

AVIONS MARCEL DASSAULT - BREGUET AVIATION

EXPLOITATION DES TIRS D'OISEAUX A GRANDE VITESSE

SUR STRUCTURE D'AVIONS METALLIQUES

MERIGNAC, LE 12 MAI 1978

Mérignac, le 2 Mai 1978

EXPLOITATION DES TIRS D'OISEAUX A GRANDE VITESSE
SUR STRUCTURE D'AVIONS METALLIQUES

1. AVANT PROPOS

Actuellement le constructeur d'avions confronté au problème d'impact d'oiseaux sur la structure a la choix entre deux attitudes.

Ou bien il ne peut admettre de destruction (admettant à la rigueur des déformations mineures)

Ou bien il admet des destructions, mêmes importantes, mais il doit en revanche démontrer qu'elles ne sont pas critiques c'est-à-dire que l'avion les subissant pourrait continuer son vol et atterrir sans danger.

Ceci conduit, pour étayer ce choix, à connaître des critères qui permettent de prévoir si sous l'impact il y a destruction ou non, et s'il y a destruction, quelle est l'étendue de celle-ci.

Les Avions Marcel Dassault - Bréguet Aviation, dans l'optique de la Certification d'avions civils, ont conduit une recherche de ce critère par l'analyse des résultats expérimentaux de tirs d'oiseaux au C E A T, en utilisant quelques résultats élémentaires de mécanique rationnelle et de théorie des structures et en faisant quelques hypothèses suggérées par l'observation du comportement de l'oiseau pendant les tirs.

2. RESULTATS EXPERIMENTAUX UTILISES

Nous avons analysé les résultats des tirs sur :

Mirage F1 : Oiseaux de masses diverses (0,5 à 1 kg)
dans la manche d'entrée d'air (1969-1970) : 12 tirs.

Mercure : Epreuve de définition de casquette de cabine vitrée
(1971) 7 tirs d'oiseau de 4 lb.

: Epreuve de casquette définitive (1973)
3 tirs d'oiseau de 4 lb .

Mystère 20: Epreuve de casquette (1976) 1 tir d'oiseau de 4 lb.

: Bord d'attaque voilure externe (1976) 6 tirs d'oiseau de 4 lb.

Falcon 10 : Empennages (1974) 4 tirs d'oiseau de 4 lb
(1975-1976) 2 tirs d'oiseau de 8 lb.

Bords d'attaque au C E A T (1971 à 1976) 41 tirs d'oiseau de 4 lb.

Ces tirs ont été faits à l'aide du canon Ø 150 pour les oiseaux de 4 lb
et en dessous et à l'aide du canon Ø 300 pour les oiseaux de 8 lb.

Les masses d'oiseaux tirées varient de 0,5 à 3,62 kg.

La planche 1 montre le schéma et les masses des emballages utilisées pour
projeter l'oiseau.

Les vitesses de tir entraînant des destructions ont varié de 90 à 330 m/s.

3. HYPOTHESES DE CONDUITE DE L'ANALYSE

Vu l'écart des masses et des vitesses et pour n'avoir qu'un seul paramètre relatif au tir, nous avons considéré l'énergie cinétique de la masse tirée ou de l'oiseau seul suivant les cas.

Dans les essais considérés, cette énergie cinétique varie de 7000 à 60000 joules. Pour analyser ces tirs nous avons fait les hypothèses simplificatives suivantes.

Hypothèse n°1

L'énergie cinétique de l'oiseau et de son enveloppe est uniformément répartie sur la surface du cercle ayant pour diamètre soit le diamètre du canon (oiseau de 4 lb) soit le diamètre du logement de l'oiseau dans le projectile (oiseau de 8 lb). C'est-à-dire que nous avons un flux d'énergie cinétique constant à la sortie du canon.

Hypothèse n°2

Les destructions observées (effets mécaniques du choc) sont dûes à la composante normale de l'énergie tombant sur la surface considérée.

Enfin, pour étendre les résultats de l'analyse, des structures essayées au C E A T, à l'avion lui-même en vol, nous faisons la 3ème hypothèse.

Hypothèse n°3

Les tirs du C E A T sont représentatifs de la réalité en vol.

Cette dernière hypothèse est liée en fait à la première et met en question le niveau du flux d'énergie cinétique auquel sont soumises les structures.

Nous pensons, par l'exemple d'un impact d'un gros oiseau (>4lb) à 450 kt vrai sur un bord d'attaque de MYSTERE 20, que les flux du C E A T sont forts et peut-être défavorables ; mais n'ayant pas d'éléments pour traiter cette question de niveau, nous ne reparlerons pas de ce problème qui reste à résoudre.

En revenant sur la première hypothèse de la constance de la répartition du flux d'énergie cinétique, nous dirons seulement qu'elle n'implique pas l'indépendance des énergies locales tombant sur la surface impactée.

On peut seulement dire, en observant le comportement de l'oiseau dans l'impact, que :

- a) si la matière de l'oiseau va dans toutes les directions, l'oiseau se comporte comme un fluide libre et on peut parler d'indépendance des énergies locales et en tirer les conséquences pour l'évaluation de l'énergie tombant sur une partie de la structure.
- b) si à l'impact la matière de l'oiseau ne peut revenir en arrière, on doit considérer qu'elle se partage suivant des plans parallèles à l'axe du canon et l'énergie cinétique correspondant à ce partage affecte successivement les parties de structure balayées dans le sens du mouvement de l'oiseau.

La définition des plans de partage dépend de la structure elle-même.

Sur une structure maillée ces plans seront ceux des éléments parallèles au plan contenant l'axe du canon et la normale à la surface au point d'impact de l'axe du canon. (voir pl .2)

Sur un dièdre et un bord d'attaque le plan de séparation de la matière de l'oiseau sera celui contenant le bord d'attaque et l'axe du canon.

L'hypothèse n°2 a été suggérée par le fait que dans les destructions observées, la matière de l'oiseau était rentrée à l'intérieur des structures, restant parfois collée sur les éléments ayant cédé ; d'où la considération d'énergie normale.

Cette hypothèse permet, de plus, d'utiliser les résultats de la mécanique rationnelle sur les percussions et la théorie classique des structures.

Elle suppose aussi qu'il n'y a pas frottement, l'énergie tangente étant simplement évacuée.

Ce qu'il faut voir c'est que l'utilisation du concept d'énergie cinétique normale reçue, permet, à partir de considérations géométriques simples, de relier entre eux des résultats de tirs où il n'y avait pas de mesures d'effort ou bien où on ne pouvait valablement les exploiter.

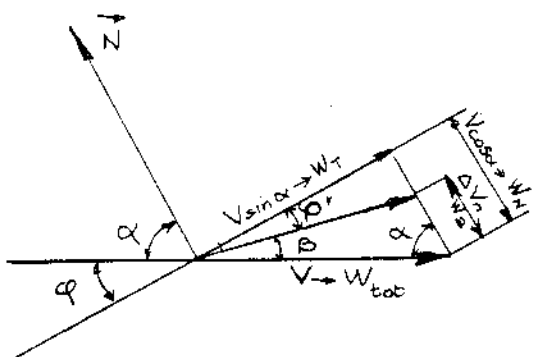
Cependant il faut dire aussi que nous n'avons jamais pu évaluer, par la structure elle-même l'énergie de destruction mise en jeu et la comparer à l'énergie reçue évaluée par les considérations géométriques.

L'effet d'augmentation apparente d'énergie normale est donc :

$$\left(\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} + 1 \right)$$

Enfin nous signalons la déviation de la trajectoire de l'oiseau après le choc quand il y a eu absorption d'énergie normale.

En appliquant le théorème de Carnot sur la percussion des corps inélastiques, nous avons pour un tir rasant et en supposant l'énergie tangente conservée, avec les notations du schéma ci-contre.



pour incidence rasante :

$$\beta = \sqrt{\frac{W_a}{W_{tot} - W_a}}$$

W_a énergie absorbée.

Pour une incidence de tir importante

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \alpha \sqrt{\frac{W_a}{W_N}}}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha - \sqrt{\frac{W_a}{W_N}}}$$

Cette déviation n'a été observée qu'une fois dans un tir sur radome et comme nous devons parfois considérer des impacts successifs, cette relation donnant les déviations de trajectoire est utile ; il faudrait donc la vérifier expérimentalement.

5. TIRS RASANTS SUR SURFACES

Toutes les structures dont nous avons analysé les tirs étaient en AU 4 G1.

C'étaient :

Surfaces convexes

- éprouvette cylindrique de définition de la casquette Mercure photo pl. 3
- casquette Mercure elle-même photo pl. 4
- casquette Mystère 20 photo pl. 5

Surfaces concaves

- éprouvette de manche à air de Mirage F1 photo pl. 6

Nous donnons pl. 7 en fonction de l'épaisseur, l'énergie normale tombant au point d'impact sur le plan tangent à surface. Lors des tirs, l'énergie normale = $(0,5 m V^2 \cos^2 \alpha \times \frac{\Omega^1}{S})$

est

évaluée conformément à l'hypothèse n°1 m étant la masse du projectile oiseau + emballage.

La figure supérieure donne les points des tirs sur l'éprouvette de définition de la casquette mercure, la casquette Mercure elle-même, la casquette du MY.20.

La figure inférieure donne les mêmes choses (énergie normale en fonction de l'épaisseur) pour la manche à air du F1. On voit que pour obtenir les destructions (points entourés d'un cercle) il faut beaucoup moins d'énergie que sur une surface convexe.

Cependant si on corrige l'énergie normale par le coefficient d'effet concentrateur calculé comme il est dit au paragraphe précédent, les points d'essais deviennent les triangles portés dans la figure supérieure.

Et l'on voit alors pour de la structure courante par exemple, que le plan est séparé par une droite au-dessus de laquelle les tirs amènent des destructions, au-dessous de laquelle la surface n'est pas perçée.

La droite a été choisie comme frontière en application du raisonnement suivant qui utilise la formule classique des contraintes dynamiques pour une poutre appuyée sur deux appuis distants de l et de module d'inertie I/v :

$$\sigma = \sqrt{\frac{6 W E v^2}{I l}}$$

Cette relation s'étend au cas d'une plaque longue dans le sens perpendiculaire à sa portée en faisant :

$$\tau = \frac{e^3}{12} \quad v = \frac{e}{2} \quad \text{et} \quad \sigma = \sqrt{\frac{18 W E}{l e}}$$

Si on choisit une contrainte de rupture σ_R négligeant le domaine plastique, on voit que l'énergie maximale avant destruction est :

$$\frac{W}{l e} = \frac{\sigma_R^2}{18 E} = \text{constante}$$

L'énergie maximale varie comme la portée l et l'épaisseur e .

D'où notre choix d'une droite pour séparer dans le plan les tirs bons et les tirs mauvais.

Dans le cas de structures courantes (points représentatifs notés par des points ou des triangles) nous avons hésité pour placer cette droite.

Ceci se traduit par la zone ombrée de la figure supérieure.

A la suite du tir sur la casquette MYSTERE 20 on peut proposer pour les tirs dans les mailles de structures courantes, structures constituées d'un revêtement mince ($e < 4$ mm) et de lisses et cadres en tôle pliée mince, la relation suivante pour l'énergie normale en-dessous de laquelle il n'y a pas destruction :

$$W_N = 1900 e \frac{l}{136}$$

W_N énergie normale en joules

e épaisseur de la maille (mm)

$\frac{l}{136}$ est un coefficient de correction de maille avec l (mm) plus petite dimension de la maille et 136 largeur des mailles sur l'éprouvette de référence.

Si on considère des impacts sur des mailles bordées par des membrures fortes (cadres usinés mécanique etc ...) les points repérés par des croix dans la figure supérieure conduisent à choisir une relation :

$$W_N = 3250 e \frac{l}{136}$$

avec les mêmes notations que précédemment.

6. TIRS SUR LES BORDS D'ATTAQUE

6.1 Bords d'attaque du FALCON 10

6.10 Introduction

Les tirs que nous avons considéré tout d'abord ont été les tirs sur les empennages du FALCON 10 (Photo pl. 8) soit 4 tirs d'oiseaux de 4 lb et 2 tirs d'oiseaux de 8 lb à des vitesses de l'ordre de 180 m/s (350 kts). Les empennages étaient munis d'un appareillage extensométrique destiné à mesurer la force d'impact.

Disons tout de suite qu'il n'a pas été possible d'exploiter les mesures sur les 5 premiers tirs. Par contre, pour le dernier tir, où les empennages étaient montés sur une balance, nous avons pu avoir une valeur de la force d'impact.

Nous avons fait cependant les constatations suivantes :

Les destructions produites par l'oiseau restent locales. Les attaches d'empennages, dans les tirs en extrémité de plan où du fait des bras de levier on aurait pu craindre des destructions, ne souffrent pas.

Les dégâts commis par un oiseau de 8 lb ne sont pas plus graves que ceux d'un oiseau de 4 lb.

Enfin nous retrouvions, après les tirs d'oiseaux de 8 lb, sur le mur vertical derrière l'empennage deux taches de matière d'oiseau qui montraient à l'évidence que toute la masse de l'oiseau n'avait pas été prise par le bord d'attaque et que ce fait pouvait peut être expliquer la constatation précédente sur les dégâts.

6.11 Dépouillement des tirs de l'oiseau de 8 lb - Energie cinétique captée par le bord d'attaque

La géométrie et la position des taches nous a donné un moyen de déterminer la quantité de matière qui était allée sur le mur. Le dessin planche 9 montre le phénomène observé et donne le schéma d'exploitation. On fait les hypothèses suivantes :

1) Le tir se faisant dans le plan des cordes de l'empennage horizontal qui a des profils symétriques, l'oiseau se découpe en tranches parallèles à ce plan.

2) Les points extrêmes des taches sur le mur proviennent des points extrêmes dans le canon de la matière non captée.

3) La matière de l'oiseau est répartie dans le cylindre qui est son logement dans le projectile.

Le diamètre de ce logement est :

$$\varnothing = 240 \text{ mm (tir n°5)}$$

$$\varnothing = 180 \text{ mm (tir n°7 - 6ème tir)}$$

L'examen des taches nous fait considérer deux choses :

L'écartement des taches nous indique une déviation de la matière de l'oiseau. Les dimensions de chaque tache nous font considérer l'éclatement de l'oiseau que nous appellerons la décohésion.

Ces deux notions : déviation, décohésion sont caractérisées par des angles. Ces deux angles nous permettent, moyennant deux autres hypothèses complémentaires de calculer la quantité de matière de l'oiseau qui a intéressé le bord d'attaque. Les équations de définition sont données dans le tableau n°1 .

a) Utilisation de la décohésion

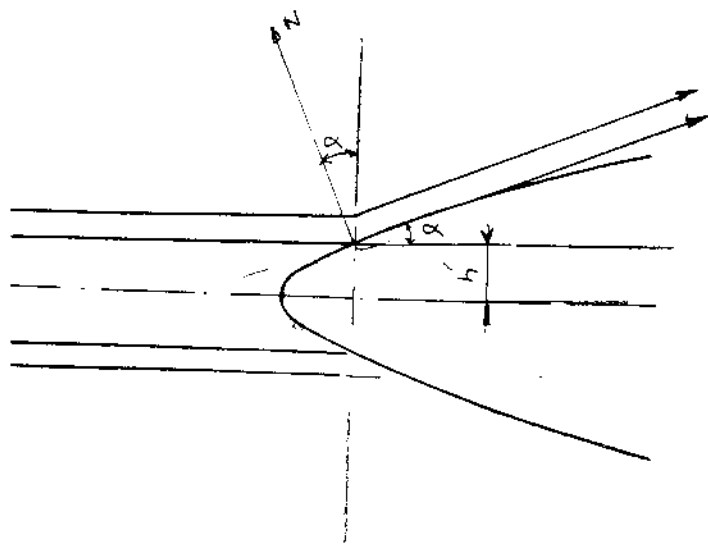
On fait l'hypothèse que pour chaque tache séparément la décohésion dans le plan vertical est la même que dans le plan horizontal. En écrivant de plus que les points B. A. B sont sur le même segment de cercle, nous obtenons, pour chaque tache, deux relations qui nous permettent de calculer la hauteur h' de matière captée et l'angle de décohésion δ .

Dans les calculs faits pour chacun des tirs séparément les dimensions des taches nous ont donné numériquement la même équation pour la décohésion.

Par contre, les équations étaient différentes du tir n°5 au tir n°7.

b) Utilisation de la déviation

La déviation nous donne un angle.



Et si, nous faisons l'hypothèse que la matière d'oiseau trouvée sur le mur a glissé avant décohésion sur le plan tangent, au profil ayant pour pente l'angle de déviation, nous obtenons directement sur le profil une valeur de la hauteur h' de la matière intéressant le bord d'attaque.

L'évaluation de la déviation s'effectue en considérant l'écartement des taches sur le mur et en tenant compte de l'angle de décohesion.

On évalue une déviation maximale donnée par les points A A' du schéma sur le mur une déviation minimale donnée par les points B, B'1.

La moyenne nous fournit la déviation et la hauteur h'.

Cette évaluation permet en outre de choisir la décohesion, car le fait d'écrire que les points extrêmes appartenaient au départ au contour d'un segment de cercle conduisait à deux solutions pour la hauteur de ce segment.

Le tableau n° 2 donne les données numériques, les valeurs des angles de déviation, de décohesion, les hauteurs de matière trouvées.

Si nous considérons les angles de déviation obtenus, l'énergie normale déviée est de l'ordre de 1,5 à 2,5% de l'énergie cinétique incidente.

Le tableau n° 2 donne les énergies captées par le bord d'attaque.

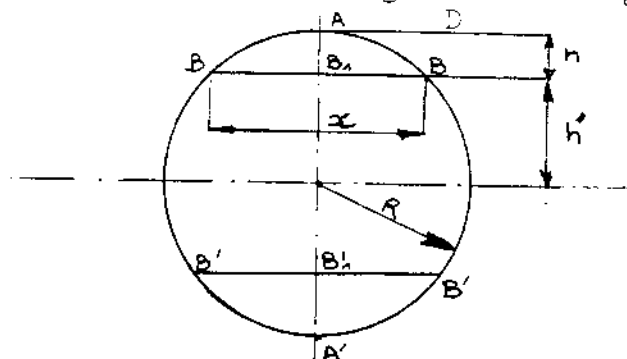
Si on admet l'angle de déviation 7° (qui donne les plus grandes hauteurs de matière) et que l'on applique cette méthode aux tirs de l'oiseau de 4 lb on obtient en énergie captée de l'oiseau + l'emballage, les valeurs ci-après :

tir n° 2	20 652 joules
n° 4	14 044 joules
n° 3	9 164 joules

TABLEAU N° 1

EQUATIONS DE DEFINITION1°) DECOHESION

$$(1) \delta = \text{Arc tg} \frac{L - x}{D} = \text{Arc tg} \frac{H - h}{D}$$



$$(2) (R - h)^2 + \frac{x^2}{4} = R^2$$

2°) DEVIATION

Déviatiun appariiente maxi (points A A')

$$2 \alpha'_{\max} = \text{Arc tg} \frac{H_s + H_o + H_i - \phi_o}{D}$$

Déviatiun maximale vraie :

$$2 \alpha_{\max} = 2 \alpha'_{\max} - \delta$$

Déviatiun minimale appariiente (B₁ B'₁)

$$2 \alpha'_{\min} = \frac{H_o - h'}{D}$$

Déviatiun minimale vraie

$$2 \alpha_{\min} = 2 \alpha'_{\min} + \delta$$

TABLEAU N°2

	(en mm)	Tir n°5	Tir n°7
Hauteur tache supérieure	H_s	500	1530
Largeur tache supérieure	L_s	650	1600
Hauteur tache inférieure	H_i	1450	1570
Largeur tache inférieure	L_i	950	800
Diamètre oiseau	$\phi_o = 2R$	280	160
Distance entre taches	H_o	800	730
Distance du B.A au mur	D	7700	7630
Angle de décohesion	δ	$4^\circ, 2$	8°
Angle de déviation moyen	α	$6^\circ, 9$	$9^\circ, 2$
Niveau de matière interceptée :			
par décohesion	$2h'$	116	60
par déviation	$2h''$	98	56,4
vitesse oiseau (m/s)		176	196
poids oiseau (kg)		3,6	3,1
énergie cinétique de l'oiseau (joules)		55756	59544
énergie oiseau captée			
par décohesion		28545	27748
par déviation		24329	26160

.../...

6.12 Evaluation de la force d'impact

Bien que cette force n'ait pas montré d'effets destructifs aux endroits où elle aurait dû être amplifiée (attaches d'empennage horizontal) nous avons tenté une évaluation par la relation donnée au paragraphe 4.

$$\frac{1}{2} m V^2 = F \left(L + \frac{\lambda'}{2} \right)$$

λ' longueur de l'oiseau

L longueur des destructions dans le sens du tir (longueur d'arrêt de l'oiseau).

Cette évaluation qui avait pour but d'obtenir des valeurs de contraintes de destruction a surtout servi, par comparaison avec la pesée faite au tir n°7, à déterminer s'il fallait ou non compter l'emballage dans l'énergie reçue.

Pour ce tir la pesée nous a donné un effort horizontal de 2989 daN.

Le calcul de la force d'impact a donné les résultats suivants :

Par la décohésion oiseau seul	3384 daN
Par la déviation oiseau seul	3190 daN
Par la décohésion oiseau et emballage	3828 daN
Par la déviation oiseau + emballage	3608 daN

D'où le résultat le plus proche de la pesée est celui calculé à partir de l'oiseau seul et la déviation (3190 daN).

Le Tableau n°3 donne les forces d'impact évaluées dans les tirs n°3-4-5-7 où les dégâts ont été importants.

TABLEAU N° 3

Tir n°	Energie oiseau captée (Joules)	longueur oiseau l' (m)	Longueur arrêt (m)	F _{daN}	A _(mm²)	F/A daN/mm ²	W/A Joules/mm
3 (4lb)	9164	0,225	0,635	1220	1600	0,762	5,72
4 (4lb)	14044	0,225	0,465	2415	1180	2,05	11,90
5 (3lb)	24329 x(2/3) =16219	0,260	0,450	2796	1290	2,17	12,57
7 (8lb)	26180	0,32	0,660	3191	1522	2,096	17,19

Nota

Le coefficient 2/3 appliqué au calcul de l'énergie du tir n°5 correspond à la matière prise par la zone détruite : le long de l'envergure 1/3 de la masse captée est tombée sur une structure solide 2/3 sur de la structure courante seule ici considérée et identique à la structure en cause des tirs 4 et 7.

5.13 Contraintes de destruction - énergie de destruction

Le schéma des destructions sur l'empennage horizontal est donné pl.10 figure supérieure.

Les sections détruites semblent cisailées.

Si nous comptons, l'aire de matière A détruite, comme indiqué à la planche 10 figure supérieure, en divisant la force d'impact par cette aire, on obtient les contraintes données dans l'avant dernière colonne du tableau n°3.

On s'aperçoit qu'elles ne sont pas les mêmes suivant le type de structure. Elles sont de $2,1 \text{ daN/mm}^2$ sur une structure de type caisson et de $0,8 \text{ daN/mm}^2$ sur la carène (tir n°3) qui est une structure plus légère.

Cette valeur de contrainte ne ressemble à rien de connu pour de l'AU 4 G1.

Si on considère l'énergie rapportée à cette section détruite, nous obtenons en moyenne 13,88 soit 14 Joules/mm^2 on est là encore loin de la résilience de l'AU 4 G1 : $0,1 \text{ joule/mm}^2$.

Si on admet que le tir n°3 sur carène est un résultat singulier on a recherché si on retrouvait cette valeur de 14 joules/mm^2 de section détruite sur les bords d'attaque de voilure du MYSTERE 20 et à la demande du STAé sur les tirs sur les bords d'attaque du CEAT.

6.2 Tirs sur bord d'attaque du MYSTERE 20

Six tirs d'oiseau de 4 lb ont été effectués en 1976 sur un bord d'attaque de voilure externe du MYSTERE 20.

Cette voilure est munie de becs basculants qui étaient en position rentrée.

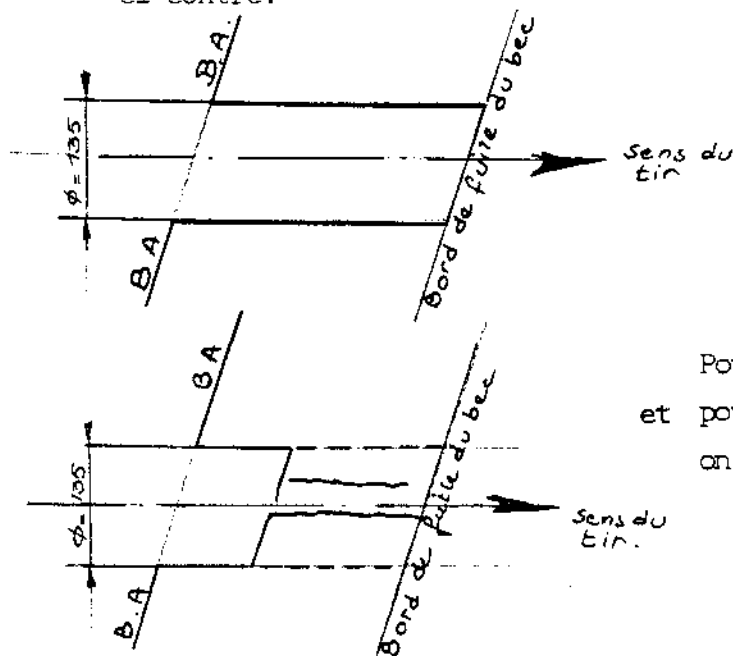
Le montage d'essai est donné par les photos N6 1856 et N6 1860 planche 11 .

Seuls les tirs 1-2-3-6 sont valables. Dans les tirs 4 et 5 l'oiseau n'a pas touché le bord d'attaque.

Les destructions des tirs :

n° 6 et n° 3

ressemblent à celles de l'empennage du FALCON 10. On a sensiblement le schéma ci-contre.



Pour le tir n°1
et pour le tir n°2
on aurait plutôt le schéma ci-contre.

Cependant comme le montre le tir n°3 il semble que ce schéma de rupture ne soit pas fondamentalement différent de celui de l'empennage du FALCON 10 et nous avons compté la section détruite en supposant que, même dans ces deux cas, la destruction était semblable à celle de l'empennage du FALCON 10. Le tableau n° 4 donne les sections détruites et l'énergie captée qui est ici toute l'énergie de l'oiseau.

On voit qu'en moyenne nous retrouvons $14,25 \text{ joules/mm}^2$ ce qui se rapproche de la valeur trouvée pour l'empennage horizontal du FALCON 10 ($13,88 \text{ joules/mm}^2$).

MYSTÈRE 20 TIPS SUR BORD D'ATTAQUE EXTÉRIEURE VOILURE

Tir n°	1	2	3	4	5	6
Distance à partir du fence le long du R.A. vers extrémité.	900	1730	3000	3960	(tir en 4) 3960	4500
Poids oiseau (kg)	1,84	1,98	1,95	1,84	(1,8 ?)	1,85
Vitesse (m/s)	180	178	196	220	205	233
Dégâts	Tôle extérieure e=2 + 0,8 (mm)	déchiré	déchiré	déformé	Les dégâts n'ont pas été aggravés.	déchiré
	Tôle intérieure e=0,5 (mm)	déchiré	déchiré	déformé		déchiré
	Longeron bec e=2 (mm)	cassé	déformé	intact		déchiré
	Tôle intrados bec e=1,6 (mm)	déchiré	déformé	intact		déchiré
	Tôle de bec fixe e=1,2 (mm)	déformé	déformé très légèrement.	intact		déchiré
Energie (joules)	Ame longeron avant aile e = 1,9 (mm)	intact	intact	intact		cassé
		29808	31367	44528		50217
	Surface détruite (cm ²) (2 x A/2)	33,80	20,40	Tir non valable	Tir non valable	38,92
Energie/cm ²	898	1537	1971			1293

.../...

6.3 Tirs sur les bords d'attaque du C E A T

Cette valeur de 14 joules/mm^2 de section détruite se retrouvant dans deux séries d'essais, le STAÉ nous a demandé d'analyser les essais faits sur les bords d'attaque du CEAT.

L'examen de la forme du bord d'attaque montre, par la considération du plan tangent à 7° que toute l'énergie cinétique de l'oiseau est prise par le bord d'attaque, sauf pour le rayon 20 mm (tirs 13 et 14) où 96% de l'énergie est captée.

Il semble d'autre part que la rupture commençante caractéristique soit donnée par les photos M3 1484 et M3 1485^(p1.12), ce qui nous a fait choisir comme section détruite l'intersection du cylindre oiseau avec le bord d'attaque voir schéma inférieur de la planche n°10.

Les tirs où il y a eu destruction sont rassemblés dans le tableau suivant n° 5.

Dans ce tableau S_1 est la section du revêtement comme il est dit plus haut $S_1 + S_2$ la section du revêtement et du conduit de bord d'attaque.

Pour les 17 cas considérés la moyenne $\frac{W}{S_1}$ s'établit à $14,06 \text{ joules par mm}^2$ si on retire les 4 cas où il y a eu destruction du bord d'attaque

(21 - 22 - 12 - 4D) dont la moyenne s'établit à $\frac{W}{S_1 + S_2} = 13,3 \text{ joules/mm}^2$

la moyenne des 12 cas s'établit à $12,5 \text{ joules/mm}^2$.

Donc l'énergie de destruction pour les becs du CEAT s'établirait vers $13 \text{ joules par mm}^2$.

Si on considère les limites de pénétration donnée sur la planche 3 du document CEAT, on obtient sur 11 cas la moyenne de $\frac{W}{S_1} = 10,5 \text{ joules/mm}^2$.

.../...

TABLEAU IV

Tir n°	Masse oiseau (kg)	V (m/s)	W (Noules)	S_1 (mm ²)	W/S ₁	S ₁ + S ₂ (mm ²)	W/(S ₁ + S ₂)
20	1,9	90	8219	711	11,5		
21	1,86	140	15328	721	25,6	1159	15,7
18	1,9	90	7791	729	10,55		
22	1,91	160	17306	728	35,53	1977	13,1
7	1,88	100	10025	906	11,06		
Plaque	1,8	117	11611	1132	12,82		
3	1,8	140	13715	1416	12,82		
CEAT	1,8	150	17757	1398	11,92		
14	1,83	126	13839	1277	10,86		
13	1,83	137	15614	1277	12,53		
5	1,87	100	1175	1371	10,76		
9	1,82	110	13717	1364	11,63		
12	1,89	140	1794	1191	16,67	1407	14,3
2(B)	1,78	75	7731	531	7,07		
1(A)	1,78	100	13011	531	10,2		
4(D)	1,81	110	1171	511	24,15	1309	10,06
24	1,81	110	11714	511	13,09		
Moyenne					14,06		13,3

6.4 Bords d'attaque du CEAT avec fendoirs

Nous avons deux tirs de bord d'attaque avec fendoir où le fendoir a été déchiré, le bord d'attaque étant détruit.

Tir n°	m (kg)	V (m/s)	W (joules)	S(détruite)	W/S
30	1,93	155	23184	1689	13,72
34	1,8	170	26010	1689	15,40
				moyenne	14,56

S détruite est égale à

section du bord d'attaque	453 mm ²
section du canal	128 mm ²
section du fendoir	1108 mm ²
Total	1689 mm ²

Donc les bords d'attaque avec fendoir se rapprochent des résultats FALCON 10 et MYSTERE 20.

6.5 Conclusion des analyses sur les bords d'attaque

Il semble donc que pour les bords d'attaque en AU 4 G1 en évaluant la section détruite comme indiqué sur la planche n°10, la valeur de 14 joules/mm² puisse donner la grandeur de l'énergie cinétique d'oiseau détruisant le bord d'attaque.

Si on prend 10 joules par mm² on est sûr de ne pas avoir de pénétration.

7. RETOUR A LA CASQUETTE MERCURE

En rapprochant les empochements faits par l'oiseau dans la casquette Mercure (planches 13 - 14)

avec ceux dans les bords d'attaque du CEAT (voir pl.12) il est tentant d'évaluer l'énergie par unité de surface d'intersection du cylindre contenant l'oiseau avec la casquette.

En remplaçant la casquette par son plan tangent ceci revient à déterminer la longueur ℓ de l'ellipse d'intersection.

Nous évaluons donc $\frac{W}{\ell e}$ (e épaisseur de casquette)

La relation de rupture donnée au paragraphe 5: $\frac{W}{e} = 1900$ nous donne :

$$\frac{W}{\ell e} = \frac{1900}{4 R I_2 \cos \theta} = \frac{7,037}{I_2 \cos \theta}$$

avec R rayon de l'oiseau 67,5 mm

I_2 intégrale elliptique de 2^e espèce

θ angle de la normale à la surface avec l'axe de tir

Les tirs sur la casquette Mercure ayant été faits avec des angles variant de 60 à 70° nous avons :

$$\begin{aligned} \theta = 60^\circ & \quad W/\ell e = 11,62 \text{ joules/mm}^2 \\ \theta = 65^\circ & \quad W/\ell e = 14,307 \text{ joules/mm}^2 \\ \theta = 70^\circ & \quad W/\ell e = 18,39 \text{ joules/mm}^2 \end{aligned}$$

Ces valeurs sont à rapprocher de la valeur 14 joules par mm^2 obtenue pour les bords d'attaque.

Cependant on doit signaler que près d'une membrure forte il faudrait multiplier

$$\text{par } \frac{3250}{1900} = 1,71$$

ce qui donnerait pour $\theta = 65^\circ$ des valeurs de 24,5 joules/ mm^2 rarement observées.

8. CONCLUSIONS

De nos investigations il semble que la considération de l'énergie cinétique de l'oiseau pendant l'impact

soit par sa valeur sur la normale à la surface dans les tirs rasants

soit par la notion d'énergie captée pour les bords d'attaque

fournit un critère qui nous permet de prévoir les destructions et par là même concevoir des structures qui tiendront l'impact.

Pour déterminer l'énergie captée il semble que l'on puisse prendre une masse d'oiseau définie par une hauteur correspondante à un plan tangent au profil incliné de 7° sur la direction du tir.

Ce résultat est à rapprocher de l'exigence de la FAR qui exclut du tir à l'oiseau les glaces inclinées à 15° sur la vitesse.

Les sections à considérer pour appliquer le critère (de 14 joules/mm^2 ou 10 joules/mm^2) sont l'intersection du cylindre oiseau ainsi défini avec la structure considérée.

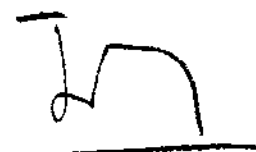
Cependant pour que cette notion d'énergie soit plus fructueuse encore, il faudrait :

1°) Vérifier expérimentalement, sur plusieurs cas, la déviation de trajectoire prévue après franchissement d'une peau.

2°) Obtenir et analyser des destructions considérables en tirs rasants.

3°) Accumuler des résultats d'essais tant sur les alliages d'aluminium que sur d'autres matériaux (Titane, Aciers) pour préciser les chiffres donnés.

4°) Essayer de rattacher ces résultats à des propriétés usuellement connues des matériaux.



J. BESSE

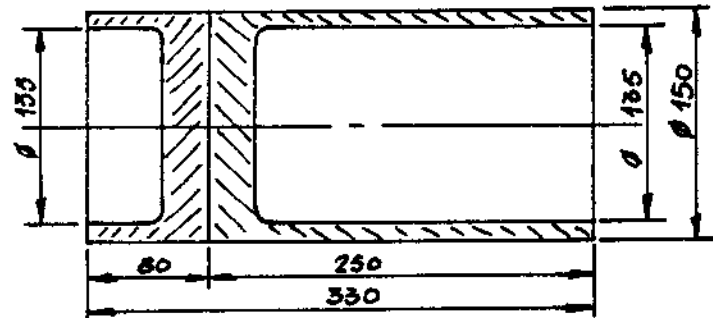
AVIONS MARCEL DASSAULT - BREGUET AVIATION

P L A N C H E S

DTM-6103/78

EMBALLAGES POUR TIRS D'OISEAUX

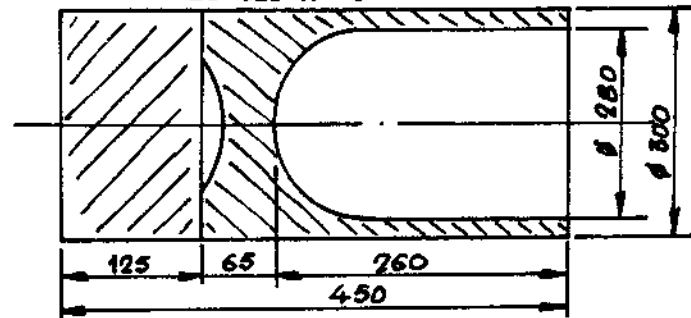
Emballage pour
canon $\varnothing = 150$ mm



Masse emballage 180 g $\pm$ 15 g

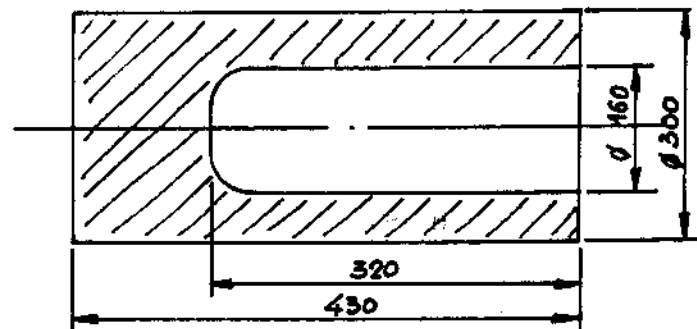
Emballage pour
canon $\varnothing = 300$ mm
Masse emballage 850 g

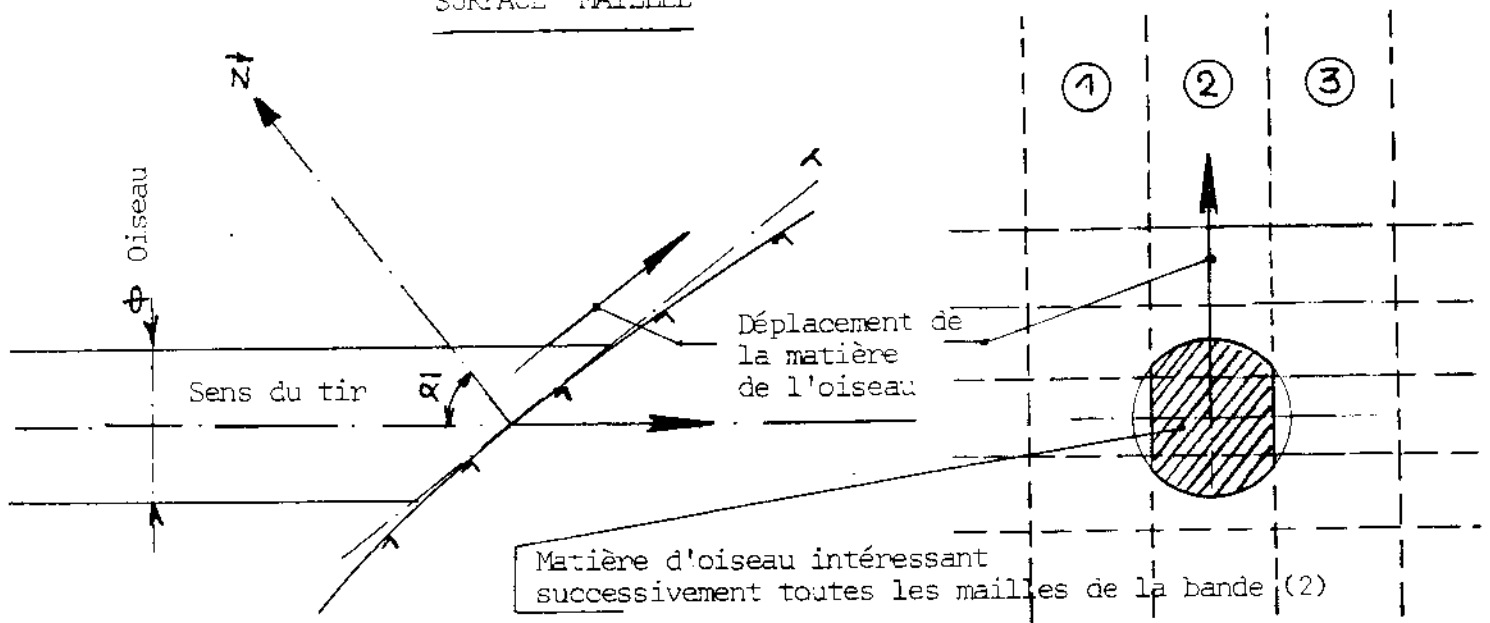
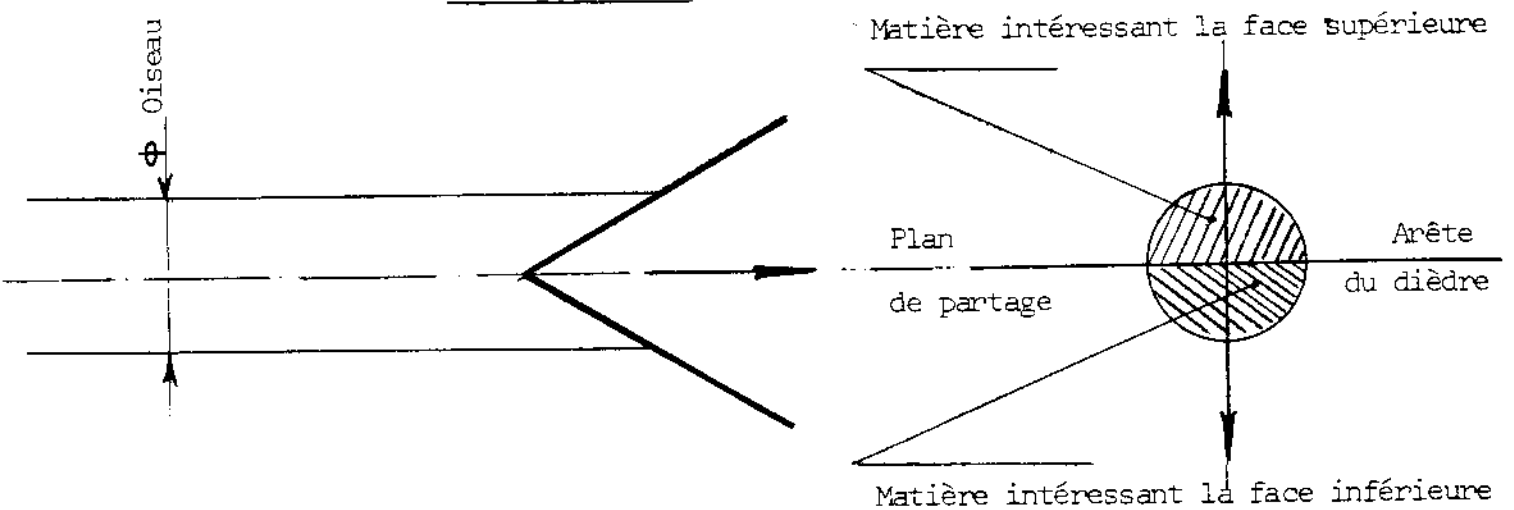
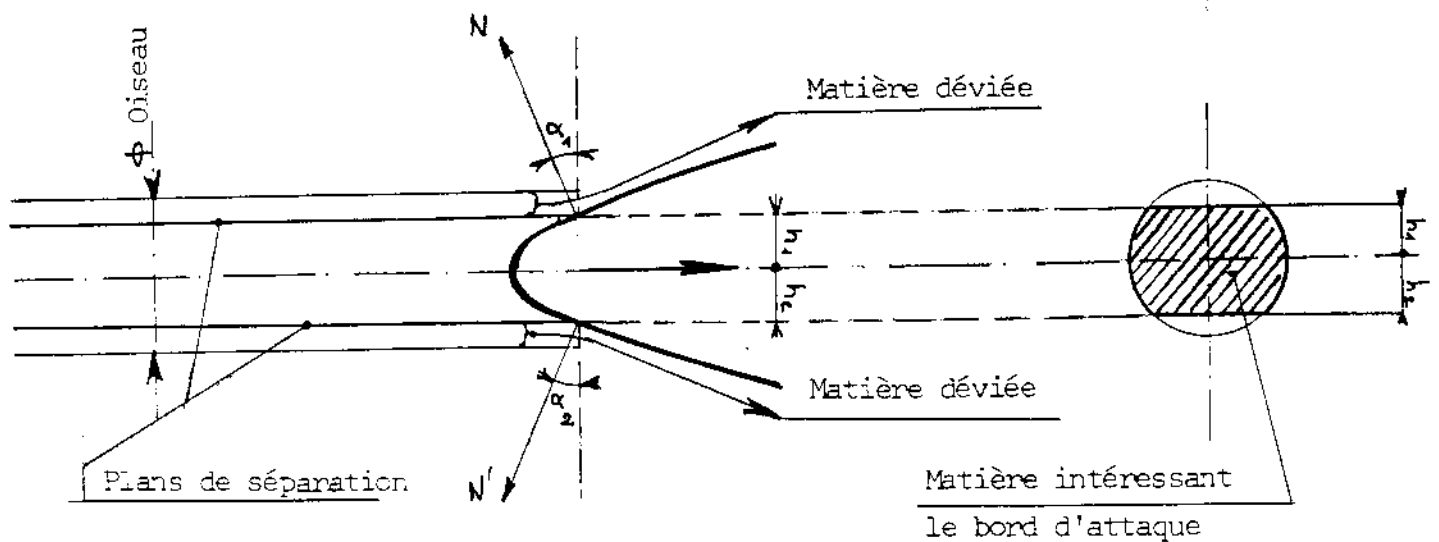
Emballage expérimental utilisé pour
le tir n° 5



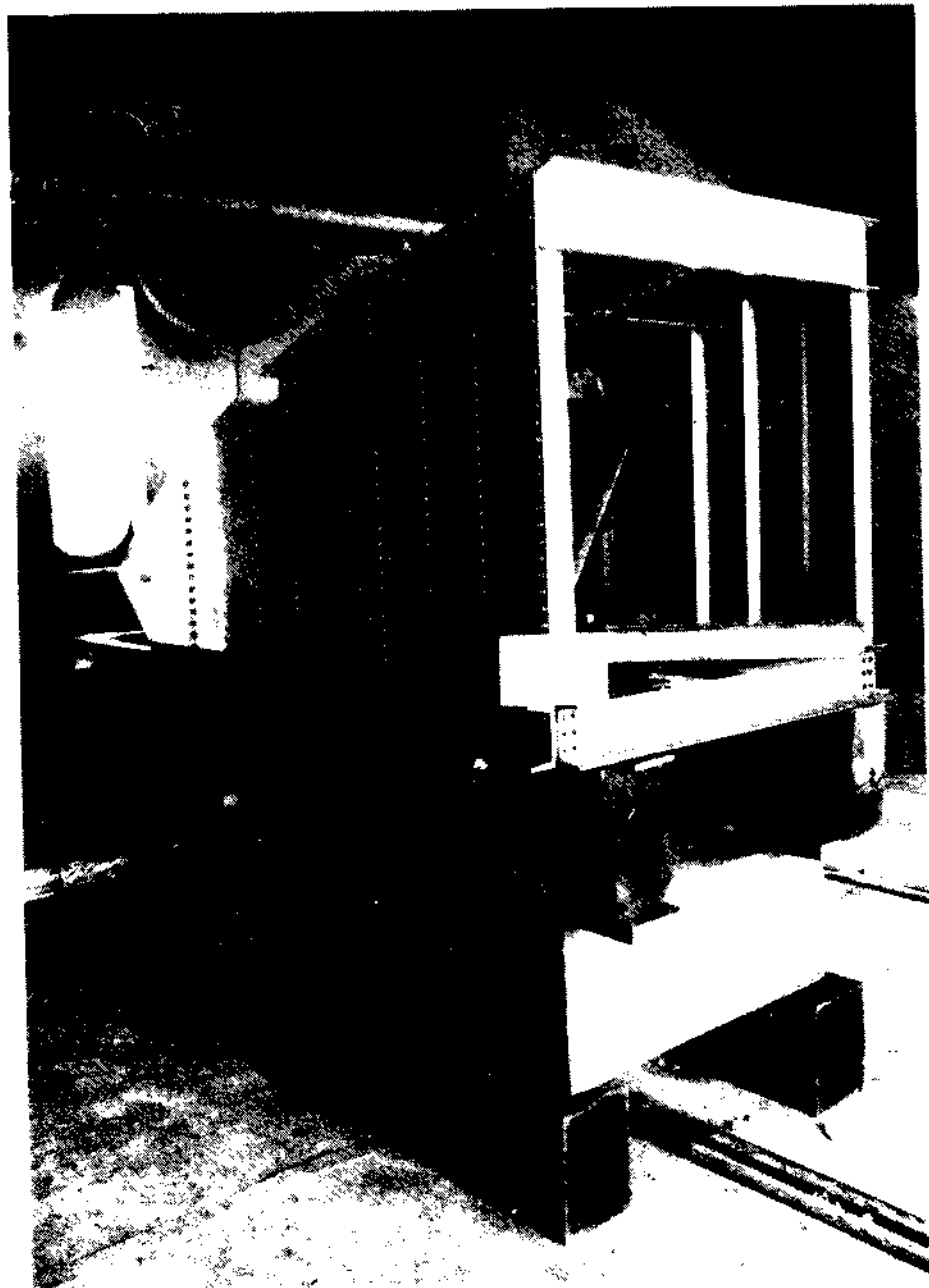
Emballage utilisé pour le tir n° 7

Emballage pour
canon $\varnothing = 300$ mm
Masse emballage 800 g

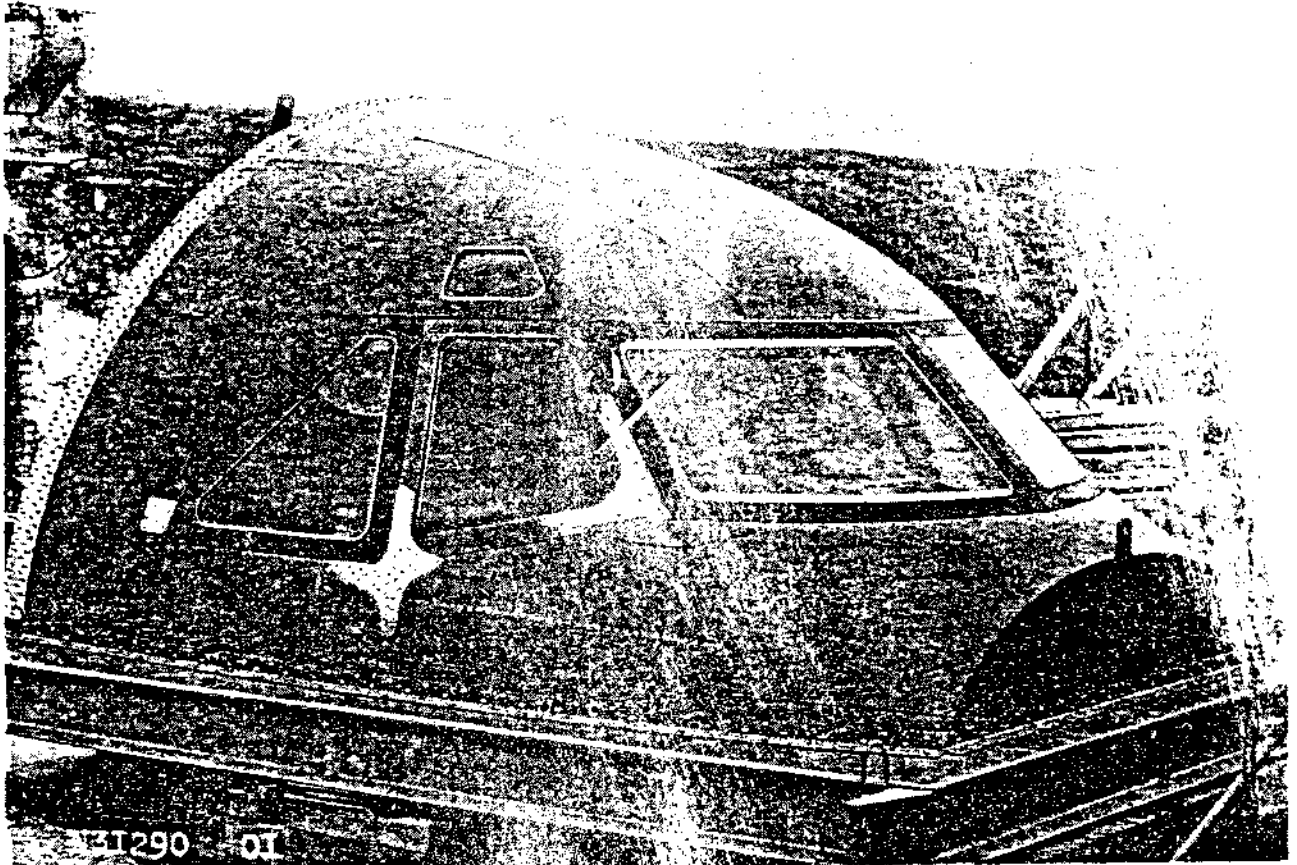


SURFACE MAILLEECAS D'UN DIEDRECAS D'UN BORD D'ATTAQUE

ELEMENTS DE CASQUETTE MERCURE

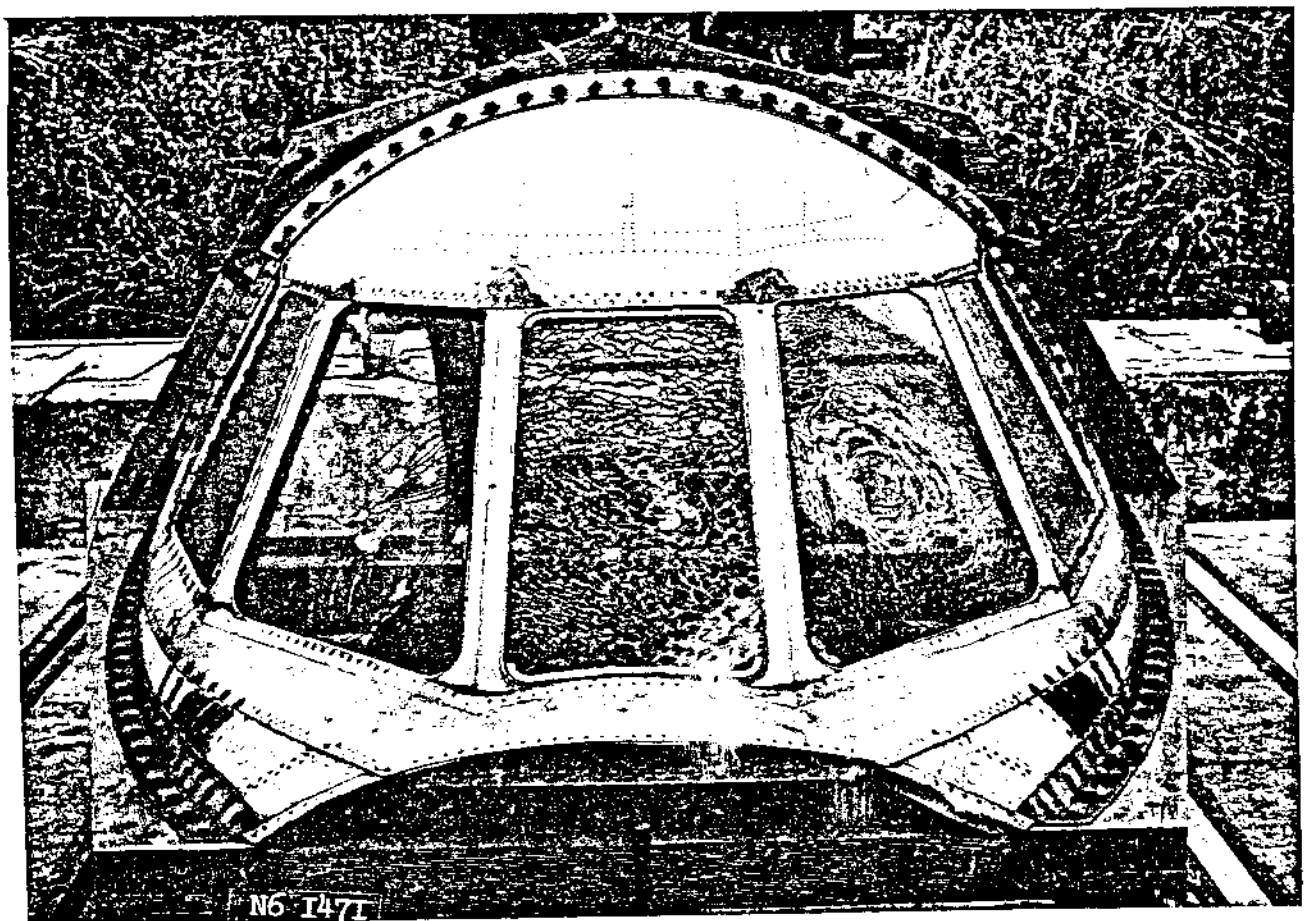


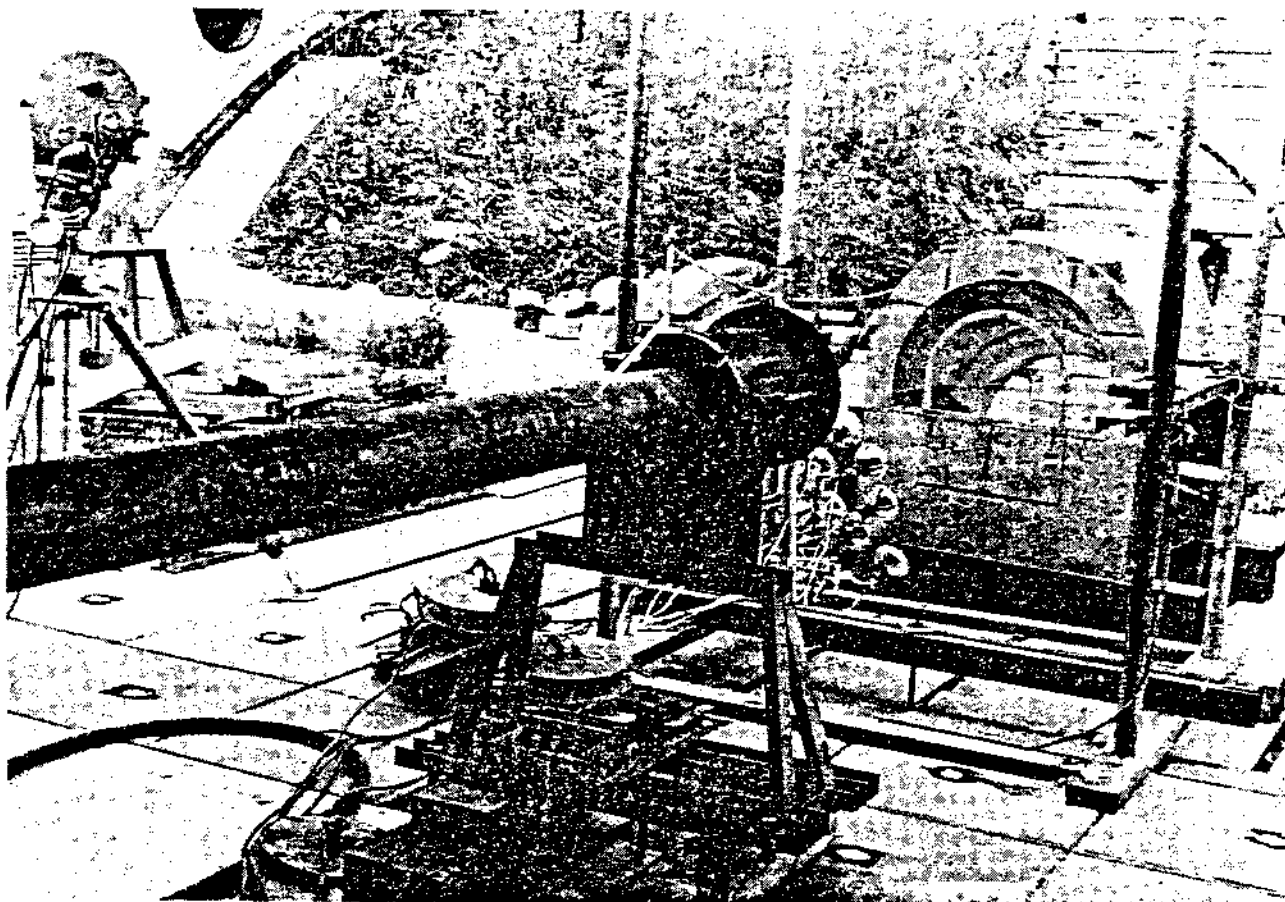
VUE D'ENSEMBLE DU MONTAGE D'ESSAI



REPRODUCTION F 739 AC

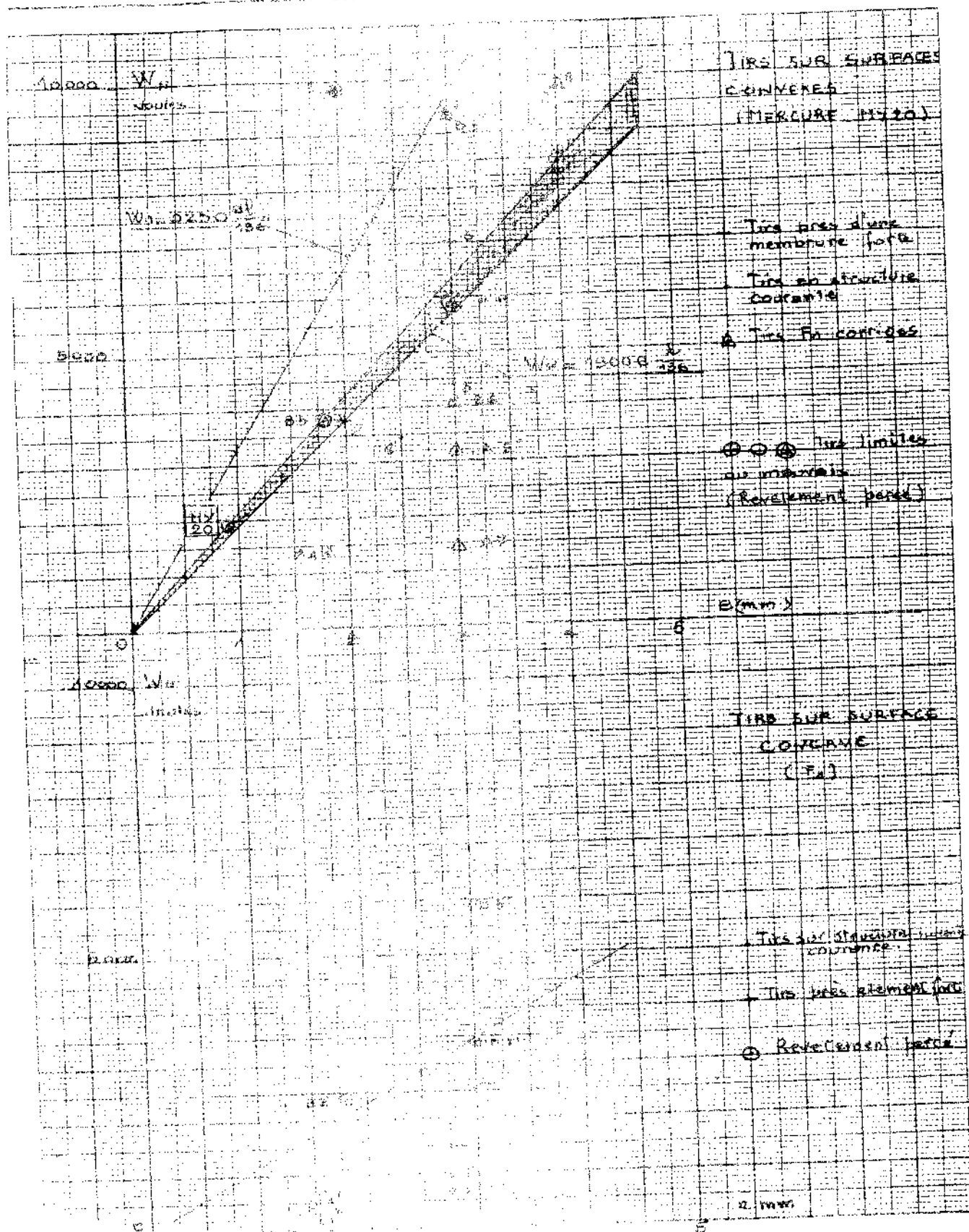
CABINE VITREE MYSTERE 20



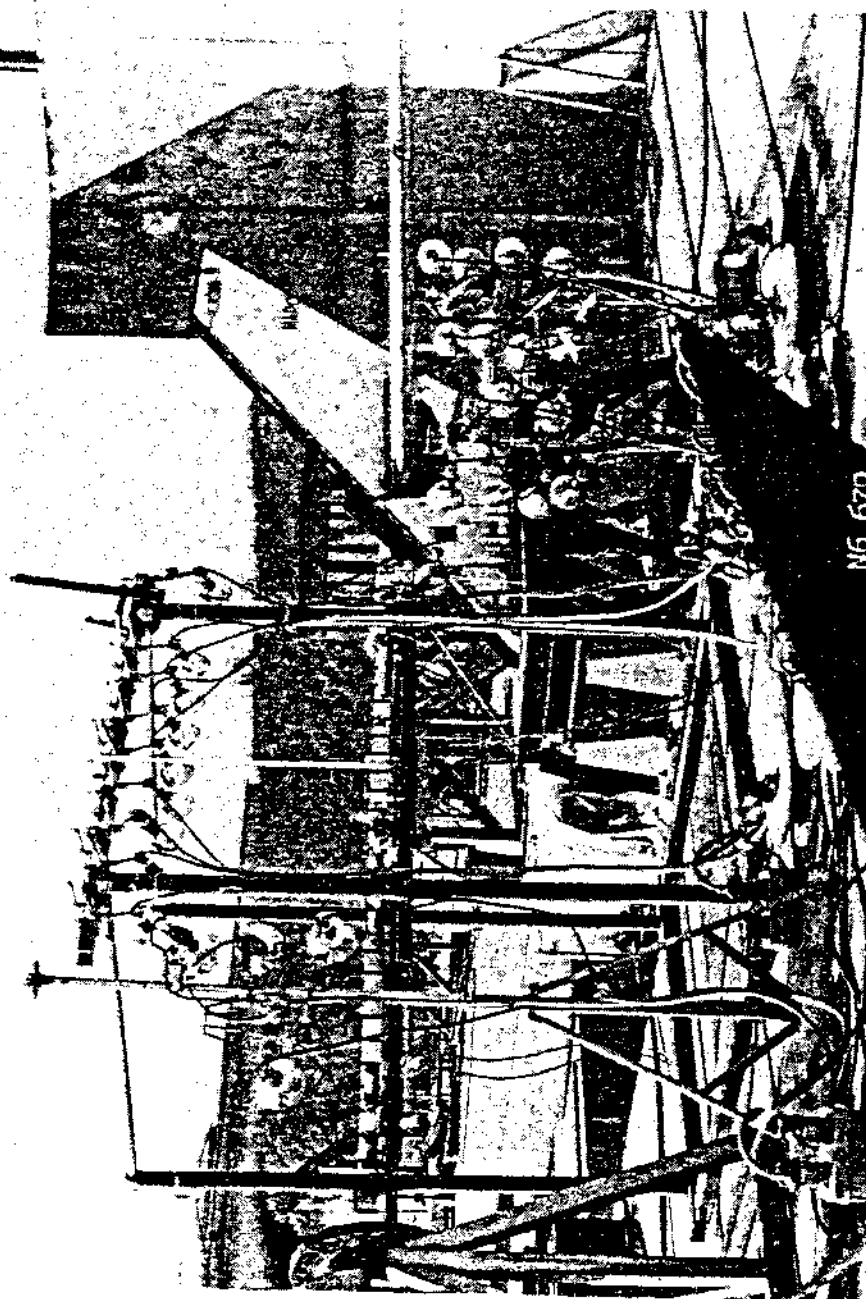


ENTREE D'AIR MIRAGE F 1

Montage d'essai

[illegible][illegible]

FALCON 40 Empennage complet

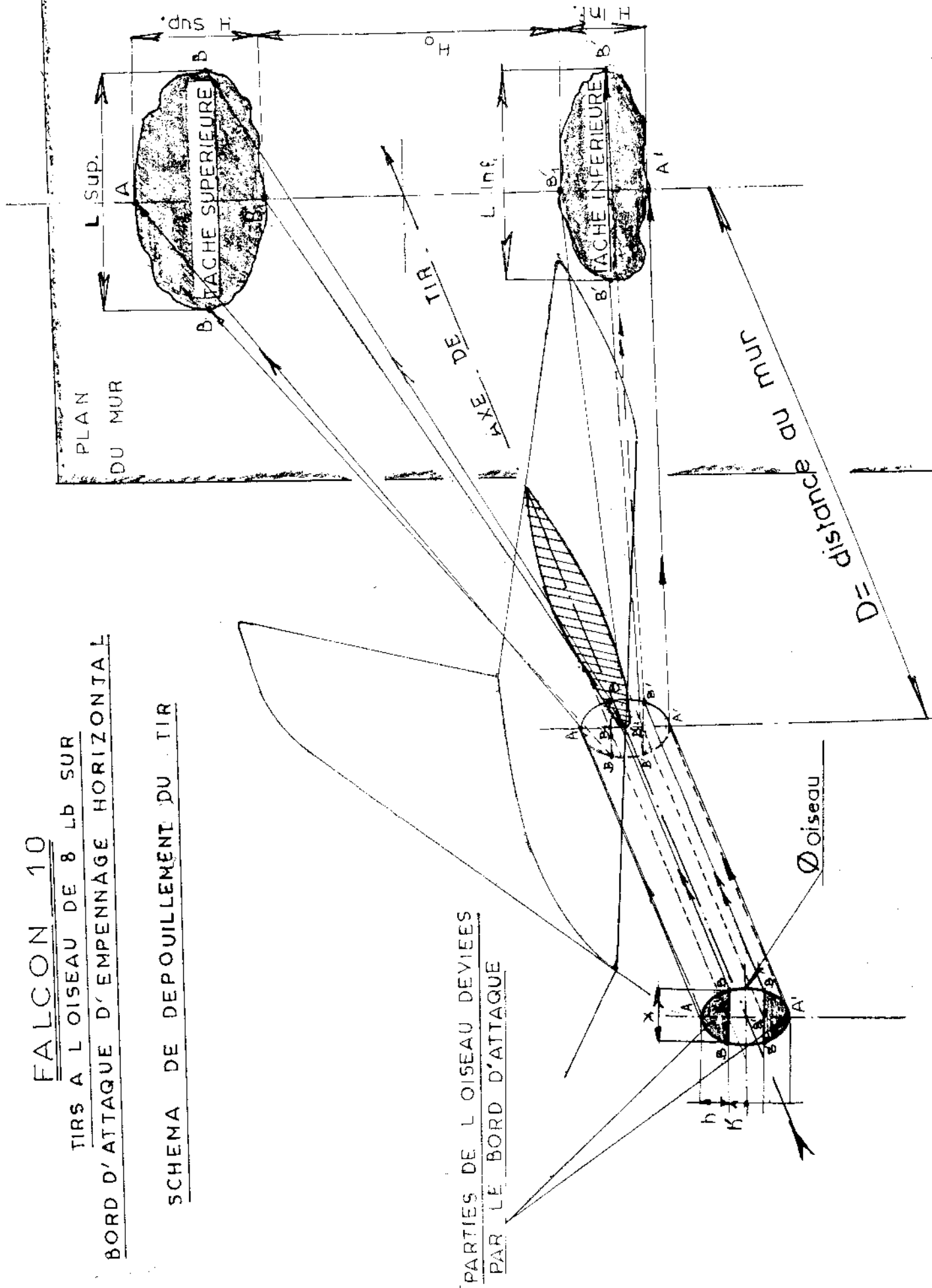


CEAT - REPRODUCTION F. 239 AC

FALCON 10

TIRS A L'OISEAU DE 8 LB SUR
BORD D'ATTAQUE D'EMPENNAGE HORIZONTAL

SCHEMA DE DEPOUILLEMENT DU TIR



PARTIES DE L'OISEAU DEVIEES
PAR LE BORD D'ATTAQUE

BORDS D'ATTAQUE

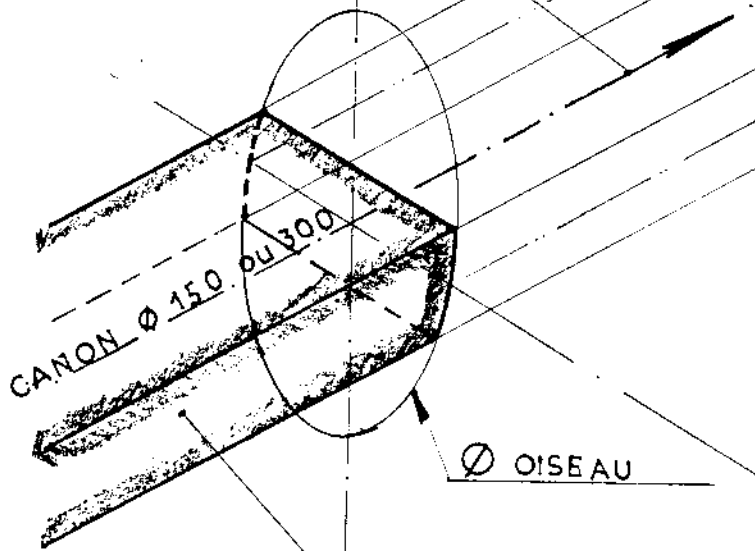
DTM-6103/78

Planche 10

FALCON 10 ET MYSTERE 20

ZONE PLIEE OU FIN DE B.A.
NON UTILISEE DANS CALCULS

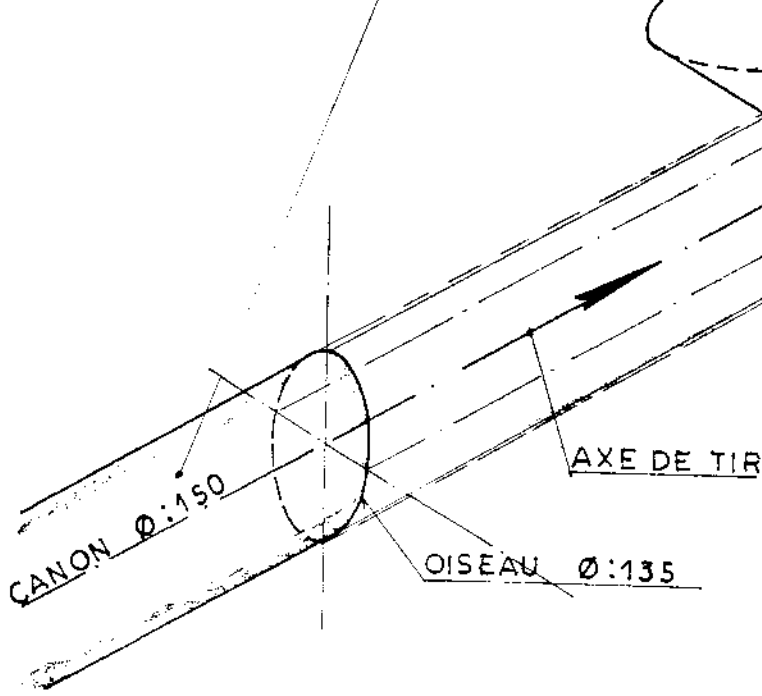
AXE DE TIR



SECTION UTILISEE DANS CALCULS

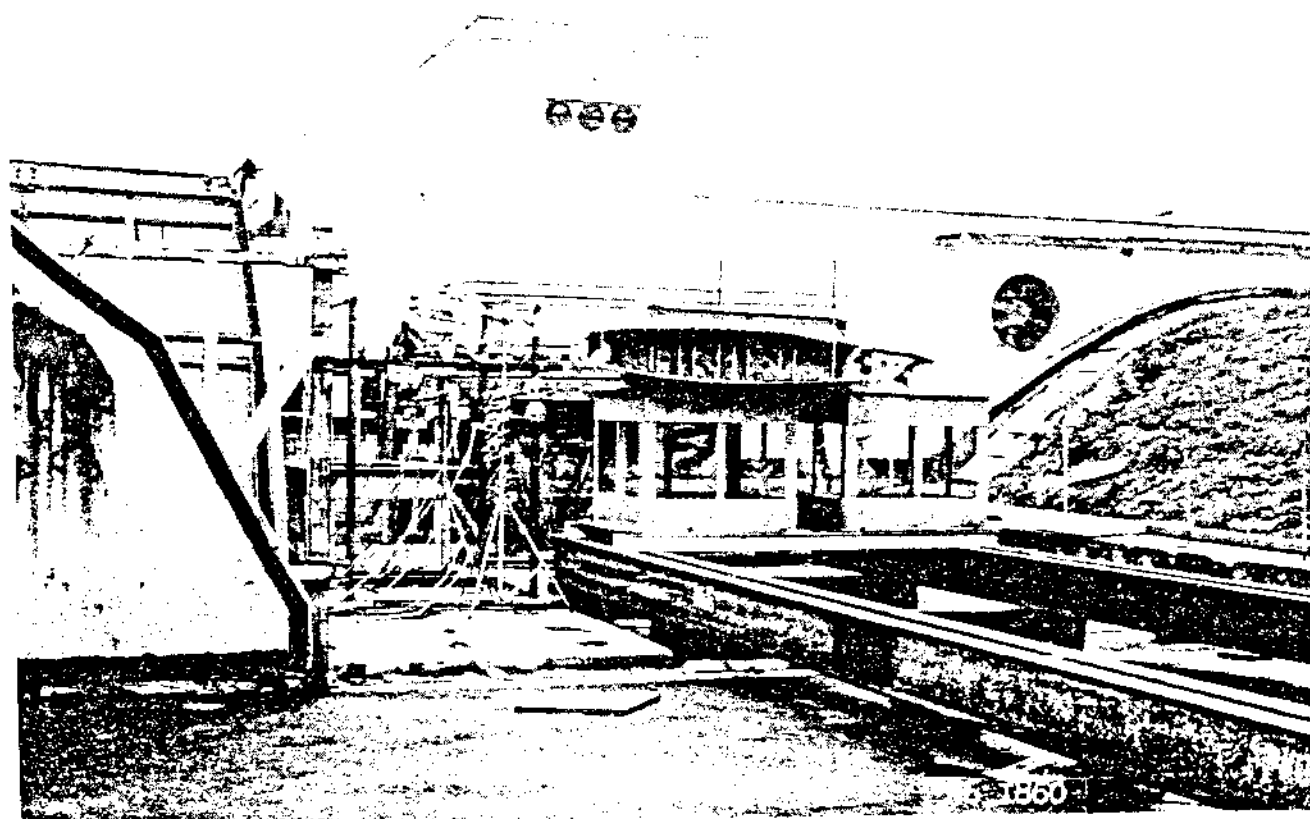
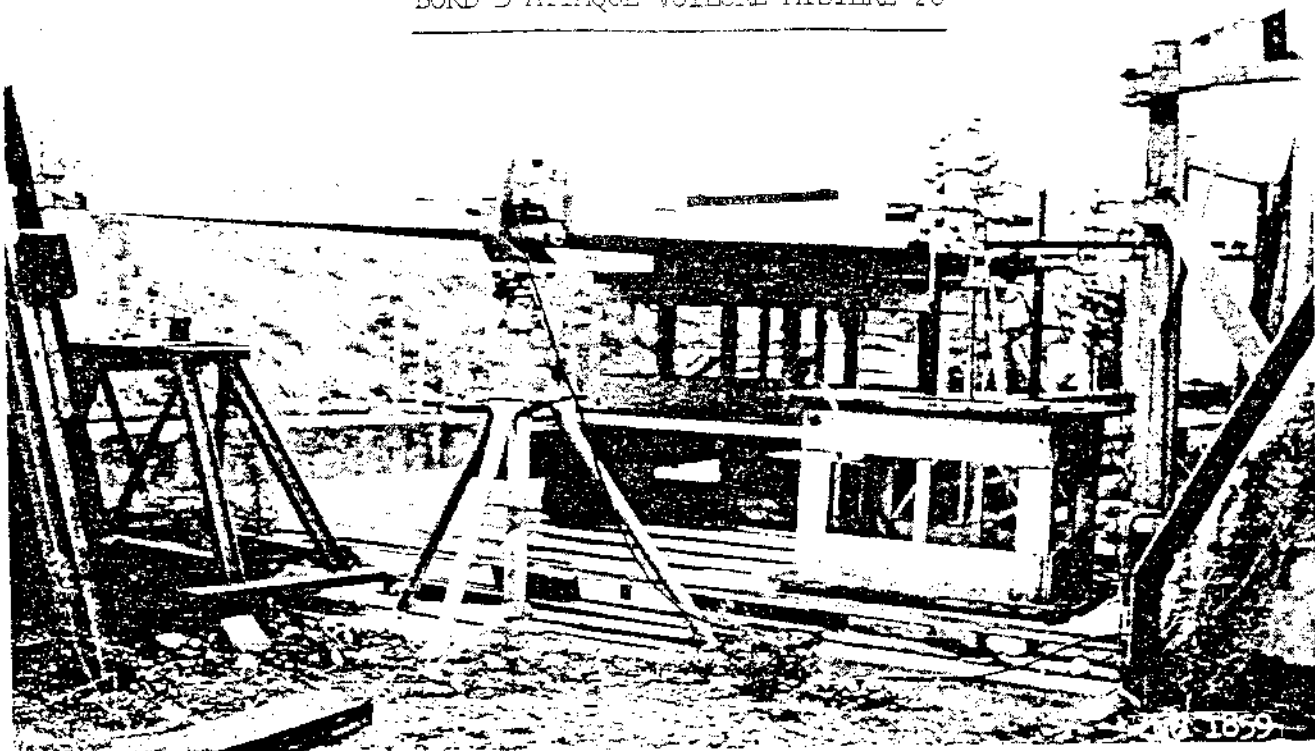
BORDS D'ATTAQUE C.E.A.T.

LA MASSE ACTIVE
DE L'OISEAU EST DANS CE CYLINDRE



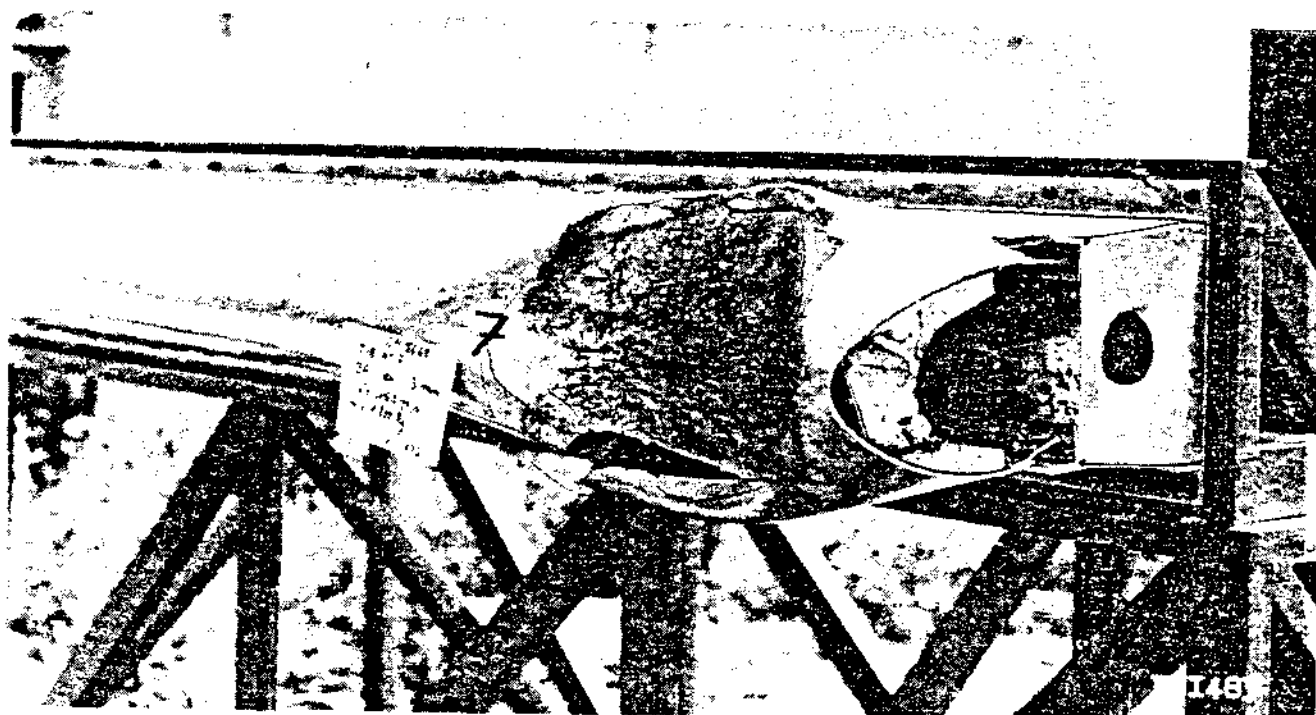
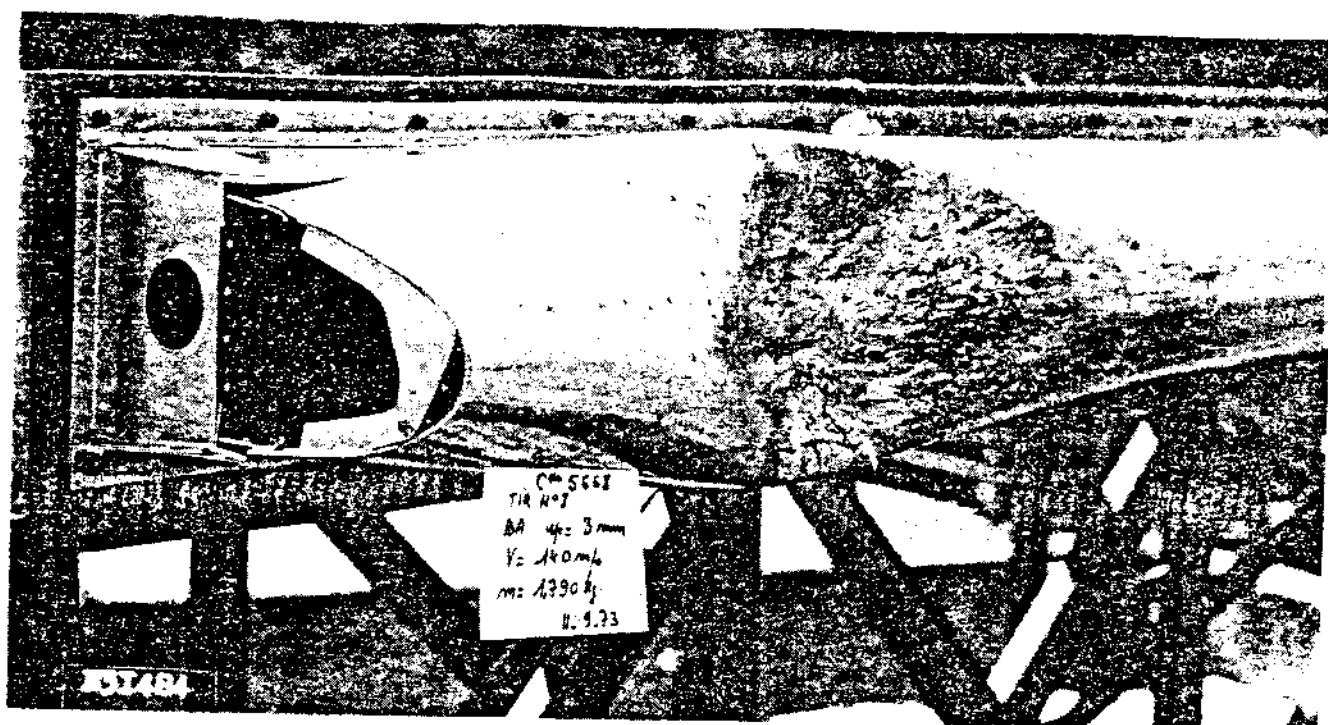
SECTION UTILISEE POUR B.A. C.E.A.T.

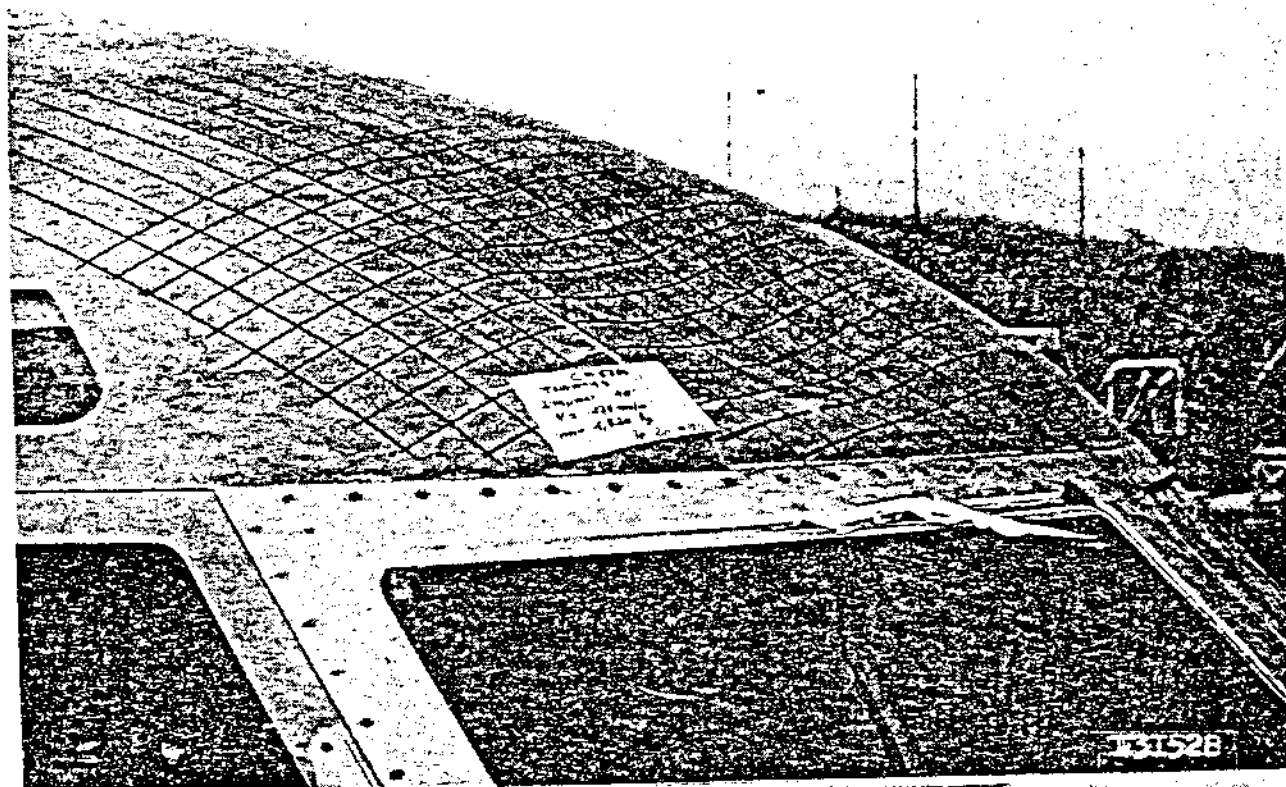
BORD D'ATTAQUE VOILURE MYSTERE 20

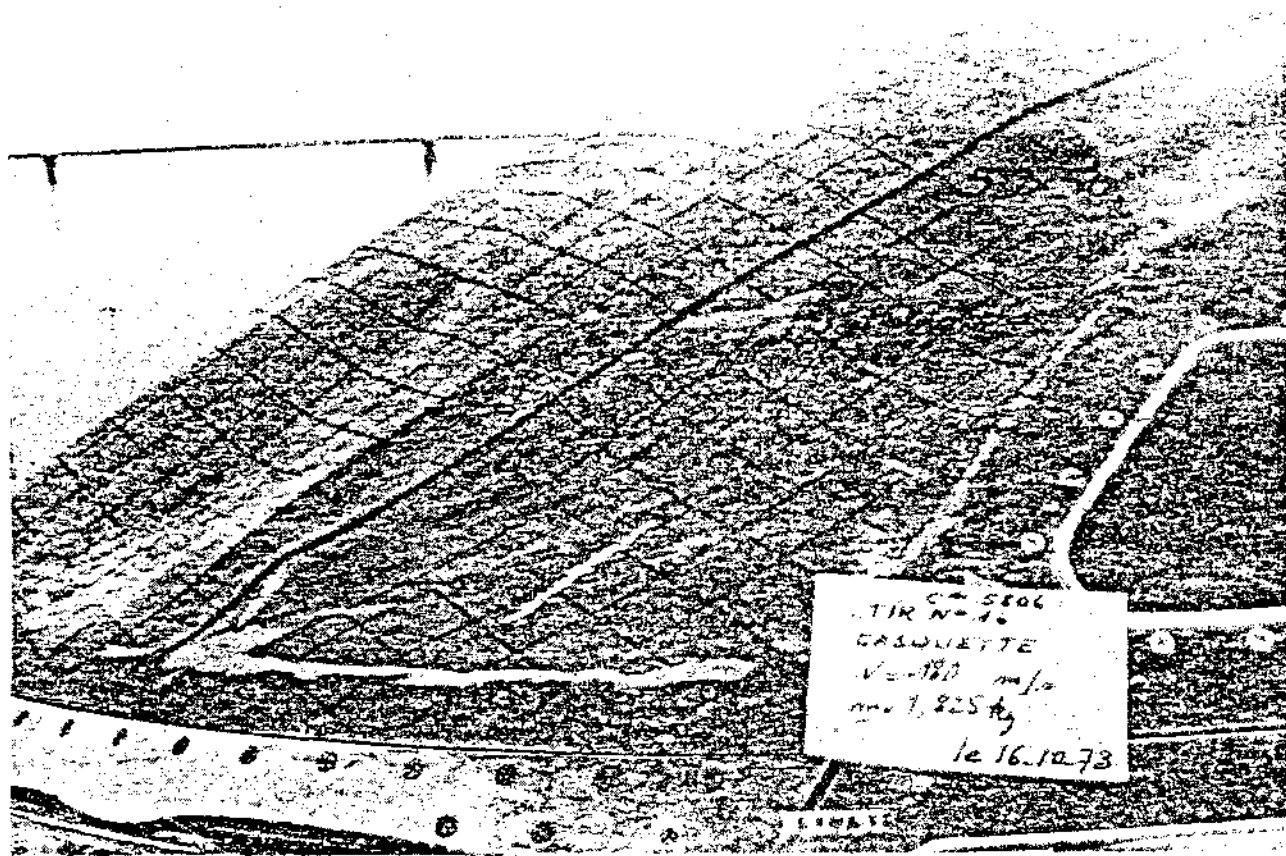


Montage d'essai

BORDS D'ATTAQUE C E A T







C-506
TIR N-10

CASQUETTE

V=180 m/s

no 1,825 kg

12.10.73