

Les conclusions de cette étude sont transmises à l'EMAT et à la DMA/DPAI en novembre 1972, sous la forme d'une alternative :

Dans le cas d'un lancement de développement sur la base des caractéristiques militaires existantes, la DTAT propose :

- de développer simultanément l'option vecteur SNIAS/SERAT, la plus performante et l'option vecteur Hotchkiss-Brandt la plus économique jusqu'à levée des incertitudes techniques restantes,
- de développer immédiatement la tête à mines, solution à action différée ayant une efficacité terminale satisfaisante,
- de surseoir provisoirement au développement d'une tête à effet immédiat en vue d'examiner les diverses propositions de tête polyvalente de deuxième génération.

Dans le cas où l'EMAT estimerait souhaitable de ne plus donner la priorité à la mission anti-blindés (pour laquelle le choix d'une roquette biétage représente la solution optimale) il serait possible de retenir soit la solution Hotchkiss-Brandt soit une solution monoétage, la solution monoétage « rapide » (genre Rafale de la SEP) étant préférable à la solution monoétage « lente » (genre RAP 14 de CNIM)³⁸⁸.

L'état-major de l'armée de Terre prend position en maintenant la priorité à la lutte antichar par tir indirect pour ce nouveau système d'arme et la fiche de lancement du programme, rédigée en ce sens, est signée par le ministre, le 27 août 1973.

Première phase de développement du programme (1973-1976)

Le lancement du programme dénommé « SYRA »³⁸⁹ s'opère en suivant les propositions faites par la DTAT en novembre 1972, avec une première phase, dite « lot 1 », d'une durée de l'ordre de deux ans, comportant le développement simultané, jusqu'à la levée des incertitudes techniques, des deux options de vecteurs, la roquette biétage SNIAS-SERAT et la roquette à propulseur de croisière Hotchkiss-Brandt lancée par canon sans recul³⁹⁰.

A la fin de ce lot 1, une seule option de vecteur sera retenue pour la suite du développement³⁹¹. Dans le même temps, sont engagés, au stade maquette, les développements des autres sous-ensembles : véhicule lanceur avec ensemble oscillo-pivotant³⁹², fusée chronométrique et équipements de tir, têtes militaires à effet anti-blindés et antipersonnel.

Pour la lutte anti-blindés, en plus de la tête à mines largables déjà retenue au stade des avant-projets initiaux, on envisage – pour remédier à la carence des solutions à effet immédiat jusqu'alors envisagées – un nouveau concept comportant l'introduction d'un capteur de détection de l'objectif³⁹³, les sous-projectiles de la tête

³⁸⁸ Les propositions concernant les têtes militaires figurant dans la première partie de l'alternative sont également valables pour la seconde partie.

³⁸⁹ SYRA : Système roquette d'artillerie.

³⁹⁰ Pour la première phase de développement, Hotchkiss-Brandt abandonne le canon sans recul à chambres latérales et le remplace par un canon plus classique à chambre annulaire coaxiale.

³⁹¹ Les marchés relatifs au lot 1 sont notifiés en avril 1974, ce qui entraîne un achèvement prévisible de ce lot à la mi-1976.

³⁹² Ensemble oscillo-pivotant à 36 tubes de lancement dans le cas de la roquette SNIAS-SERAT et à 30 tubes de lancement dans le cas des canons sans recul Hotchkiss-Brandt.

³⁹³ Capteur Infrarouge ou Électromagnétique.

militaire étant projetés dans la direction ainsi détectée. C'est, pour l'armement terrestre, la première expression de munition antichar, non guidée, dite, de nos jours ACED (Anti-char à effet dirigé). Les premières études concernant ce nouveau modèle de tête militaire porteront sur la « signature » des chars aux rayonnements infrarouge et électromagnétique et sur des calculs de probabilité d'atteinte et de destruction de manière à retenir la solution la plus performante. Une consultation d'industriels est prévue pour le début de 1976 en vue de lancer une étude de faisabilité. Une seconde orientation portant sur une tête à guidage terminal par illumination laser³⁹⁴ est envisagée avec développement exploratoire en 1977. Ces perspectives de têtes efficaces à effet immédiat sont de nature à affirmer l'intérêt opérationnel du système d'arme pour la mission de lutte anti-blindés par tir indirect.

En ce qui concerne les vecteurs,

- la définition de la roquette biétage SNIAS-SERAT est figée en 1975³⁹⁵ et les premiers tirs en coup par coup et en courte rafale effectués cette même année dans le faisceau multitubes (36 tubes) monté sur affût de circonstance ont été satisfaisants.
- la définition de la roquette Hotchkiss-Brandt – qui ne comporte qu'un propulseur de croisière – est également figée en 1975 ; par contre le choix du chargement en poudre propulsive (poudre B ou poudre SD) pour le nouveau canon sans recul n'est pas encore fait à la fin de 1975 ; les résultats des tirs en coup par coup effectués en 1975 avec canon sans recul monté sur affût de circonstance ont été satisfaisants ; l'ensemble oscillo-pivotant à 30 tubes de lancement, nécessaire pour les tirs en rafale, est prévu pour avril 1976.

Les essais des deux vecteurs se poursuivront jusqu'en juin 1976. C'est en particulier à l'occasion de tirs en rafale, à portée maximale, effectués au Centre d'essais de la Méditerranée que seront affirmées les qualités remarquables en justesse-dispersion – pour des roquettes – du vecteur biétage SNIAS/SERAT. C'est cette solution, la plus apte à satisfaire à l'utilisation opérationnelle recherchée, qui sera retenue en fin de lot 1 pour la poursuite du développement avec à court terme uniquement des têtes anti-blindés à mines dispersables mais avec la perspective de têtes futures à effet immédiat rendues efficaces par détection des cibles – effet dirigé, guidage terminal.

Ce développement ne sera pas mené à son terme pour des raisons à la fois techniques et économiques :

- raison technique liée aux difficultés à surmonter pour satisfaire à une augmentation de portée max. significative au-delà de 20 km avec une tête militaire qui conserve son efficacité dans un contexte rigide de masse totale liée aux conditions manuelles imposées pour le chargement des lanceurs,
- raison économique, la plus sensible, sur laquelle la DMA (DPAI) avait attiré l'attention en 1972, concernant les coûts d'approvisionnement.

Mais l'expérience acquise par les Industriels sera un acquis appréciable au moment de l'organisation de la coopération pour la fabrication en Europe, sous licence, du système lance-roquettes multiple américain MLRS ainsi que pour les études de nouvelles munitions intelligentes.

³⁹⁴ A l'occasion des consultations d'industriels en 1969/1970 MATRA avait proposé une tête guidée par illuminateur laser (voir chapitre précédent « concours d'avant-projets »).

³⁹⁵ Propulseur d'accélération à structure lamellaire « monocomposition » au lieu de la structure « bicomposition » utilisée au cours des essais de faisabilité.

ANNEXE I

Arme de saturation de 150 mm (1955)

Caractéristiques principales

Matériel de lancement :	
Matériel tracté tous terrains armé de 22 tubes lisses de 1,50 m de longueur (faisceau de tubes en quinconce)	
Poids total (en position de route)	1 300 kg
Pointages en hauteur	- 5° à + 70°
Pointages en direction	± 6°
Service de pièce	
Mise en batterie (manœuvre des vérins mécaniques)	durée 15 s
Chargement ou rechargement (équipe de 6 hommes)	durée 30 s
Tir :	
D'une rafale de 22 coups	durée 12 s
De 3 rafales de 22 coups	durée 4 mn
Sortie de batterie	durée 15 s
Engin autopropulsé à poudre :	
Calibre	150 mm
Longueur	800 mm
Masse	27 kg dont 4,8 kg de poudre propulsive. Stabilisation par rotation
Tête à effet AP en 2 versions	
4 kg d'explosif	
4 dm ³ de chargement spécial	
Efficacité équivalente à celle d'un obus classique de 135 mm	
Portée maximum	7 000 m
Dispersion :	Écart probable en portée et direction inférieure à 50 m pour les portées supérieures à 3 000 m.

L'arme de saturation est l'arme des interventions massives et brutales. La concentration et la dispersion rapides des pièces assurent l'invulnérabilité.

Matériel

Description (Fig.23) – Matériel tracté tous terrains armé de 22 tubes lisses de \varnothing 150 mm. Poids total 1 300 kg.

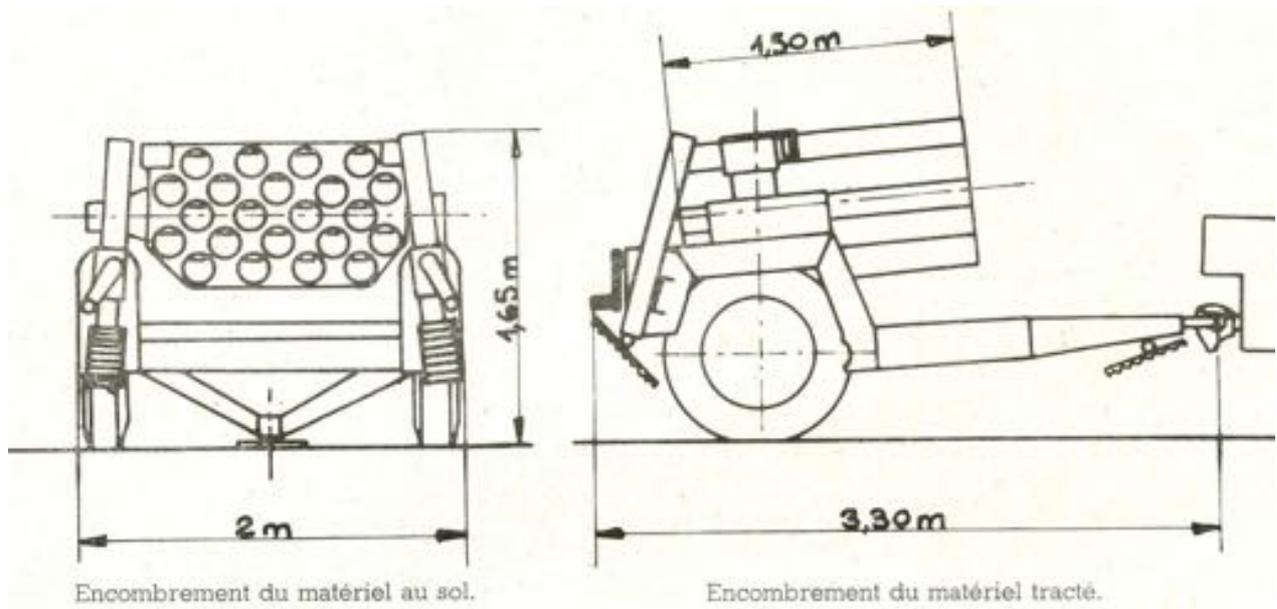
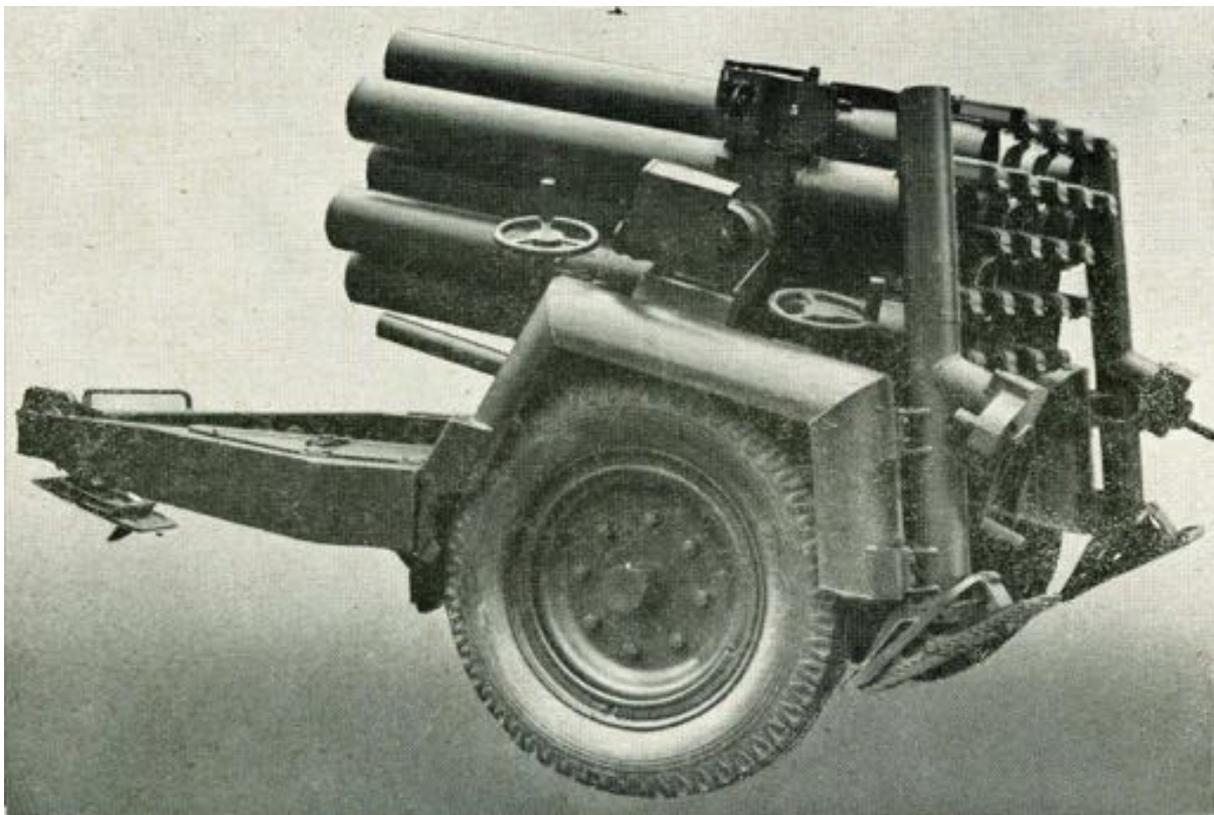


Fig. 23

Service (fig. 24 et 25) :



Position "route".

Fig.24



Fig. 25

La neutralisation (4 min) d'une surface de 4 ha demande :

Avec l'arme de saturation : $\frac{4 \times 56}{22 \times 3 \times 0,85} = 4$ pièces

Avec le canon de 105 : $\frac{4 \times 80}{1 \times 16 \times 1} = 20$ pièces

Avec le canon de 155 : $\frac{4 \times 40}{1 \times 8 \times 1} = 20$ pièces

ANNEXE II

Efficacité anti-blindés par tir indirect

Spécifications de cibles standard retenues par la CCP

Surface touchée	Véhicule	Perforation ³⁹⁶ , Cibles de référence
Toit	Char lourd	Acier à blindage e = 40 mm i = 60°
	Véhicule blindé léger	Acier à blindage e = 15 mm i = 45°
Flancs	Char lourd	³⁹⁷
	Véhicule blindé léger	Acier à blindage e = 15 mm (20 mm souhaitable) i = 45°
Ventre	Char lourd	Acier à blindage e = 30 mm i = 45° Distance mine-cible = 60 cm ³⁹⁸
Chenilles	Char lourd	Cible type chenille char Panther largeur 60 cm

³⁹⁶ L'effet antipersonnel après traversée du blindage est évalué sur cible de peuplier de 41 mm d'épaisseur placée à 1 m en arrière de la plaque de blindage. Il est exigé une perforation, au minimum, de la cible de peuplier.

³⁹⁷ La première sous-commission de la CCP a estimé en 1962/1963 que le char lourd n'était pas vulnérable sur les flancs par tir indirect (par sous projectiles balistiques provenant d'un projectile primaire à dépotage). Ultérieurement Brandt proposera une tête à action horizontale agissant par sous projectiles projetés à hauteur de cible dans la direction de l'objectif après détection à partir de la tête elle-même (concept retenu dans le développement du LRM).

³⁹⁸ Diamètre de sortie de la perforation supérieure à 25 mm.

ANNEXE III

Projectile explosif de 155 mm à fragmentation prédéterminée FPD

Définition

Corps d'obus : de 1963, date d'engagement des premières études, jusqu'en 1973, le corps d'obus utilisé est une enveloppe spécifique, « à grande capacité » – différente de celle des obus explosifs classiques du même calibre, en service (obus de 155 HE M1 américain, obus de 155 Mle 56/63 français), cette disposition permettant d'espérer une augmentation d'efficacité de la gerbe latérale d'éclats. A partir de 1973, pour permettre l'emploi, dans les meilleures conditions de service de pièce, de l'obus FPD dans l'automoteur de 155 AUF1³⁹⁹ l'étude est poursuivie avec un corps d'obus dont le profil est identique à celui des obus explosifs, éclairants et fumigènes de l'automoteur, à savoir l'obus à culot creux français (155 CCr). Dans la version initiale (1963-1973), le corps d'obus est réalisé par assemblage de trois éléments : un culot (creux), une partie centrale, en forme de cylindre creux en acier à obus habituel⁴⁰⁰ plus longue que sur les projectiles d'emploi courant, et une ogive ; le chargement en explosif particulier à l'obus FPD est rapporté dans la partie centrale ; l'ogive balistique, en matière plastique, est dotée d'une fusée de proximité radioélectrique spécifique.

Chargement en explosif et formation des éclats : le chargement est constitué par une superposition de couronnes moulées en explosif composite, toutes identiques, chaque couronne portant à sa périphérie des encoches équidistantes, en forme de dièdres ayant la direction de l'axe du projectile ; l'empilement des couronnes (indexées les unes par rapport aux autres) est réalisé de telle sorte que les encoches se trouvent disposées en quinconce⁴⁰¹ ; les faces d'extrémité des couronnes sont chanfreinées de manière à réaliser, par superposition des couronnes élémentaires, une seconde famille d'encoches (circulaires) perpendiculaires à celles de la première famille. Cette disposition maillée à deux familles d'encoches permet, par effet de charges diédriques coupantes, de fragmenter le corps cylindrique central de l'obus en éclats théoriquement identiques (géométrie et masse) dont les dimensions dépendent de trois paramètres : l'épaisseur du corps d'obus, la hauteur de couronne d'explosif, le nombre d'encoches périphériques par couronne⁴⁰².

Choix de l'explosif : la faisabilité du concept de projectile FPD implique que le découpage régulier du corps d'obus, vérifié par des essais « statiques » avec des chargements en explosifs classiques (hexogène-tolite, octogène-tolite) puisse être transposé en tir réel, ce qui suppose une absence de détérioration du chargement sous l'effet des contraintes du coup de canon ; cette condition conduit à ne retenir que des explosifs présentant des caractéristiques mécaniques appropriées. Des

³⁹⁹ Conditions de service de pièce comprenant non seulement le stockage, à bord, des projectiles et le chargement automatique, mais également l'utilisation des mêmes tables de tir : identité de masse et de forme balistique des projectiles, identité de charges propulsives.

⁴⁰⁰ Acier mi-dur au carbone ; des essais avec corps d'obus en acier traité (35 CD4, 30 NC 11) n'ont pas apporté d'avantages significatifs en efficacité d'éclats de mêmes dimensions.

⁴⁰¹ Disposition retenue afin d'éviter des découpages éventuels « en lanières » du corps d'obus dans le cas d'encoches en alignement.

⁴⁰² Voir, en fin d'annexe III, la photo de la maquette d'obus de 155 CCr/FPD du musée de l'Armement de Bourges, représentant, en vue éclatée, le chargement en couronnes superposées.

résultats satisfaisants en ce domaine seront retenus en 1968 avec des chargements en octonyl (octogène-nylon)⁴⁰³ considérés toutefois comme trop onéreux pour une application industrielle. Les recherches d'explosifs de remplacement seront orientées dans deux voies, celle des explosifs thermoplastiques et celle des explosifs composites⁴⁰⁴ ; elles aboutiront en 1973 au choix d'un explosif composite à base d'hexogène et de liant PBHT⁴⁰⁵ homologué après tirs de projectiles soumis aux températures d'environnement extrêmes.

Masse individuelle des éclats et pouvoir perforant anti-blindés : les valeurs des trois paramètres rappelés précédemment – épaisseur du corps d'obus, hauteur de couronne d'explosif, nombre d'encoches périphériques par couronne – qui définissent la masse individuelle de l'éclat préformé doivent être choisies pour satisfaire à un niveau acceptable de probabilité de perforation après impact sur les cibles de référence⁴⁰⁶. Par ailleurs, le nombre de couronnes superposées et le nombre d'encoches par couronne définissent le nombre total (théorique) d'éclats. La recherche d'un bon compromis entre masse individuelle d'éclat et nombre total d'éclats pour un chargement en explosif de volume et de masse déterminés a débuté en 1967, à l'occasion d'épreuves de tir en enceinte effectuées à l'ETBS⁴⁰⁷ sur plaques de blindage représentatives des cibles de référence (toits de char et de véhicule blindé léger) placées à 15 m des projectiles testés. Les essais comparatifs sont rapidement concentrés sur deux modèles de chargement adaptables à un corps d'obus de 16 mm d'épaisseur :

- l'un privilégiant le nombre d'éclats, comportant 18 couronnes de 27 mm de hauteur à 16 encoches (288 éclats théoriques de 90 g),
- l'autre privilégiant l'effet terminal, à 12 couronnes de 42 mm de hauteur à 12 encoches (144 éclats théoriques de 190 g)⁴⁰⁸.

Les essais en enceinte montrent que les éclats préformés, même lourds (190 g) ne sont pas capables de perforer la cible représentative du toit du char lourd (blindage de 40 mm d'épaisseur sous incidence 60°). Vis à vis de la cible représentative des toits de véhicules blindés légers (blindage de 15 mm d'épaisseur sous incidence 45°), 35 à 40 % des impacts d'éclats préformés de 90 g donnent lieu à perforation au lieu de 5 à 7 % pour les éclats de projectiles explosifs classiques. Ces résultats conduiront à poursuivre l'étude du projectile FPD avec la solution de chargement en explosif à 288 éclats de 90 grammes. Lorsque l'on passera en 1973 à un projectile de 155 à fragmentation prédéterminée adapté à la forme et à la masse du corps d'obus de 155 à culot creux adopté pour l'automoteur de 155 AU F1, avec

⁴⁰³ Échantillons d'octonyl élaborés par l'atelier de chargement de La Ferté Saint Aubin d'Hotchkiss-Brandt.

⁴⁰⁴ Recherches dans lesquelles l'IPA Frayssac de l'ECP de Bourges s'est particulièrement investi.

⁴⁰⁵ PBHT : Polybutadiène hydroxytélchélique.

⁴⁰⁶ Cibles de référence rappelées en Annexe II (toit de char et toit de véhicule blindé léger). Distance obus-cible = 15 m.

⁴⁰⁷ Les premiers tirs en enceinte comportent une comparaison entre nouveaux concepts d'obus de 155 FPD et projectiles explosifs de 155 existants (155 Mle 56, 155 CCr) tous chargés en hexogène-tolite.

⁴⁰⁸ La hauteur totale du chargement en explosif, de l'ordre de 500 mm pour les deux concepts d'obus FPD (288 éclats de 90 g ou 144 éclats de 190 g) ne serait pas compatible avec une installation dans un corps d'obus explosif classique dont la partie centrale cylindrique n'excède pas deux calibres (310 mm).

chargement en explosif composite, on adoptera une masse individuelle d'éclat voisine de 190 g augmentant le pouvoir perforant sur des blindages de l'ordre de 20 mm, mais en restant inefficace contre la cible « toit de char », le nombre total d'éclats préformés notablement réduits – 80 éclats – ⁴⁰⁹ diminuant la capacité d'impact.

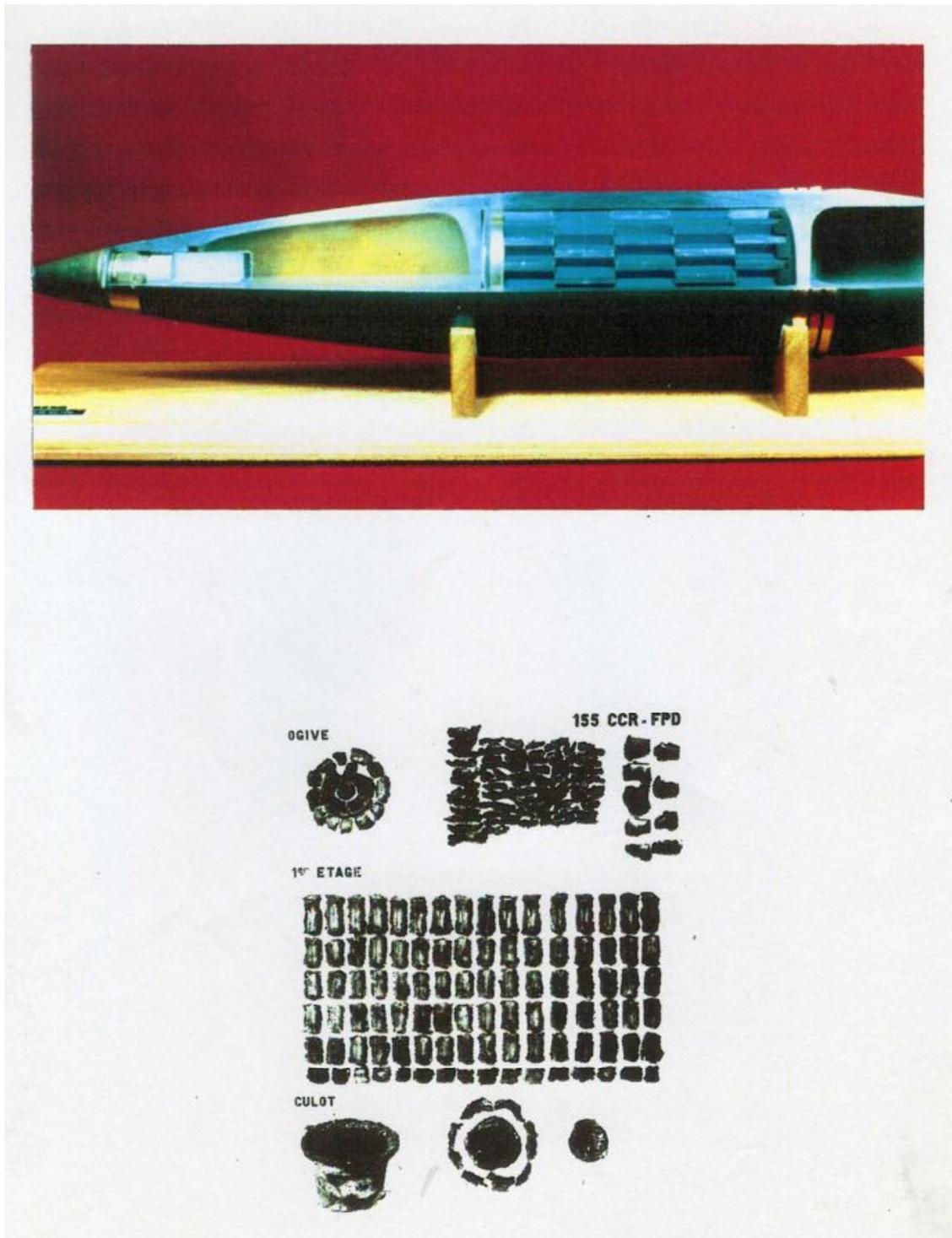


Fig. 26
Obus de 155 FPD

⁴⁰⁹ Chargement en explosif à cinq couronnes superposées à 16 encoches (hauteur de couronne voisine de 55 mm).

Ainsi, le projectile de 155 FPD, (dans sa version initiale et dans sa version finale), équipé d'une fusée de proximité ayant une bonne régularité de fonctionnement à des distances du sol de l'ordre de 10 à 12 m est susceptible (au sens de l'effet terminal) d'agir avec une certaine efficacité contre des véhicules blindés légers mais il ne peut satisfaire à la condition prioritaire fixée par l'EMAT de destruction des chars de combat par tir indirect.

Rappel de la chronologie de développement du projectile de 155 mm FPD

1963 : Lancement des études de préfragmentation régulière des projectiles explosifs d'artillerie « non classiques ».

1964 : Premiers essais de vérification du principe de préfragmentation par charges diédriques et premiers essais de perforation avec chargement en hexogène-tolite.

1965 : Vérification de la stabilité du projectile au tir dans les obusiers de 155 français existants.

1966 : Mise au point, au tir, du positionnement de la fusée de proximité TRT sur le corps d'obus (mesures de rayonnement d'antenne) ; perfectionnements à apporter à la fausse ogive.

1967 : Bons résultats des tirs d'obus FPD chargés en octonyl ; le remplacement éventuel de l'octonyl par un explosif du type hexogène-polybutadiène ne peut pas être envisagé avant 1969. Par ailleurs, l'étude de la chaîne d'amorçage de la fusée de proximité TRT est en cours.

1968 : La définition du corps d'obus – culot, corps central cylindrique, fausse ogive en matière plastique – est achevée. Le chargement en octonyl donne satisfaction mais est trop cher. La recherche d'explosifs de remplacement – thermoplastiques, composites – est engagée.

1970-1972 : Mise au point de la sécurité au départ du coup à toutes températures. Lancement d'une analyse de la valeur sur les éléments mécaniques et le chargement pour réduire le prix de série.

1973 : L'explosif composite à base d'hexogène et de liant PBHT est homologué (tirs effectués à toutes températures de conditionnement).

L'EMAT, pour des raisons de logistique liées à l'emploi de l'obus FPD dans l'automoteur de 155 AU F1 demande que l'étude soit réorientée sur la base de l'utilisation d'un projectile ayant la forme et la balistique de l'obus explosif classique à culot creux. L'obus FPD nouveau est dénommé « 155 CCr-FPD ».

1974-1975 : Poursuite de l'étude du projectile de 155 CCr/FPD dans le cadre limité de la lutte contre les blindés légers une première phase d'expérimentation technique relative à l'efficacité contre ces véhicules (VTT...) est prévue pour 1976.

ANNEXE IV

Chronologie de l'étude de l'obus mine antichar de 155 mm (OMAC), 1963-1970

Étude menée par l'ECP de Bourges avec la collaboration de CRIF⁴¹⁰

1964 : Définition du projectile et liste des opérations à maîtriser : dépotage de la mine, freinage de la chute par empennage, plantage dans le sol à profondeur optimale, allumeur à influence (CRIF) résistant à l'accélération au départ du coup (12 000 g), activation de la mine, bondissement et fonctionnement de la charge creuse, efficacité antichar, durée d'activation, neutralisation.

1964 : Tir des premières maquettes d'obus-mine – à pression réduite – pour examen des conditions de dépotage.

1966 : 67 tirs d'essais de plantage des mines après dépotage : recherche de la vitesse optimale de chute par action sur la traînée d'empennage. Mise au point de la charge creuse : revêtement, masse d'explosif. Spécifications de durée d'activation de la mine et de délai d'autoneutralisation⁴¹¹.

1968 : Confirmation – à pression de tir réduite – des résultats précédents favorables concernant le dépotage et le plantage de la mine.

1969 : Essais satisfaisants à pression de tir normale concernant la séquence d'opérations élémentaires : dépotage, freinage, bondissement, perforation.

Reste à effectuer : mise au point du détecteur à influence de l'allumeur et de son alimentation en énergie électrique⁴¹².

Rapport de fin d'étude exploratoire en préparation.

1970 : L'EMAT décide de « mettre en sommeil » l'étude de l'obus-mine de 155 mm jusqu'à la fin des études de faisabilité du système d'arme multitube d'artillerie (LRM) préférable au plan opérationnel aux canons de 155 mm pour la saturation de zone par minage antichar⁴¹³. L'étude ne sera pas reprise.

⁴¹⁰ CRIF : responsable de l'étude de l'allumeur à influence.

⁴¹¹ Durée d'activation de la mine : période de 1 h à 12 h si le pré réglage avant lancement est possible ; sinon durée d'activation de 6 h. Autoneutralisation : dans un délai n'excédant pas 48 h.

⁴¹² Les solutions adoptées pour la mine AC HPD ne sont pas directement transposables à l'obus-mine.

⁴¹³ La mise en place d'un barrage de 400 mines AC sur un front de 400 m nécessite soit l'intervention d'un régiment d'artillerie blindé doté de canons de 155 AU F1 à raison de 30 obus-mines par pièce (délai : 5 minutes) soit l'intervention d'une batterie de lanceurs SYRA (36 tubes par lanceur) délivrant un tiers de sa capacité de lancement instantané (feux délivrés en 20 secondes).

ANNEXE V

Caractéristiques militaires du lance-roquettes multitubes

Réf. : directive d'orientation de l'EMAT du 10 juillet 1968

Besoin : Saturation anti-blindés ou antipersonnel d'une zone de 10 à 20 ha avec six lanceurs multitubes en une durée de 10 à 20 secondes.

Portée max. : supérieure à 20 km.

Ecart-type de justesse : aussi proche que possible de celui du canon de 155 mm.

Classification des missions : la mission prioritaire est la mission antiblindés avant les missions anti-véhicules légers et antipersonnel.

Effets de saturation :

Anti-blindés : destruction d'au moins 50 % des chars ou véhicules blindés transport de troupes se trouvant dans une zone de 20 ha (effet impératif) ou dans une zone de 30 ha (effet souhaitable)⁴¹⁴.

Anti-personnel : mise hors de combat de 40 % des personnels répartis dans une zone de 40 à 50 ha.

Masse maximale de roquettes pour obtenir l'effet saturation fixé : 11 tonnes.

Chargement des roquettes sur les lanceurs : par l'équipe de pièce de chaque lanceur (sept hommes sans moyen de levage).

Mobilité : montage du lanceur sur châssis autonome à roues ou chenilles.

⁴¹⁴ La cible définie par l'OTAN est de 10 véhicules blindés dans une zone de 20 ha.

ANNEXE VI

Canon à chambres latérales sans recul – CLSR.

Le tube de lancement est doté d'une chambre d'expansion des gaz (chambre basse pression) et d'une tuyère axiale arrière ; en position latérale par rapport à ce tube sont installées des chambres à poudre cylindriques (chambres haute pression) dans lesquelles sont placées les charges propulsives ; ces chambres latérales sont reliées à l'âme du tube de lancement par des tuyères.

La mise à poste du projectile dans le tube de lancement doit être suffisamment avancée pour dégager, à l'arrière, la communication par tuyère de la première chambre latérale avec la chambre axiale basse pression. L'allumage des charges de poudre au-delà de la deuxième chambre latérale est commandé par un dispositif asservi au positionnement du projectile dans sa progression vers la bouche du tube de lancement. Le canon sans recul proposé par Hotchkiss-Brandt est doté de deux chambres latérales.

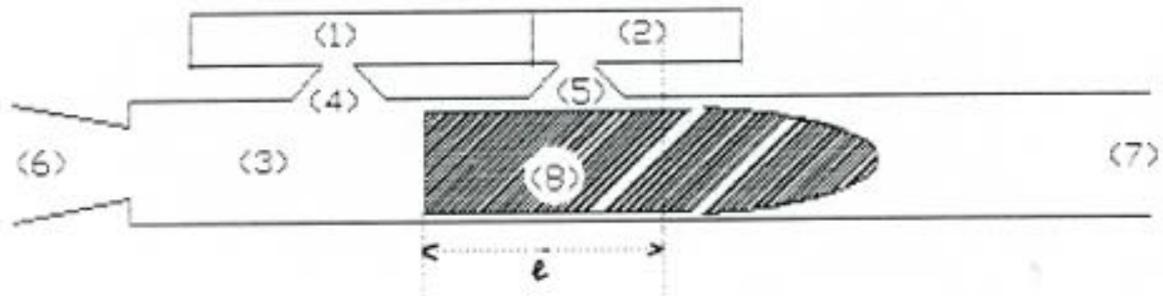


Fig. 27

Schéma du canon sans recul à chambre latérale

CHAPITRE 10

L'ÉVOLUTION DU MORTIER DE L'APRÈS GUERRE AUX ANNÉES 1980⁴¹⁵

Les armes et munitions de mortier constituent une des exceptions à la politique industrielle du ministère de la Défense nationale. On sait que la DEFA avait pour règle de conduite de maintenir pour chaque famille d'équipements deux sources nationales d'approvisionnement, un arsenal et une entreprise privée. Or Brandt a conservé le monopole français de production des mortiers qu'il avait déjà avant la guerre de 1940. Cette position s'explique aisément si l'on tient compte du fait que le mortier requiert des savoir-faire spécifiques (que même les spécialistes de l'artillerie ne possèdent pas)⁴¹⁶ et que Brandt possédait des décennies d'avance en la matière. Investir dans l'acquisition par un arsenal de cette compétence se justifiait d'autant moins que le volume d'activité représenté par les besoins français restait modeste et que Brandt, confronté sur le marché international à la concurrence anglaise et espagnole, était tenu de maintenir un bon niveau de compétitivité.

C'est donc dans les archives de la société Edgar Brandt, devenue en 1946 la Société nouvelle des établissements Brandt (SNEB), puis Hotchkiss-Brandt en 1956, puis Thomson-Brandt en 1972, puis Brandt armements en 1982, puis Thomson-Brandt armements (TBA) en 1985 et enfin Thomson-DASA armements (TDA) qu'il faut chercher l'histoire récente des systèmes de mortiers qui équipent l'Armée française.

Ceci a quelques conséquences sur la précision avec laquelle il a été possible de situer dans le temps l'origine des différents matériels conçus dans cette période. En effet la quasi-totalité des travaux de recherche et développement ont été auto financés par Brandt ; c'était, disait Roger Crépin, président de la société de 1977 à 1984 après y avoir exercé vingt neuf ans ses talents d'ingénieur, le prix de la liberté pour le choix des caractéristiques des produits, c'est à dire la possibilité de tenir compte des besoins des clients étrangers. Il faut rappeler en effet que le mortier de 120 rayé par exemple, a été adopté par l'armée néerlandaise trois ans avant d'être homologué par la France. La DTAT y trouvait son compte puisque les besoins des grands clients étrangers ne différaient pas fondamentalement des siens et qu'elle faisait ainsi l'économie des budgets d'étude et développement des mortiers. Mais en l'absence de contrat d'étude il n'existe pas de document administratif qui permette de situer exactement le début des travaux. Il faut ajouter que la prospérité économique de l'après guerre qui s'est prolongé jusqu'au début des années 1980 pour les industries de défense permettait de créer des matériels nouveaux dans un foisonnement d'idées et de tentatives diverses sans établir des programmes précis pour en contrôler le coût exact. Il n'existe donc pas non plus de document interne permettant de dater le début des travaux d'étude sur tel ou tel matériel particulier. Le lecteur voudra bien excuser le flou qu'il ne manquera pas de remarquer en matière de dates.

Tenant compte de cette imprécision il nous a paru préférable de ne pas retenir l'ordre chronologique pour la présentation des matériels mais de les regrouper par

⁴¹⁵ Par M. Henry Tron.

⁴¹⁶ Voir la présentation du mortier en annexe.

calibre, puisqu'on sait que les systèmes de mortier se répartissent en trois groupes⁴¹⁷ selon leur destination : les systèmes de 60, 81 et 120 mm.

Bien qu'aucun document ne permette de l'attester il semble que tous les travaux conduits dans la période aient eu pour fil conducteur la recherche d'amélioration des performances des systèmes avec les préoccupations suivantes :

- la portée.
- l'efficacité terminale, conditionnée entre autres par la précision.
- la sécurité d'emploi.
- la mobilité et la facilité de mise en œuvre (surtout pour le 120 évidemment).

LES MORTIERS DE 60 MM

Rappelons d'abord que quand les américains ont débarqué en Normandie, en 1944, ils utilisaient un mortier de 60 mm américain M2 (ainsi d'ailleurs qu'un mortier de 81 mm américain M1) fabriqué sous licence acquise auprès de Brandt une dizaine d'années auparavant. Brandt disposait par conséquent de bases solides pour reprendre ses activités. L'après guerre a été marqué par la reprise des fabrications des mortiers existant. L'évolution des sources d'approvisionnement et le goût naturel des ingénieurs pour la nouveauté ont sans doute conduit à quelques évolutions des définitions. Mais ce n'est qu'à la fin des années 1950 que la gamme des produits a connu des évolutions notables. Entre temps Brandt aura produit à peu près 2 000 armes et 1 200 000 munitions de 60 mm dont 20% pour la France. Le bureau d'études reconstitué en 1947 ajoutera à la gamme un mortier de 60 léger, un mortier de proximité et deux mortiers commando (l'un avec percussion commandée). On se reportera aux annexes pour les caractéristiques principales de ces matériels. Mais c'est surtout la gamme des projectiles qui fera l'objet des améliorations les plus intéressantes avec l'adoption de la fonte malléable perlitique et le développement d'une nouvelle fusée assurant un fonctionnement à l'impact avec le minimum de retard.

L'emploi de la fonte malléable perlitique permet d'obtenir la taille optimale des éclats pour l'attaque de fantassins à découvert. Quant à rapidité de déclenchement de l'explosion à l'impact elle permet d'éviter le gaspillage d'une partie de la gerbe. Une partie des éclats est en effet « perdue » parce que le projectile s'enfonce dans le sol avant que l'explosif ne projette les éclats. Ce phénomène est d'autant plus pénalisant pour l'efficacité terminale que le projectile est plus petit. Une solution plus efficace à ce problème sera trouvée plus tard avec les fusées de proximité⁴¹⁸, mais leur coût restera longtemps un frein à leur utilisation sur des projectiles de 60 eux-mêmes très bon marché.

Par ailleurs les systèmes de 60 mm seront dotés en 1963 d'un projectile éclairant fournissant 300 000 candelas pendant 35 s ce qui pour un projectile de ce calibre représentait une performance.

Dans les années 1970 une tentative d'amélioration significative des portées conduira à la conception d'un système permettant de tirer à 5 km alors que la portée

⁴¹⁷ idem.

⁴¹⁸ Noter qu'en artillerie l'emploi de fusée à temps visait le même objectif. Mais le mortier ne fait que du tir vertical avec une grande dispersion sur les durées de trajet et on perd plus sur la variation des hauteurs d'explosion qu'avec l'effet de masque du sol. En outre, comme les fusées proximétriques, les fusées à temps sont coûteuses pour un obus de mortier de 60 mm.

habituelle d'un mortier de 60 mm ne dépasse pas 2 km. Cette prouesse n'a pu être accomplie qu'en alourdissant non seulement l'arme (tube plus épais, plaque de base renforcée) mais aussi la munition : les deux paramètres qui définissent la portée sont en effet la vitesse initiale et le coefficient balistique. Il fallait jouer sur l'une et sur l'autre et, comme le calibre est donné c'est en augmentant la masse qu'on peut améliorer le coefficient balistique. Or le 60 mm (voir note technique en annexe) est par excellence l'arme d'une petite équipe se déplaçant à pied, ce qui limite la masse des munitions si on veut disposer d'un nombre de coups acceptable. On voit que la marge disponible par rapport à un 81 mm léger qui a une portée de 5 km, n'est pas si grande. Elle s'est avérée insuffisante pour compenser dans l'appréciation des clients l'avantage du 81 mm en matière de standardisation et d'efficacité terminale.



Fig. 28
Le mortier-canon de 60 de l'AML



Fig. 29
Le mortier léger de 60 mm



Fig. 30
Projectile de 60 mm

On sait la place qu'a occupé le blindage dans les préoccupations de l'industrie de défense d'après guerre. Brandt pouvait d'autant moins y être insensible que son fondateur a fait partie des premiers spécialistes européens des charges creuses. Le souci de mettre les servants du mortier à l'abri de la « ferraille du champ de bataille » comme celui de faire participer le mortier à la lutte anti-blindés a conduit à concevoir des matériels hybrides, baptisés mortiers-canon. On trouvera en annexe les principales caractéristiques de ces matériels pouvant être chargés soit par la bouche soit par la culasse (pour laisser les servants à l'abri) et tirant en tir courbe ou en tir tendu la gamme complètes des projectiles existant plus deux munitions spécialement conçues pour la lutte anti-char : un obus à charge creuse et un obus flèche. Ces armes sachant tout faire, faisaient évidemment chaque chose un peu moins bien que les matériels spécialisés dans la mission. Elles n'ont jamais connu de succès commercial.

Finalement il n'est resté de ce foisonnement d'idées que le projectile explosif sorti en 1972 et qui ne diffère de son prédécesseur de 1961 que par la présence d'un jonc (voir l'annexe technique sur le rôle du jonc pour les projectiles de mortier).

LES MORTIERS DE 81 MM

La démarche est tout à fait analogue pour le 60 mm et pour le 81 mm. Là encore Brandt disposait au lendemain de la guerre de définitions de matériels parfaitement adaptés aux besoins des utilisateurs, testés par de nombreux belligérants, à commencer par l'*US Army*, au cours du conflit qui venait de s'achever. Les quantités produites entre 1945 et 1960 sont encore plus élevées pour le 81 mm que pour le 60 : pas loin de 3 000 armes et deux millions de munitions dont un tiers environ pour l'armée française.

Effort parallèle à celui réalisé sur le 60 mm pour l'efficacité terminale à la fin des années cinquante. Le nouveau projectile explosif du 81 mm (ML57D) sera développé avant celui du 60 mm. Mais on lui ajoutera un petit frère cinq ans plus tard (ML61) plus lourd, un peu plus long et déjà muni d'un jonc. Il utilise aussi la fonte malléable perlitique et une fusée d'impact rapide. L'extension de la gamme des armes sera plus limitée : on se contentera de développer un deuxième tube sur la même plaque de base pour obtenir deux 81 mm M61, un court et un long qui pour deux kilos de plus, tire le projectile ML61 100 m plus loin et son frère aîné, le ML 57D, 500 m plus loin.

La tentative d'augmentation significative des portées sera menée en parallèle sur le 81 et le 60 mm, avec le même type d'objectif : atteindre des portées habituellement réservées au calibre supérieur. Là encore l'objectif technique sera atteint : le mortier de 81 LP tire le projectile spécialement développé à cet effet à 7600 m. Rares sont les mortiers de 120 mm qui dépassent cette portée. Mais l'arme est deux fois plus lourde que le 81 ML61 et le projectile deux fois plus lourd que le ML57D. C'est un 81 mm qui cesse d'être portable et dès lors qu'on dispose d'un véhicule pour transporter arme et munitions la réaction normale est de s'équiper d'un 120. Le 81 LP ne connaîtra pas plus de succès commercial que le 60 LP.

La démarche ressemble également à celle qui a prévalu pour le 60 mm en ce qui concerne le mortier canon. Toutefois compte tenu des dimensions de l'arme qui nécessitent son montage dans une tourelle (en l'occurrence c'est celle du canon de

90 mm qui a été retenue) on a renoncé au chargement par la bouche. Il s'agit donc d'un canon de 81 mm et c'est d'ailleurs l'appellation qu'avait retenu Brandt dans ses brochures de présentation. Mais compte tenu précisément de l'existence d'un canon de 90 mm capable d'assurer les mêmes missions avec plus d'efficacité, la capacité de tirer des obus de mortier existant, qui constituait le seul avantage du 81 mm, avait peu de chances de convaincre les clients de renoncer au 90 mm, connu depuis longtemps. Le canon de 81 mm a donc lui aussi été un échec commercial.

Il restera finalement de cette profusion d'initiatives un excellent projectile éclairant délivrant un million de candelas pendant 55 secondes ; de quoi rendre jaloux bien des éclairant de 105 ou de 120 mm ! A titre indicatif l'éclairant de 120 mm conçu au début des années 1960, pour les mortiers lisses, donnait 600 000 candelas pendant une minute.



Fig. 31
Projectiles de 81 mm

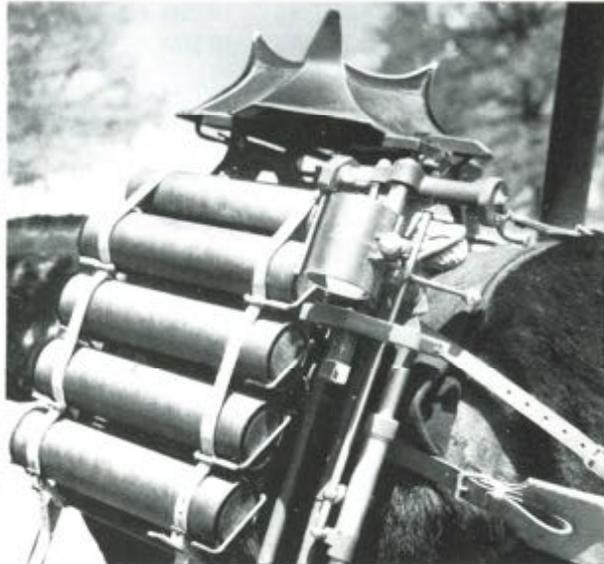


Fig. 32
Le mortier léger de 81 mm

LES MORTIERS DE 120 MM

C'est dans ce calibre que vont apparaître les innovations les plus importantes et les mieux adaptées aux besoins des utilisateurs. On retiendra deux faits majeurs : la propulsion additionnelle des projectiles et le passage du tube lisse à l'arme rayée (on se reportera à l'annexe technique pour la comparaison lisse rayé dans le domaine des mortiers).

C'est dès l'immédiat après-guerre que Brandt s'est attaqué à la question de la propulsion additionnelle, seul moyen de gagner significativement en portée sans renoncer au tir à terre avec chargement par la bouche (qui limite pour des raisons ergonomiques à la fois la longueur du tube, la masse du projectile et le niveau de bruit, donc la pression maximale envisageable). Edgar Brandt avait dès 1938 proposé le concept de « munition à réaction » mais le premier projectile doté de propulsion additionnelle à être fabriqué en série ne sortira qu'en 1954. Il s'agit d'un projectile de 120 lisse, le PEPA (Projectile empenné à propulsion additionnelle). Il sera ensuite modifié et équipé d'un empennage déployant pour améliorer sa stabilité en vol et donc réduire sa dispersion. La mise en place d'un moteur à poudre à l'intérieur d'un obus de mortier présente en effet quelques difficultés :

- un moteur à poudre chauffe beaucoup et il faut éviter qu'il n'initie prématurément l'explosif qui l'entoure,
- les accélérations au départ du coup ne doivent pas dégrader le bloc de poudre ou son accrochage sur l'enveloppe du moteur,
- un moteur occupe de la place normalement affectée à l'explosif et il faut maintenir une efficacité terminale suffisante,
- l'optimisation de l'accroissement de portée conduit à allumer le moteur avec un retard bien défini qu'il n'est pas facile de réaliser dans une chaîne pyrotechnique utilisant la chaleur produite au départ du coup pour mettre à feu la propulsion additionnelle,
- enfin, il faut permettre l'éjection des gaz de combustion du moteur à travers une tuyère qui fournisse un rendement correct. Or l'arrière d'un projectile de mortier lisse est constitué d'un tube qui contient la cartouche (charge minimale et moyen de mise à feu des relais) et porte les empennages. Ce tube doit être éjecté (autre problème !) pour permettre le fonctionnement du moteur ce qui conduit à placer les empennages sur l'arrière du corps d'obus, donc avec un bras de levier plus court vis à vis du centre de gravité. Ceci conduit à augmenter la surface de l'empennage pour en conserver l'effet stabilisateur.

On comprend que la mise au point ait pris du temps, mais l'expérience ainsi acquise a pu être mise à profit pour la conception du projectile rayé à propulsion additionnelle qui constituait une remarquable prouesse technique. Quoi qu'il en soit la propulsion additionnelle permet un accroissement de portée de 50% environ.

Si le projectile à propulsion additionnelle est l'innovation la plus marquante de cette période il ne faut pas oublier de mentionner les travaux réalisés sur les armes de 120 mm. En particulier l'AM 50 équipé d'un train rouleur amovible qui permettait de tracter le mortier derrière un véhicule. L'une des originalités de ce matériel était de pouvoir utiliser le train rouleur à la place du bipied comme appui pour le pointage de l'arme. Là encore le travail réalisé servira dix ans plus tard pour le 120 LT (plus léger que l'AM 50 pour des performances quasi identiques) et pour le 120 mm rayé.

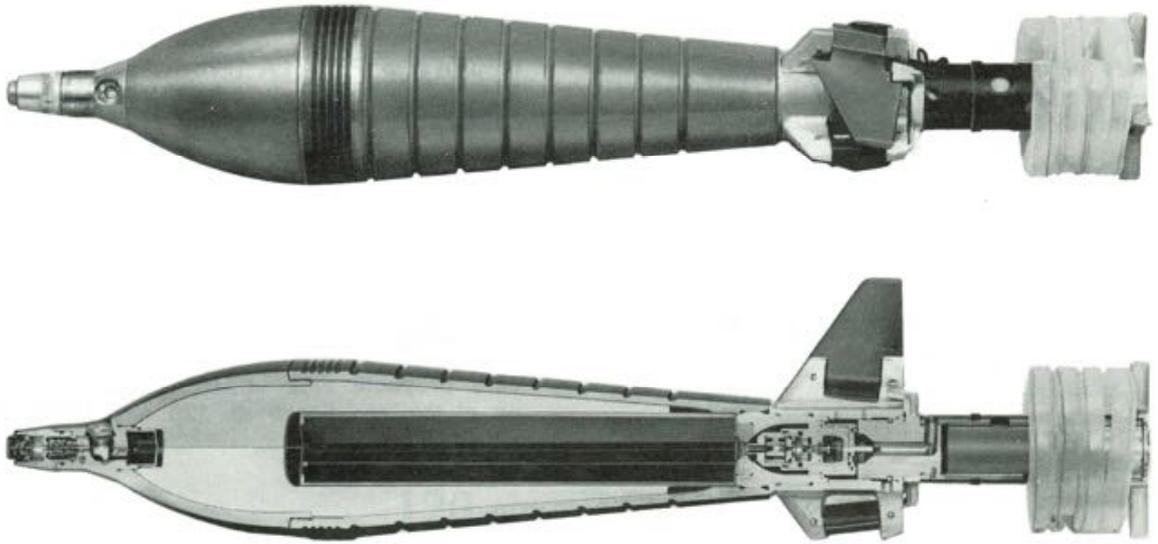


Fig. 33
Projectile de 120 PEPA



Fig. 34
Mortier de 120Mle 50

C'est en effet la naissance du 120 mm rayé qui marquera la période suivante. Il suffit pour apprécier la performance réalisée à l'époque de dire que, quarante ans après son adoption par les Pays-Bas, le 120 rayé dans une configuration qui n'a pas fondamentalement évolué est toujours en service dans l'armée française et dans un certain nombre d'autres pays et demeure sans doute le meilleur système de mortier lourd au monde. On trouvera en annexe les caractéristiques principales de l'arme et des munitions, ainsi que l'analyse de l'intérêt relatif des systèmes lisses et rayés pour un mortier.

De même que la conception des 60 et 81 mm à longue portée était motivée par l'ambition de donner à un calibre une allonge habituellement réservée au calibre supérieur, l'idée qui semble avoir prévalu dans la conception du 120 mm rayé était de donner au mortier de 120 mm l'allonge des canons d'artillerie légère. Et en effet avec le projectile à propulsion additionnelle le 120 mm rayé tire à 13 km, ce qui correspond à la portée d'un obusier de 105 mm. Mais si la performance technique s'est avérée sans grand attrait opérationnel pour les mortiers de 60 et 81 mm, il en va tout autrement pour le 120 mm. En effet un canon de 105 mm a une masse très supérieure à celle du 120 mm rayé et celui-ci est devenu un outil apprécié des unités appelées à intervenir sur des théâtres éloignés, car il est facilement transportable. Noter qu'un pas de plus a été franchi à la fin des années 1980 avec un projectile de 120 mm dit à très longue portée. C'est en quelque sorte une roquette de 120 mm propulsée au départ par effet canon, ce qui élimine la dispersion propre aux roquettes d'artillerie tout en permettant d'atteindre 17,5 km à partir d'un lanceur pesant moins de 500 kg.

Le 120 rayé n'a pas échappé non plus à la préoccupation du blindage. Un projectile à corps préfragmenté pour l'attaque par le toit des VTT a suivi de près les munitions de base anti-personnel. Plus tard utilisant la grenade développée et fabriquée en grandes quantités (donc fiable et peu coûteuse) pour le MLRS phase 1, on ajoutera à la gamme un projectile cargo contenant 20 de ces grenades à charge creuse. Enfin et bien qu'aucune de ces tentatives n'ait débouché, plusieurs projets de « munitions intelligentes » ont jalonné les années 1980 et 1990 (munitions à guidage terminal ou à effet dirigé).

Pour ce qui concerne le montage sur véhicule la leçon des 60 et 81 mm a été bénéfique. Le 120 mm rayé n'a pas perdu dans l'opération ses qualités spécifiques de mortier. Il est monté directement dans la caisse d'un VTT et doté d'un robot de chargement qui assure l'introduction par la bouche des projectiles que les servants préparent (réglages des charges) et déposent sur un berceau à la base du tube restant ainsi à l'abri. Pas de culasse, pas de tourelle et bien sûr pas de tir tendu. Les possibilités du GPS et des calculateurs de tir ont évidemment été mises à profit et le gain en rapidité et sécurité d'intervention est notable comparé au mortier tracté dont la mise en batterie est pourtant déjà remarquablement rapide en raison de l'utilisation du train rouleur comme bipied.

Entre 1945 et 1985, Brandt aura produit un peu plus de 4 000 engins de 120 mm, dont 700 mortiers de 120 rayés.



Fig. 35
PR PA projectile explosif à propulsion additionnelle pour les mortiers rayés de 120 mm

ANNEXES

Généralités sur le mortier

Principe de fonctionnement, description.

Lors de mon premier entretien en 1983 avec Roger Crépin, qui était sans doute le meilleur spécialiste du mortier de l'histoire, celui-ci me définissait cette arme dans les termes suivants : « Un mortier c'est un tube ouvert à une extrémité et avec un clou au fond ». Il ajoutait un peu plus tard dans la même conversation : « Comme le sol encaisse directement les efforts de recul, la masse reculante c'est la terre ! » Cette faculté de voir l'essentiel chez ce grand ingénieur est d'autant plus remarquable que Roger Crépin est le père du mortier de 120 rayé dont on reparlera un peu plus loin et qui regorge d'astuces techniques. Mais il est vrai que le mortier est le système d'arme à tir courbe qui a conservé les vertus de simplicité de la bombarde originelle et qui convertit au mieux l'énergie de la poudre en vitesse initiale du projectile car, le recul étant très court, les forces de recul travaillent peu, contrairement à ce qui se passe pour un canon et, a fortiori, pour une roquette.

L'arme dont le rôle est de fixer la direction du vecteur vitesse initial du projectile et de permettre la conversion en vitesse de l'énergie que porte le projectile se compose de trois sous-ensembles : le tube et son système de percussion, la plaque de base et le bipied avec son système de pointage. La munition se compose aussi de trois sous-ensembles : la charge propulsive (charge de poudre) et son système de mise à feu, la charge *militaire* (ou charge utile) et la fusée qui déclenche au moment voulu le fonctionnement de la charge militaire. Les schémas qui suivent définissent les termes utilisés pour différents composants de l'arme et de la munition (on a représenté un mortier lisse, qui est le cas le plus courant ; les particularités du rayé seront abordées plus loin sous le titre *Pourquoi un mortier rayé ?*). En fonctionnement standard, la munition est introduite dans le tube, empennage vers le bas. La vitesse acquise lors de la descente dans le tube fait que l'amorce est percutée en arrivant au fond. L'amorce fait fonctionner la cartouche située à l'intérieur du tube de queue et les gaz de combustion de la cartouche initient les charges additionnelles. Le fonctionnement de la charge crée une pression dans le tube et éjecte la munition avec une vitesse initiale V_0 , d'autant plus élevée que la charge de poudre est plus importante. On règle donc la valeur initiale par paliers en utilisant plus ou moins de relais.

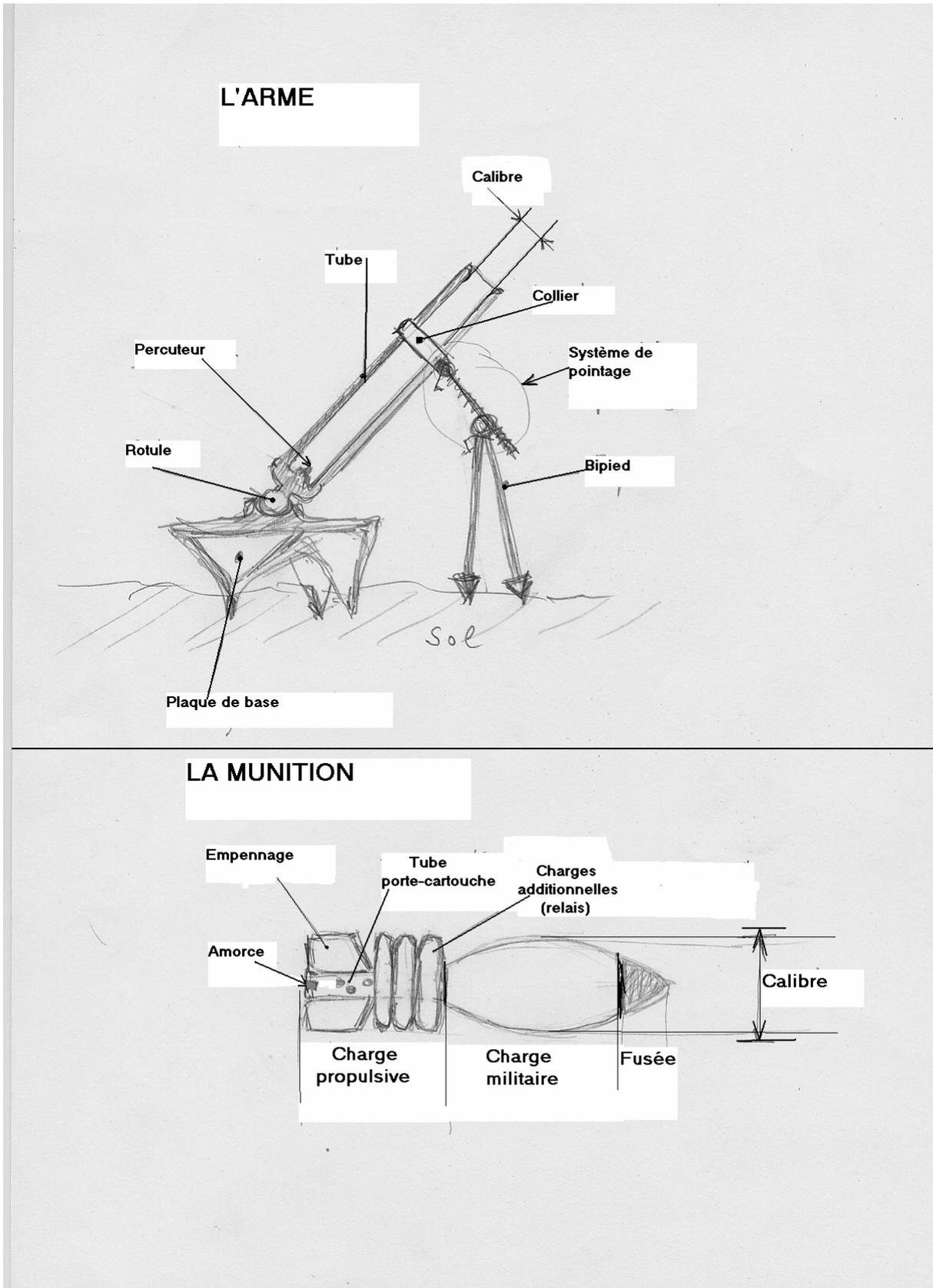


Fig. 36

En l'absence de vent, la munition vole dans le plan vertical qui contient le vecteur vitesse initiale, c'est à dire (à très peu près) l'axe du tube. La portée dépend de V_0 et de l'angle du vecteur vitesse initiale avec l'horizontale, dit angle de site. Compte tenu de la nature de la liaison de l'arme avec le sol, liaison qui est assurée par la plaque de base, l'angle de site doit être élevé pour que la plaque ait tendance à s'enfoncer dans le sol et non à glisser. Le mortier utilise donc des angles de sites supérieurs à l'angle de portée maximale, 45° . Dans le langage de s'artilleurs ont dit qu'il ne fait que du tir « vertical »⁴¹⁹. La charge la plus importante tirée à 45° donne la portée maximale d'un projectile donné dans le mortier. Pour toute portée inférieure, des « tables de tir » (remplacées aujourd'hui par des calculateurs de tir) donnent un ou deux couples de valeurs charge-angle de site qui permettent de l'atteindre. Les tables de tir indiquent par ailleurs les corrections à introduire pour tenir compte du vent et de la différence d'altitude entre l'arme et la cible. On trouve aussi dans les tables de tir les éléments de dispersion qui permettent le réglage (il n'est pas question de développer ici les procédures de réglage du tir qui sont analogues à celle de l'artillerie).

Si classiquement les projectiles ont une charge militaire destructive (explosif dans une enveloppe d'acier projetant des éclats), on peut aussi utiliser le mortier pour éclairer le champ de bataille (dans le visible ou dans l'infrarouge) ou l'occulter avec des fumigènes... Le mortier peut donc être considéré de façon très générale comme un moyen de délivrer des charges de 2 à 15 kg jusqu'à des distances de 8 km, avec des contraintes d'accélération non négligeables.

On terminera ce descriptif succinct en faisant remarquer que le principe de fonctionnement impose aussi que la munition ait un diamètre extérieur un peu inférieur à celui du tube pour que sa descente ne soit pas freinée par l'air contenu dans l'arme. Ceci a des conséquences sur la précision du tir : en effet le projectile n'étant pas parfaitement guidé peut prendre un léger angle d'inclinaison par rapport à l'axe du tube. Or dans les premiers centimètres de sa trajectoire après avoir quitté le tube il se trouve dans un flux de gaz qui sont évacués de l'arme avec une vitesse supérieure à V_0 ; pendant ce court instant, l'empennage a un effet déstabilisateur d'autant plus grand que son incidence par rapport au flux de gaz est élevée. On verra, plus loin, que ce défaut peut être pallié par l'utilisation d'un « jonc » ce qui permet en outre de réduire les exigences de vivacité de la charge propulsive qui sont une autre conséquence de l'espace libre entre munition et tube.

Spécificités techniques

Le principe de fonctionnement induit un certain nombre de contraintes dans la conception de l'arme et des munitions. Le premier élément concerné est celui qui assure la liaison avec le sol : la plaque de base. Puisque rien ne vient écrêter les efforts de recul qui pour un mortier de 120 à charge maximale atteignent 1,5 millions de Newtons, la plaque de base est soumise à d'énormes contraintes. Il faut en outre qu'elle joue son rôle sur toutes sortes de sols, des plus durs aux plus mous et des plus homogènes aux plus hétérogènes. Elle doit s'enfoncer suffisamment pour ne plus se déplacer, surtout pas latéralement, mais pas trop pour que les réglages et le tir restent possibles. Idéalement la plaque doit être « ancrée » (c'est à dire ne plus bouger lors des tirs) après deux ou trois coups. Il faut pour cela des formes très

⁴¹⁹ Dans certaines conditions le mortier de 120 rayé peut être tiré à moins de 45° de site (tir dit « plongeant » en artillerie). Mais c'est plutôt une *curiosité* technique.

étudiées réalisées par assemblage soudé, avec des soudures sans le moindre défaut, dans des aciers de hautes caractéristiques.

A première vue on pourrait penser qu'un tube de mortier ne présente pas d'originalité par rapport à un tube de canon. Le mode de chargement implique en réalité deux contraintes très particulières car c'est un procédé qui permet des cadences très élevées : là où un 155 d'artillerie à « grande cadence » tire quatre coups par minute un mortier tire facilement huit coup par minute. D'une part ces cadences élevées conduisent à des échauffements importants. Or les caractéristiques d'un acier diminuent avec la température. Il convient donc de s'assurer que ce phénomène ne remet pas en cause les marges de sécurité qui garantissent la capacité du tube à supporter les pressions générées lors du tir. D'autre part le délai très bref entre deux chargements successifs entraînent un risque bien particulier : celui de la double alimentation. Si pour une raison quelconque un coup n'est pas parti au bout de 10 secondes et si le chargeur n'a pas pris conscience de l'incident on se trouve avec deux projectiles dans le tube. Ceci peut dans le pire des cas (et si le pire n'est jamais certain il n'est pas non plus impossible) conduire au fonctionnement simultané des deux charges propulsives avec deux projectiles à évacuer du tube ce qui se traduit par le développement de pressions très supérieures à celles prévues pour le fonctionnement normal de l'arme ou par la mise à feu d'une charge militaire dans le tube. Inutile de préciser que l'éclatement d'un tube a des conséquences fatales pour l'équipe de pièce.

Or pour certains systèmes la masse du tube est une caractéristique importante car le mortier est une arme déplacée à dos d'homme. Il y a donc conflit entre l'ergonomie et la sécurité car évidemment la capacité d'un tube à supporter des pressions élevées est fonction de son épaisseur, donc de sa masse. L'évolution de la pression est le résultat d'une course de vitesse entre la combustion de la poudre qui augmente la quantité de gaz dans le tube et le mouvement du projectile qui offre à ces gaz un espace croissant. Il arrive un moment où la pression se met à décroître et la partie du tube qui se trouve au dessus de la position atteinte par le projectile lorsque la pression est maximale est moins sollicitée que la partie basse. La prise en compte de la pression maximale au tir conduit donc à amincir le tube à son extrémité. Si on veut en outre que le tube tienne en cas de double alimentation, il faut non seulement en augmenter l'épaisseur mais renoncer à alléger la partie haute.

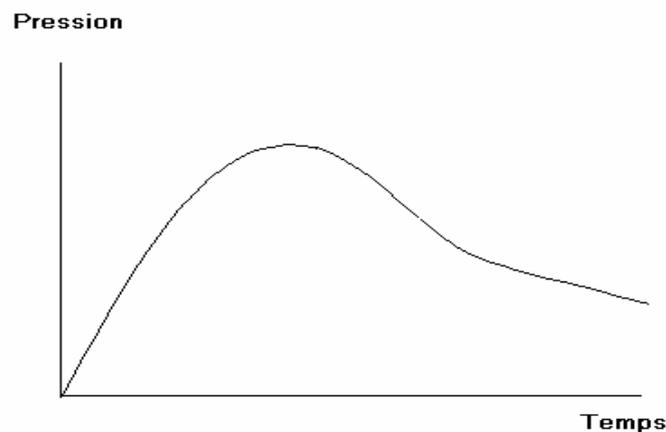


Fig. 37

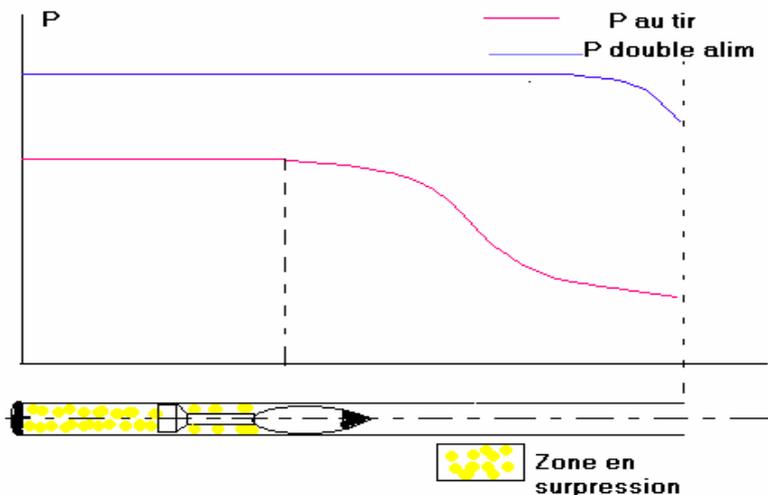


Fig. 38

La prévention des risques de fonctionnement de la charge militaire dans le tube est assurée par la conception du projectile (en particulier de la fusée). On veille à ce que la forme de l'ogive et de la partie arrière évite la percussion de l'amorce du projectile supérieur par le projectile inférieur. Mise à feu par les gaz chauds qui viennent de la partie inférieure, la charge propulsive a une combustion moins rapide. Quant à la fusée elle est conçue pour ne pouvoir fonctionner que plusieurs mètres après avoir quitté le tube. Il arrive en effet que le mortier soit tiré sous des arbres et l'impact sur des feuillages ou des branches pourrait entraîner l'explosion de la charge militaire. Si donc le corps de projectile est assez résistant et hermétique la charge militaire ne peut fonctionner en cas de double alimentation.

Comme on l'a signalé au chapitre précédent le passage des gaz entre le projectile et le tube, nécessaire pour assurer la percussion automatique de l'amorce, est une cause de dispersion du tir. Mais il entraîne aussi une difficulté dans la conception de la charge propulsive. En effet la vitesse de combustion de la poudre augmente avec la pression, laquelle augmente rapidement dans un espace confiné. Dans un canon la poudre prend donc immédiatement un régime de combustion adéquat. Dans un mortier il faut un début de combustion vif générant beaucoup plus de gaz qu'il ne s'en échappe entre le projectile et le tube. Ceci est particulièrement difficile à réaliser à froid, les spécifications demandant un fonctionnement à des températures inférieures à -40°C voire à -50°C ⁴²⁰. C'est la cartouche et le tube de queue qui la contient qui permettent de satisfaire ces exigences.

Il est possible de limiter les inconvénients dus au jeu entre le tube et le projectile en utilisant un jonc en plastique, placé comme indiqué sur le schéma ci-après et maintenu avec une liaison suffisante pour tenir pendant la descente du projectile mais assez faible pour se rompre sous l'effet du flux de gaz généré par la poudre. Le

⁴²⁰ François Barret, ancien officier du 2^{ème} REP qui savait de quoi il parlait pour s'être trouvé en face des chinois par -35° en 1953 quelque part au milieu de la péninsule coréenne, me disait : « En dessous de -30° il n'y a plus qu'un ennemi : le froid ! ». Ceux qui rédigent les spécifications des armes n'ont pas tous fait la guerre !

jonc vient alors obturer l'espace annulaire entre le projectile et le tube. Il est balayé par l'écoulement d'air autour du projectile une fois celui-ci sorti du tube.

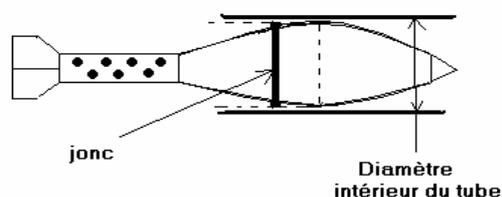


Fig. 39

Intérêt et contraintes opérationnels

Ce qui précède implique de nombreuses particularités dans l'emploi du mortier. En établissant chaque fois qu'il sera nécessaire la comparaison avec d'autres systèmes à tir courbe (canons, roquettes), nous allons examiner ces particularités sous l'aspect de la logistique, de l'ergonomie et de la sécurité ainsi que de l'efficacité et des contraintes de mise en œuvre.

Logistique.

Le principe de fonctionnement qui simplifie l'arme à l'extrême en fait non seulement un système robuste, mais permet aussi d'alléger l'arme qui à calibre équivalent est plus lourde qu'un lance roquettes mais infiniment plus légère qu'un canon : pas de culasse, pas de frein de recul et une plaque de base en guise d'affût. En outre les liaisons entre les trois principaux éléments peuvent être réduites à des assemblages très simples : une rotule entre le tube et la plaque, un collier entre le tube et le bipied. Quelques minutes suffisent donc à décomposer un mortier en trois fardeaux ou à le réassembler. C'est ainsi que le mortier est devenu l'artillerie du fantassin, lequel est amené même à l'époque moderne à se déplacer à pied. Et c'est ainsi que se sont normalisés les calibres de 60 et de 81 mm. L'arme de 60 mm ne dépasse pas 15 kg toute assemblée. Certains modèles pèsent moins de 10 kg ; elle peut donc être portée par un seul homme. La munition de 60 mm pesant quant à elle 2 kg on voit qu'un groupe de trois ou quatre hommes peut emporter l'arme et 15 à 20 coups ce qui permet en action de commando ou de guérilla des dégâts significatifs. Du Viêt-Nam à l'Irak en passant par l'Irlande du nord et la Palestine, les exemples ne manquent pas. L'arme de 81 mm quant à elle est décomposable en trois fardeaux de 10 kg chacun ce qui permet d'en doter une section d'infanterie, étant entendu que la munition pèse 5 kg et qu'il faut donc répartir la charge entre dix hommes au moins si on veut disposer d'une capacité de feu raisonnable. Notons tout de suite que le troisième calibre, le 120 mm, n'est pas une arme transportable sans véhicule : le poids de la munition (environ 15 kg) est à lui seul prohibitif. Ce sont des considérations d'ergonomie au tir qui ont conduit à retenir cette limite haute pour le calibre du mortier ; on y revient au paragraphe suivant.

Ergonomie et sécurité.

Le chargement par la bouche entraîne des conséquences pour l'équipe de pièce dont la plus spectaculaire est le risque de double alimentation qui a été longuement évoqué plus haut. Ajoutons simplement que dans certains modèles de mortiers (c'est le cas du 120 rayé français) l'utilisation d'une bague en plastique que la munition

laisse à la bouche de l'arme à l'introduction et qui interdit l'introduction d'une autre munition tant que le départ du coup ne l'a pas éjectée, fournit une sécurité active contre la double alimentation. D'autres systèmes utilisent un volet incorporé à l'extrémité du tube et qui remplit la même fonction.

Mais il y a d'autres aspects à prendre en compte. Pour commencer par le plus simple et le plus évident, le chargement effectué plus de huit fois par minute n'est possible que si la munition n'est pas trop lourde et le tube pas trop long. C'est ce qui est déterminant dans le choix du calibre de 120 mm : la munition pèse entre 15 et 20 kg et le tube mesure deux mètres. Ce mode de chargement a un autre effet : il oblige le chargeur à se trouver à proximité de la bouche de l'arme ; il est donc soumis de façon très sévère aux surpressions générées par le départ du coup. Là encore le calibre 120 mm est à la limite (un peu dépassée même selon la médecine actuelle qui prescrit le port d'équipements de protection au chargeur) de ce que les utilisateurs peuvent supporter.

Au chapitre de la sécurité il faut signaler que les mortiers lisses posent un problème aux concepteurs de fusées. Les normes prescrivent en effet que l'armement de la fusée ne soit possible qu'en présence de deux phénomènes physiques indépendants. Dans le cas des armes rayées c'est très simple puisque la munition est accélérée longitudinalement cependant qu'elle est mise en rotation. Les munitions lisses ne subissent que l'accélération longitudinale ; il faut donc trouver autre chose (détecteur magnétique de présence du tube ou vent relatif dû au vol du projectile, par exemple) pour remplacer la rotation.

Efficacité et contraintes de mise en œuvre.

Le mortier est une arme à tir vertical. La trajectoire est donc un peu plus longue, ce qui toutes choses égales d'ailleurs augmente l'effet des perturbations et donc la dispersion. On a vu par ailleurs que le jeu entre le tube et la munition est facteur de dispersion. Le mortier (en particulier le mortier lisse) est donc une arme moins précise que le canon. Il reste cependant plus précis que la roquette, très sensible au vent latéral. En outre les premiers coups servent à ancrer la plaque : une partie de l'énergie dégagée par la charge propulsive sert ainsi à faire reculer la plaque au lieu de faire avancer le projectile ; les coups d'ancrage sont donc plus courts ce qui rend le réglage un peu plus complexe. L'expérience de l'équipe de pièce compense en partie cet inconvénient.

En revanche le tir vertical (qui induit des angles d'arrivée plus proches de la verticale alors que l'essentiel des éclats est éjecté perpendiculairement à l'axe du projectile) et surtout la cadence de tir élevée font que, rapporté au kilogramme de munition, le mortier est le système à tir courbe dont l'effet terminal est le plus important.

La cadence de tir élevée et la possibilité de quitter rapidement la position de tir font en outre du mortier un système peu vulnérable aux tirs de contre batterie ; seuls les canons automouvants et les lance-roquettes multitubes peuvent garantir la même rapidité d'intervention.

Grandes familles de mortiers.

Comme cela transparaît à travers les chapitres précédents, l'usage à peu près centenaire du mortier « moderne » a conduit à la création de trois familles. Les mortiers légers : 60 mm pour tout le monde sauf les britanniques que leur allergie à l'usage du système métrique conduit là encore à des excentricités ; leur mortier léger est d'un calibre un peu inférieur à 60 mm. Les mortiers moyens : 81 mm pour tout le

monde cette fois ci. Les mortiers lourds : 120 mm en général, 4 " 2 (soit environ 105 mm) pour les américains qui en matière d'allergie au système métrique ne peuvent renier leurs ascendants anglais, des calibres plus gros encore pour certains mortiers embarqués russes. Dans chaque famille il y a des versions plus ou moins lourdes selon qu'on recherche à faciliter la logistique ou à améliorer la portée et l'efficacité. Et dans chaque version on décline une famille de munitions, dont la charge propulsive est compatible de l'arme (les armes légères ne supportent pas les pressions maximales développées par les munitions des armes lourdes), qui permet de remplir les différentes missions confiées au mortier. Enfin les points faibles des munitions stabilisées par empennages ont conduit pour les mortiers lourds à la conception de systèmes rayés, les avantages de la simplicité et de la légèreté étant moins décisifs dans ce cas. On se reportera avec profit aux fiches techniques des différents mortiers de TDA pour apprécier la diversité qui en résulte. Il est cependant utile de dire un mot de commentaire sur les diverses munitions et surtout d'examiner les mérites comparés des systèmes lisses et rayés.

Différentes munitions.

La munition de base est dotée d'une charge explosive à éclats. Le choix du matériau de l'enveloppe influe sur la taille des éclats et donc sur l'efficacité de la munition (des éclats trop gros sont moins nombreux donc ont une probabilité plus faible de toucher une cible et des éclats trop petits n'ont pas sur la cible un effet suffisant). Pour l'attaque des combattants à pied, la cible prioritaire d'un mortier, TDA a retenu la fonte (fonte malléable perlitique ou fonte à graphite sphéroïdal) qui produit la fragmentation optimale du corps de charge. Pour des cibles plus dures on utilise d'autres matériaux mais avec un corps de charge prefragmenté qui permet par exemple d'obtenir des éclats d'une taille voisine de 1cc, bien adaptés à l'attaque de blindages légers comme on en trouve sur le toit des VTT. L'utilisation de fusées de proximité qui font exploser la charge deux ou trois mètres au-dessus du sol améliore très nettement l'efficacité des charges à éclats.

La seconde mission en importance est l'éclairage du champ de bataille. Les projectiles éclairants s'ouvrent cent à deux cents mètres au dessus de la zone à éclairer, dégageant un pain de composition éclairante accroché sous un parachute et qui descend lentement en se consumant avec émission de lumière visible ou infrarouge.

La troisième mission consiste à créer un écran de fumée. C'est plus simple car la fumée peut-être émise du sol après impact du projectile. Le problème se résume au choix de la composition chimique la plus adaptée : dimension et opacité du nuage pour une quantité donnée, pollution limitée du champ de bataille qu'on envisage dans bien des cas d'occuper ultérieurement.

Si on se souvient que le mortier de 120 est un moyen d'expédier jusqu'à 8 km des charges utiles d'une dizaine de kilos avec une précision de quelques dizaines de mètres, on peut imaginer d'autres applications. Les armes chimiques ou bactériologiques sont aujourd'hui proscrites, mais on peut distribuer ainsi des petites grenades à charges creuses pour attaquer des véhicules blindés par le toit (là où ils sont le moins bien protégés), disperser des mines anti-personnelles....

La gamme des munitions est en outre toujours complétée par des munitions d'exercice.

Pourquoi un mortier rayé ?

Le passage d'une munition dont le vol est stabilisé par empennage à un projectile stabilisé par effet gyroscopique fait perdre bien des avantages de la rusticité du mortier. Dans le cas du projectile lisse, la charge propulsive est organisée dans et autour de la queue qui sert aussi à porter l'empennage et vole donc avec le projectile. Une munition rayée devra abandonner le porte charge en quittant le tube et ce porte charge devra être évacué avant le chargement du coup suivant. Le mortier étant chargé par la gueule il n'y a pas de cône de forçement ; il faut donc trouver autre chose pour que la ceinture de la munition prenne les rayures de l'arme. Enfin il faut bloquer le tube en rotation autour de son axe : c'est la munition qui doit être « spinnée » et non le tube ! Or ce degré de liberté facilite l'alignement de l'arme en gisement pour préparer le tir sans tourner la plaque de base. Si les américains avec leur mortier de 4 " 2 comme les français avec leur mortier de 120 mm ont retenu un système rayé, c'est que celui-ci présente de gros avantages.

La munition étant en rotation avant même de sortir du tube, n'est pas soumise aux perturbations du largage qui ont été évoquées plus haut. Un mortier rayé est donc intrinsèquement plus précis. En l'absence des contraintes que l'aérodynamique impose à un projectile empenné on peut dessiner une munition plus cylindrique à l'arrière, qui constitue un générateur d'éclats plus efficace et un conteneur plus aisé à aménager. Enfin les contraintes de sécurité d'armement de la fusées sont respectées en utilisant les mêmes solutions que pour les projectiles de canon.

Quel avenir pour le mortier ?

A l'époque où les systèmes d'armes deviennent d'une extrême complexité on peut se demander si un engin aussi rustique a encore sa place dans les conflits armés. Une partie de la réponse figure au chapitre 3 : le mortier léger est une arme parfaitement adaptée au commando et à la guérilla. Or la majeure partie des conflits actuels se résument à des guerres « civiles » ou le deviennent rapidement. Qu'on le regrette ou qu'on s'en félicite, le mortier a donc autant d'avenir que ces formes de conflits dont rien ne permet de penser qu'on saura les éviter dans un futur proche.

Mais il y a sans doute une place pour le mortier dans des phases de conflit plus conventionnelles s'il évolue dans deux directions. L'arme d'abord, parce qu'elle est simple et robuste peut être montée sur un véhicule et automatisée. Seul le réglage des charges peut dans la configuration actuelle des munitions être rebelle à l'automatisation. C'est la raison qui a poussé TDA à travailler sur l'emploi d'ergols liquides pour remplacer les poudres. Une fois l'automatisation réalisée on peut concevoir le mortier comme une arme autonome, robotisée ou télécommandée, ce qui résout les problèmes ergonomiques et permet de voir la contre batterie avec sérénité puisque les « servants » sont éloignés de l'arme. Les munitions de leur côté peuvent, si on se souvient que le mortier est un outil qui permet de positionner des fardeaux d'une dizaine de kilos jusqu'à huit kilomètres avec une précision inférieure à 100 m, assurer des missions plus évoluées que la distribution d'éclats meurtriers pour les fantassins à découvert. L'électronique, miniaturisée donc légère supporte bien les accélérations du départ de coup et peut servir à concentrer les effets de l'énergie chimique transportée (l'explosif) sur des cibles plus « intéressantes ». C'était le rêve que les années 1970-1980 désignaient sous le vocable (malencontreux au demeurant) de « munitions intelligentes ». On peut aussi imaginer de convertir l'énergie chimique en flash électromagnétique pour dégrader ou aveugler des systèmes de communication ou de détection.

INDEX DES NOMS PROPRES

- Adamowicz, Serge, 31, 46
Arène, François, 36, 119, 129
- Bacque-Mouret, 50
Barbe, 202
Barret, François, 236
Bedaux, 71, 109, 120-121
Brandt, Edgar, 119, 228
Bühler, 45
- Carougeau, Maurice, Alphonse, 10, 32, 33, 45, 57, 67, 109, 114-116, 120-121, 125, 133, 156, 177, 198
Carrière, 194
Cartoux, Élie, Paul, 204
Coeytaux, Georges, Édouard, 120
Crépin, Roger, 221, 232
- Defrance, 198, 201
Deleuze, 34
Deport, Albert, 81
Devenne, 100, 101, 103
Dromard, 164,
Dubois, Bernard, 76
- Fortin, 148
Frayman, 36
Frayssac, Jacques, Xavier, 215
- Joneaux, 195
- Lafargue, 32, 33, 39, 45, 100, 101, 102, 103, 109, 194,
Larroumets, 34, 36, 119, 129
Launet, Michel de, 4, 76
Lavaud, 149
Lavirotte, 100, 103
Lemaitre, 164
- Lhomme, Albert, André, Édouard, 34, 39, 64, 103
- Mairet, 45
Marest, Michel, 4, 10, 13, 29, 36-37, 47, 99, 109, 145, 185, 193
Molinié, Joseph, 113, 121
Moreau, 143
- Nicolas, 149
Nicolau, 47
- Paget, Daniel, 47
Pinson, 164
- Rateau, 77
Rebourseau, 46
Rimailho, Émile, 82
Rivals, 33, 59, 65, 149
- Sainte-Claire-Deville, Charles Etienne, 82
Sauvestre, 143
Schardin, Hubert, 113, 118
Schneyder, Marcel, Joseph, Albert, 45
Servais, Claude, 76
Steck, 34, 39
- Tauzin, Michel, 4, 47, 109, 127, 177
Thuair, 164
Toche, Lucien, 51
Trémouilles, 175
Treuille de Baulieu, Antoine, 77
Tron, Henry, 10, 221
Truttmann, 145
- Viviez, 71
- Wilmet, 198