

2/75

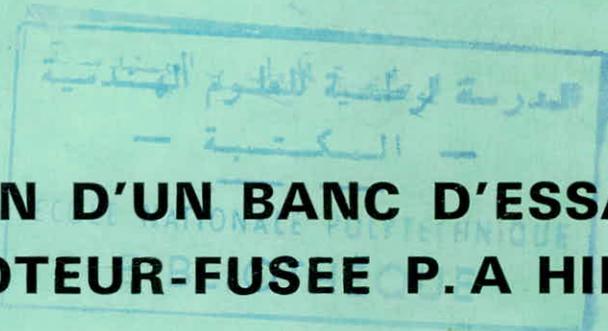
UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

1ex

DEPARTEMENT MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES



REALISATION D'UN BANC D'ESSAIS POUR L'ETUDE DU MOTEUR-FUSEE P. A HILTON LTD

Proposé par :

MM. G. Matton Prof.
Y. Boussard Assist.

Etudié par :

MM. Aït-Ali M. A.
Chacal Y.
Yadel Y

12 PLANS

PROMOTION 1975



NOUS REMERCIONS MM. MATTON , BOUSSARD , MULLER
POUR L'AIDE EFFECTIVE QU'ILS NOUS ONT APPORTEE.
NOUS TENONS EGALEMENT A REMERCIER TOUTES LES PERSONNES
QUI DE PRES OU DE LOIN ONT CONTRIBUE A LA
REALISATION DE CE PROJET.

Y.A.C

-o-o-o-o-o-o-

AVANT PROPOS.

Le contenu de cette étude porte sur la réalisation d'un banc d'essais pour un petit moteur fusée de construction anglaise* développant jusqu'à cinq kilos de poussée.

Ce moteur utilise comme comburant l'oxygène gazeux (commode d'emploi et facile à trouver sur le marché) et le kérosène comme combustible.

Comme matériels d'origine, seuls étaient disponible avec le moteur, la pompe à combustible et le système de mise à feu.

A partir de ces éléments, il nous a donc fallu construire l'armoire de commande, le support moteur et sa balance de poussée, réaliser les circuits d'alimentation en propergol, de refroidissement à l'eau, procéder enfin à l'installation complète du circuit électrique.

Pour mesurer les poussées, nous avons utilisé un pont extensométrique à jauges de contraintes disponible au Département.

Les résultats de ces mesures traduits en fonction de la pression de chambre et des rapports de mélange pour lesquels ils sont obtenus, nous ont permis de tracer des courbes de performances.

La comparaison est ensuite faite avec les courbes de performances théoriques types établies pour de plus gros propulseurs et relevées dans des ouvrages spécialisés, ainsi qu'avec celles fournies par le constructeur relatives au moteur lui même.

Notre but en définitive, est que les résultats de ce travail soient le point de départ d'études sur les moyens de propulsion offerts par les hautes vitesses d'éjection des gaz, secteur de l'énergétique qui intéresse le Département.

Du reste, l'idée que cette réalisation puisse faire l'objet d'une manipulation pour d'autres élèves nous reconforte et nous fait croire avoir fait oeuvre utile.

---o- TABLE DES MATIERES -o---

NOTATIONS UTILISEES

I,2

CHAPITRE I : Théorie

I.1 Notions sur la propulsion par moteur fusée	3
I.2 Classification sommaire des moteurs fusée	3
I.3 Notions sur la théorie des tuyères convergentes- divergentes isentropiques	4
I.4 Cas de la tuyère avec frottements	9
I.5 Formules utilisées pour les calculs théoriques	10
I.6 Paramètres caractéristiques	13
I.7 Indices de qualité	14
I.8 Dimensionnement de la chambre de combustion	15
I.9 Application au moteur fusée HILTON	16
I.10 Equations de la poussée et facteur de poussée	17
I.11 Courbes théoriques	18

CHAPITRE II : Réalisation pratique

2.1 Fonctions à assurer	19
2.2 Armoire et support moteur	20
2.3 Circuit kérosène	21
2.4 Circuit oxygène	22
2.5 Circuit d'eau	23
2.6 Circuit électrique	24
2.7 Mesure de la pression de chambre	25
2.8 Dispositif de mesure de poussée	25

CHAPITRE III : ESSAIS

-Opérations de contrôle avant la mise à feu	27
-Déroulement de la mise en marche	28
-Mise à feu	28
-Arrêt	29

	30
-Consignes à respecter en cas d'incident-	30
-Interprétation et Comparaison des résultats	31
-Calcul d'erreur sur l'impulsion spécifique	34'
-Conclusion	35
-Proposition d'un texte de manipulation	36

-o-o-o-o-

BIBLIOGRAPHIE

- BURTON.J : Pratique de la mesure et du contrôle
dans l'industrie
- ZELBSTEIN.U : Mesures avec jauges de contraintes
- BARRERE.M : Propulsion par moteur fusée
- SUTTON.G.F : Engineering of Rockets
- MATTON.G : Cours sur la Propulsion par Réaction

.....

NOTIONS UTILISEES.

- T: température statique.
- T :Totale ou d'arrêt.
- V: Vitesse réelle.
- V: Vitesse idéale.
- v; Volume massique.
- S: Surface ou section.
- ρ : Masse volumique.
- P: Pression statique.
- Pt: Pression totale.
- a: Vitesse du son.
- c^* : Vitesse caractéristique.
- H: Enthalpie statique.
- Ht: Enthalpie totale.
- ΔH_j : Chute d'enthalpie idéale
- ΔH_{fj} : Chute d'enthalpie due aux frottements.
- ΔH_j : Chute d'enthalpie réelle.
- η_j : Efficacité de la tuyère.
- ϵ_j : Coefficient de vitesse.
- ϵ_d : Coefficient de décharge.
- C_c : Coefficient de contraction.
- M : Nombre de Mach.
- γ : Rapport des chaleurs massiques.
- $r = \frac{R}{m}$; R: constante universelle des gaz
 m : masse molaire
- F_m : Débit de quantité de mouvement.
- C_f : Coefficient de poussée.
- g : Accélération de la pesanteur.
- F : Poussée
- \dot{m} : Débit masse.
- F_m : Débit de quantité de mouvement.
- C_d : Coefficient de débit.
- C_{sp} : Consommation spécifique.

Notations utilisées (suite)

I_s : Impulsion spécifique réelle.

I_s' : Impulsion spécifique idéale.

V_j : Vitesse effective du jet.

R_s : Rayon de section sortie tuyère.

$\epsilon_f, \epsilon_b, \epsilon_s$: Indices de qualité .

t_s : Temps deséjour.

L^* : Longueur caractéristique.

V_{ch} : Volume de chambre.

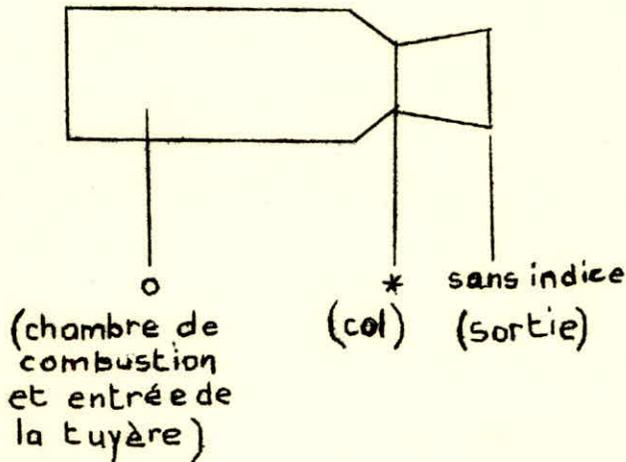
S_{ch} : Surface interne.

α_d : Angle du divergent.

$$\Gamma = \sqrt{\gamma \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma+1)}}} = \sqrt{\gamma \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}$$

$$F(\gamma) = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1}} \cdot \Gamma = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1}} \cdot \sqrt{\gamma \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}$$

Indices utilisés



CHAPITRE I

1.1 NOTION SUR LA PROPULSION PAR MOTEUR FUSÉE.

Ce type de propulsion utilise la " réaction pure " où l'effort propulsif (pousée), est obtenu par une variation de la quantité de mouvement du système lui même.

D'autres systèmes propulsifs utilisent encore la réaction (Systèmes dits à réaction directe et indirecte); c'est la famille bien connue des turboréacteurs, statoréacteurs, pulso-réacteurs...

De ces deux catégories de moteurs, seul le moteur fusée assure la propulsion dans le vide; d'où son intérêt en astronautique.

La fusée en effet, emporte avec elle le combustible et le comburant nécessaires à son fonctionnement et n'a pas besoin du milieu ambiant indispensable pour les autres moteurs.

1.2 CLASSIFICATION SOMMAIRE DES MOTEURS FUSÉE

Il existe deux groupes principaux de moteurs fusée.

a) Moteurs à propergol liquide.

Leurs dimensions et leur temps de fonctionnement relativement élevé font qu'ils servent à l'exploration scientifique de l'espace.

b) Moteurs à propergol solide.

Ils utilisent la poudre et les produits chimiques similaires.

Développés surtout à des fins militaires.

I.3 NOTIONS SUR LA THEORIE DES TUYERES CONVERGENTES-DIVERGENTES ISENTROPIQUES.

I.3.1 Hypothèses fondamentales.

On considère un propulseur idéal sur lequel sont faites les hypothèses fondamentales suivantes :

- a) Les gaz de combustion sont homogènes et de composition invariable au cours de la détente.
- b) Ils obéissent à la loi des gaz parfaits : $\frac{P}{\rho} = rT$ (I)
où $r = \frac{R}{m}$; $R =$ Constante universelle des gaz parfaits
 $m =$ Masse molaire du gaz considéré.
- c) En outre, on suppose que l'écoulement est isentropique, permanent, se faisant par tranches planes tout le long de la tuyère.

I.3.2 Equations fondamentales

La première équation fondamentale est celle de la conservation de l'énergie. Elle exprime pour un écoulement isentropique, l'égalité de la chute d'enthalpie dans la tuyère et l'accroissement de l'énergie cinétique. Elle s'écrit :

$$\frac{V_0^2}{2} + C_p T_0 = \frac{V^2}{2} + C_p T \quad (2)$$

L'indice 0 se rapportant à l'état initial (chambre)
Cette équation exprime également l'invariance de la température totale (ou d'arrêt) définie comme la température obtenue en ralentissant isentropiquement le fluide jusqu'à l'arrêt.

Cette température est liée à la température statique par la relation:

$$T_t = T + \frac{V^2}{2} C_p = T \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right) \quad (3)$$

où V désigne la vitesse de l'écoulement et M le nombre de Mach

A partir de l'équation (2), on définit une vitesse limite V_1 obtenue en détendant isentropiquement le fluide jusqu'au vide

absolu : $v_c = \sqrt{v_c^2 + 2C_p T_o} = \sqrt{2C_p T_{to}}$ (4)

La deuxième équation fondamentale est l'équation de continuité qui exprime la conservation du débit masse: $\dot{m} = \rho S.V$ (5)
 Rappelons enfin, que les écoulements isentropiques sont régis par la relation:

$$\frac{P}{\rho^\gamma} = \text{Cte}; \quad (6)$$

d'où la relation entre les pressions, températures, masses volumiques pour de tels écoulements:

$$\frac{T}{T_o} = \left(\frac{P}{P_o}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \left(\frac{\rho}{\rho_o}\right)^{\gamma-1} \quad (7)$$

On utilise parfois la pression totale définie de la même façon que la température totale. Elle est liée à la pression statique en fonction du nombre de Mach et de la vitesse par la relation suivante:

$$(8) \quad P_t = P \left(\frac{T_t}{T}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = P \left(1 + \frac{v^2}{2C_p T}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = P \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$

I.3.3 Propriété de saturation aérodynamique.

Désignons par S l'aire de la section de la tuyère où sont réalisées la pression P et la vitesse V. A partir des relations (2), (5) et (7) il est facile d'établir la relation qui lie pour une tuyère isentropique de vitesse initiale nulle, le débit masse par unité de section transversale aux conditions amont (P_o, T_o, \dots) et à l'inverse du rapport de détente:

$$\frac{\dot{m}}{S} = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} P_o \rho_o \left(\frac{P}{P_o}\right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P}{P_o}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}} \quad (9)$$

Le second membre de cette expression s'annule pour $P=P_o$ et pour $P=0$
 Le rapport $\frac{\dot{m}}{S}$ passe donc par un maximum pour une certaine valeur de $\frac{P}{P_o}$ valeur que l'on appelle rapport critique.

Cette valeur est obtenue en annulant la dérivée de $\frac{\dot{m}}{S}$ par rapport à $\frac{P}{P_0}$. On trouve:

$$\frac{P^*}{P_0} = \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \text{ et } \frac{T^*}{T_0} = \frac{2}{\gamma + 1} \quad (9')$$

La valeur critique $\frac{P^*}{P_0}$ délimite ainsi deux catégories de tuyères.

Si $\frac{P}{P_0} \geq \frac{P^*}{P_0}$ la tuyère destinée à fournir le débit \dot{m} est entièrement convergente (section continuellement décroissante)

Si $\frac{P}{P_0} < \frac{P^*}{P_0}$ alors la tuyère destinée à détendre le débit \dot{m} doit être de section décroissante puis croissante avec un col où est réalisée la pression P^*

Une telle tuyère est dite convergente-divergente ou tuyère de LAVAL.

Un calcul simple donne au col: $v^* = \sqrt{\gamma \frac{p^*}{\rho^*}} = \sqrt{\gamma r T^*} = a^* \quad (10)$

Cette vitesse v^* au col est égale à la vitesse du son aux conditions P^* et T^* .

Au-delà du col, dans la partie divergente, la vitesse continue de croître et est supérieure à celle du son. De telles tuyères sont dites supersoniques.

Dans les moteurs fusée, les régimes d'écoulement sont toujours supersoniques en raison du taux de détente généralement élevé.

1.3.4 Débit massique de la tuyère.

Le débit massique \dot{m} idéal d'une tuyère, s'exprime en fonction des conditions amont (P_0, T_0) et de la section au col S^* .

Il s'établit ainsi puisque la vitesse du son est atteinte au col

$$\dot{m} = \rho^* a^* S^* = \rho_0 a_0 \left(\frac{\rho^*}{\rho_0} \frac{a^*}{a_0} \right) S^*$$

Négligeons la vitesse V_0 dans la chambre ce qui est en général justifié. Les relations (9') et (10) permettent d'écrire:

$$\frac{a_0^*}{a_0} = \left(\frac{T_0^*}{T_0} \right)^{1/2} = \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{1/2}$$

De la même façon, puisque l'écoulement est isentropique, les relations (9') donnent:

$$\frac{\rho^*}{\rho_0} = \left(\frac{T_0^*}{T_0} \right)^{1/\gamma-1} = \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{1/\gamma-1}$$

De sorte que le débit devient/ : $\dot{m}' = \rho_0 a_0 \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{1/\gamma-1 + 1/2}$

Si à présent on remplace la vitesse du son a_0 par son expression $a_0 = \sqrt{\gamma r T}$ il vient après élimination de ρ_0 au moyen de l'équation (I):

$$\dot{m}' = \sqrt{\gamma} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \frac{P_0}{\sqrt{r T_0}} \cdot S^*$$

soit en posant : $\Gamma = \sqrt{\gamma} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$

$$\dot{m}' = \Gamma \frac{P_0 S^*}{\sqrt{r T_0}} \quad (II)$$

I.3.5 Vitesse d'échappement de la tuyère.

En supposant que la vitesse V_0 dans la chambre est nulle, l'équation de l'énergie (2) s'écrit compte tenu de l'équation(7) qui caractérise les écoulements isentropiques :

$$\frac{V^2}{2} = c_p (T_0 - T) = c_p T_0 \left[1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]$$

D'autre part, sachant que : $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ et $r = c_p - c_v = \frac{R}{M}$

on a aussi : $2c_p T_0 = \frac{2\gamma}{\gamma-1} r T_0 = \frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{R}{M} T_0$ Il vient alors:

$$V' = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{R}{M} T_0 \left[1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]} \quad (I2)$$

Cette relation suppose implicitement que la vitesse de sortie V' est orientée suivant l'axe de la tuyère. En réalité le divergent est un tronc de cône et la vitesse n'est pas

toujours parallèle à son axe.

On introduit par conséquent un coefficient de correction géométrique liant la vitesse idéale V' à la vitesse réelle V tel que l'on ait : $V = \lambda V'$ (I3)

Ce coefficient est donné par la relation: $\lambda = \frac{1}{2}(1 + \cos \alpha_d)$ où α_d désigne l'angle moitié du divergent. (cf Pl I.49)

Le coefficient λ est voisin de l'unité pour les tuyères normalement utilisées. (

I.3.6 Rapport des Paramètres Section sortie / Section au col en fonction du nombre de Mach.

Rapport des sections :

$$\frac{S}{S^*} = \frac{1}{M} \left[\frac{2 \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right)}{\gamma+1} \right]^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$$

Rapport des vitesses :

$$\frac{V}{V^*} = M \left[\frac{\gamma+1}{2 \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Rapport des températures :

$$\frac{T}{T^*} = \frac{\gamma+1}{2 \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right)}$$

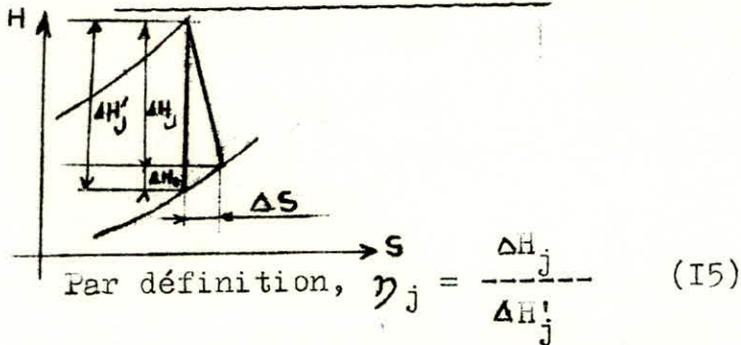
Rapport des pressions :

$$\frac{P}{P^*} = \left(\frac{T}{T^*} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = \left[\frac{\gamma+1}{2 \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right)} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

I.4 CAS DE LA TUYÈRE AVEC FROTTEMENTS

I.4.I Coefficients intrduits.

- Rendement adiabatique de la tuyère : η_j



avec : $\Delta H'_j$ chute d'enthalpie idéale

ΔH_j " " réelle

ΔH_f " " due aux frottements

- Coefficient de vitesse : ξ_v

Par définition, $\xi_v = \frac{V}{V'}$ (I6) ; avec :

V : vitesse d'éjection réelle compte tenu du frottement.

V' : " " idéale tenant compte du divergent

Le rendement adiabatique η_j est lié au coefficient de vitesse par la relation : $\eta_j = (\xi_v)^2$ (I7)

- Coefficient de décharge : ξ_d

Le débit réel d'une tuyère peut être estimé à partir du débit idéal en introduisant un coefficient de décharge ξ_d

tel que :

$$\xi_d = \frac{\dot{m}}{\dot{m}'} \quad (I8) \quad \text{avec : } \dot{m} : \text{débit réel}$$

$\dot{m}' : \text{débit idéal}$

Le coefficient de décharge ξ_d est le produit du coefficient de contraction C_c de l'orifice de la tuyère, par le coefficient de vitesse : $\xi_d = C_c \cdot \xi_v$ (I9)

I.5 FORMULES UTILISEES POUR LES CALCULS THEORIQUES

I.5.I Valeurs critiques en fonction des conditions à l'entrée de la tuyère ou conditions de chambre.

$$\frac{F^*}{S^*} = P_{r_0} \sqrt{\frac{\gamma}{r T_{r_0}} \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}$$

$$\frac{F_{\text{M}}^*}{S^*} = P_{r_0}^{\frac{\gamma}{\gamma+1}} \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$M^* = 1$$

$$P^* = P_{r_0} \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$T^* = T_{r_0} \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)$$

$$V^* = \frac{1}{\rho^*} = \frac{r T_{r_0}}{P_{r_0}} \left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$

I.5.2 Caractéristiques à la sortie en fonction des paramètres critiques

Au-delà du col, l'écoulement est supersonique et le débit est critique tout le long du divergent.

$$\frac{\dot{m}}{\dot{m}^*} = \frac{T_t}{T_t^*} = I$$

$$\frac{S}{S^*} = \frac{1}{M} \left[\frac{\delta+1}{2(1+\frac{\delta-1}{2}M^2)} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \left[\frac{\gamma_j}{\frac{1}{1+\frac{\delta-1}{2}M^2} - 1 + \gamma_j} \right]^{\frac{\delta}{\delta-1}}$$

$$\frac{S}{S^*} = \frac{T}{T^*} \left(\frac{p^*}{p} \right) \left(\frac{v^*}{v} \right)$$

$$\frac{F_m/S}{F_m^*/S^*} = \frac{P}{P^*} M^2 \quad \text{avec } F_m = \dot{m} \cdot V \text{ et } F_m^* = \dot{m}^* \cdot V^*$$

$$\frac{P}{P^*} = \left[\frac{\left(\frac{\delta+1}{2} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \frac{1}{1+\frac{\delta-1}{2}M^2} - 1 + \gamma_j}{\gamma_j} \right]^{\frac{\delta}{\delta-1}}$$

$$\frac{T}{T^*} = \frac{\delta+1}{2(1+\frac{\delta-1}{2}M^2)}$$

$$\frac{V}{V^*} = M \sqrt{\frac{\delta+1}{2(1+\frac{\delta-1}{2}M^2)}}$$

$$\frac{v}{v^*} = \frac{\rho^*}{\rho} = \left(\frac{T}{T^*} \right) \left(\frac{P^*}{P} \right)$$

I.5.3 DETERMINATION DU NOMBRE DE MACH A LA SORTIE DE LA TUYERE

Pour faire tous les calculs du paragraphe I.5.2 , il est indispensable de connaître le nombre de Mach M à la section de sortie de la tuyère.

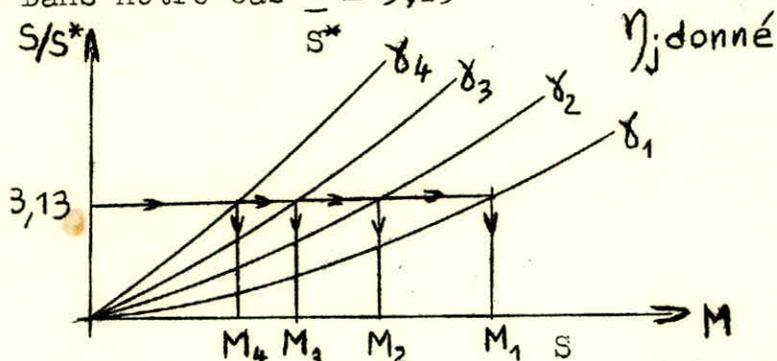
Nous disposons de la formule donnant $\frac{S}{S^*}$ en fonction du nombre de mach et du rendement η_j :

$$\frac{S}{S^*} = \frac{1}{M} \sqrt{\frac{\gamma+1}{2(1+\frac{\gamma-1}{2}M^2)}} \left[\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \frac{\eta_j}{1+\frac{\gamma-1}{2}M^2 - \eta_j} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (20)$$

Methode :

On donne des valeurs à M pour une valeur de η_j fixée ($\eta_j = 0,9 ; 0,8 ; 0,7$) et on calcule $\frac{S}{S^*}$ pour chaque valeur de γ ; par conséquent pour chaque S^* richesse. Ainsi, pour un η_j donné, on trace une famille de courbes $\frac{S}{S^*} = f(M)$ en prenant pour paramètre γ .

Dans notre cas $\frac{S}{S^*} = 3,13$



Une fois le faisceau de courbes $\frac{S}{S^*} = f(M)$ tracé (figure ci-dessus), on mène une parallèle à l'axe des Mach ce qui donne quatre valeurs de $M : M_1 ; M_2 ; M_3 ; M_4$ correspondant à quatre valeurs de $\gamma (\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4)$

I.6 PARAMETRES CARACTERISTIQUES.

I.6.1 Vitesse caractéristique.

Elle sert à caractériser la combustion dans la chambre.

$$C^* = \frac{P_{to} \cdot S^*}{\dot{m}} \text{ en mètres/sec.}$$
$$C^* = \frac{\sqrt{rT_0}}{\Gamma} = \frac{V_1}{F(\gamma)}$$

I.6.2 Coefficient de débit.

C'est le rapport débit masse de la tuyère au produit pression De chambre par la section au col :

$$C_d = \frac{\dot{m}}{P_{to} \cdot S^*}$$

I.6.3 Consommation spécifique.

C'est le rapport débit poids de propergol à la poussée F développée par le propulseur :

$C_{sp} = \frac{\dot{m} \cdot g}{F}$. Elle caractérise le fonctionnement de l'ensemble propulseur-propergol.

I.6.4 Impulsion spécifique

C'est le rapport poussée au débit poids de propergol :

$I_s = \frac{F}{\dot{m} \cdot g} = \frac{I}{C_{sp}}$ C'est aussi l'inverse de la consommation spécifique.

I.6.5 Vitesse effective du jet ou vitesse efficace.

C'est par définition le rapport poussée au débit masse de propergol. C'est aussi la vitesse réelle à la sortie dans le cas où la tuyère est adaptée :

$$V_j = \frac{F}{\dot{m}} = g \cdot I_s$$

I.7 INDICES DE QUALITE .

I.7.1 Indice : ξ_f C'est le rapport des coefficients de poussée expérimentale et théorique:

$$\xi_f = \frac{(C_f)_{ex}}{(C_f)_{th}}$$

Il renseigne sur la qualité de la tuyère.

I.7.2 Indice : ξ_b C'est le rapport des vitesses caractéristiques expérimentale et théorique:

$$\xi_b = \frac{C_{ex}^*}{C_{th}^*}$$

Il sert à caractériser la qualité de la combustion.

I.7.3 Indice : ξ_s C'est le rapport des impulsions théorique et expérimentale:

$$\xi_s = \frac{(I_s)_{ex}}{(I_s)_{th}}$$

I.8 DIMENSIONNEMENT DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION.

a) Volume de chambre : V_{ch}

Dans le volume de chambre proprement dit, sont inclus les volumes du convergent et du divergent. La formule permettant d'évaluer approximativement le volume intérieur de la chambre est :

$$V_{ch} = S^* \left[L_{cy} \varepsilon^* + \left(\frac{L_c}{3} \right) (\varepsilon^* + \sqrt{\varepsilon^{*2} + 1}) \right]$$

avec : $\varepsilon^* = \frac{S_0}{S^*}$ et $\varepsilon = \frac{S}{S^*}$

b) Surface interne du propulseur: S_{ch}

La surface S_{ch} du propulseur (chambre de combustion et tuyère) exposée aux gaz peut se calculer approximativement par la formule suivante :

$$S_{ch} = S^* \left[\varepsilon^* + \frac{\varepsilon^* - 1}{\sin \theta} + \frac{\varepsilon - 1}{\sin \alpha} \right] + 2 L_{cy} \sqrt{\frac{\varepsilon^* S^*}{\pi}}$$

c) Longueur caractéristique: L^*

C'est la longueur l d'un propulseur qui aurait le même volume que le propulseur considéré mais en supposant sa section constante, sans partie convergente ni divergente.

$$L^* = \frac{V_{ch}}{S^*} \quad \text{avec } S^* \text{ section au ccl.}$$

Dimensionnement de la chambre de combustion.

$$\alpha_d = 13^\circ$$

$$\beta = 54,5^\circ$$

$$L_{cy} = 65 \text{ mm.}$$

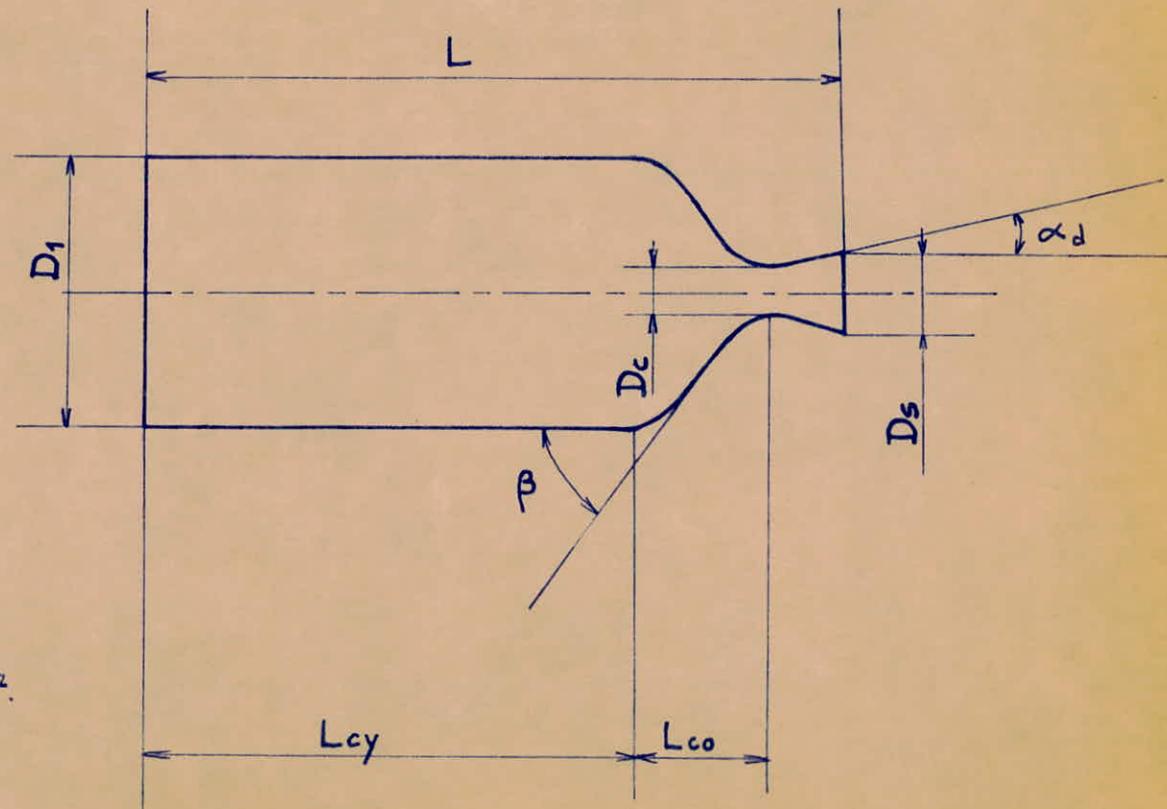
$$L_c = 17 \text{ mm.}$$

$$L = 82 \text{ mm}$$

$$D_1 = 36 \text{ mm. } S_1 = 1018 \text{ mm}^2.$$

$$D_c = 6,5 \text{ mm. } S_c = 33,18 \text{ mm}^2.$$

$$D_s = 11,5 \text{ mm. } S_s = 103,87 \text{ mm}^2.$$



Pl.1.49

I.9 APPLICATION AU MOTEUR FUSÉE HILTON

$$D^* = 6,5 \text{ mm}$$

$$D = 11,5 \text{ mm}$$

$$D_o = 36 \text{ mm}$$

$$L_{\text{cyl}} = 65 \text{ mm}$$

$$L_c = 17 \text{ mm}$$

$$\alpha_d = 13^\circ$$

$$\beta = 54,5^\circ$$

$$\lambda = 0,987$$

$$\text{Section au col : } S^* = 33,18 \text{ mm}^2$$

$$\text{Section de sortie } S = 103,87 \text{ mm}^2$$

$$\epsilon^* = \frac{S_o}{S^*} = 30,68$$

$$\epsilon = \frac{S}{S^*} = 3,13$$

$$\text{Volume de Chambre : } V_{\text{ch}} = 73,165 \text{ mm}^3$$

$$\text{Surface interne : } S_{\text{ch}} = 50,78 \text{ cm}^2 = 5078 \text{ mm}^2$$

$$\text{Longueur caractéristique : } L^* = 2,205 \text{ m} = 2205 \text{ mm}$$

2. EQUATIONS DE LA POUSSEE ET FACTEUR DE POUSSEE

-1^o/ La première équation de la poussée est donnée par la relation :

$$F = \dot{m} \lambda \xi_v V' + (P - P_a)$$

Cette formule montre que la poussée est maximale pour

$$P_a = 0 \quad (\text{dans le vide})$$

-2^o/ Ou en tenant compte de la vitesse effective du jet :

$$F = \dot{m} \cdot V_j$$

-3^o/ La poussée est liée à l'impulsion spécifique par la relation :

$$F = \dot{m} \cdot g \cdot I_s$$

-4^o/ Elle est aussi donnée en fonction du rapport de détente par la formule :

$$F = P_0 \cdot S^* \sqrt{\left[\frac{2\delta}{\delta-1} \left[1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{\delta-1}{\delta}} \right] \right]} + \frac{S}{S^*} \left(\frac{P}{P_0} - \frac{P_a}{P_0} \right)$$

-5^o/ Facteur de poussée.

Nombre sans dimensions, défini comme étant le rapport de la poussée au produit pression de chambre et section au col :

$$C_f = \frac{F}{P_0 \cdot S^*}$$

I.II -o- COURBES THEORIQUES -o-

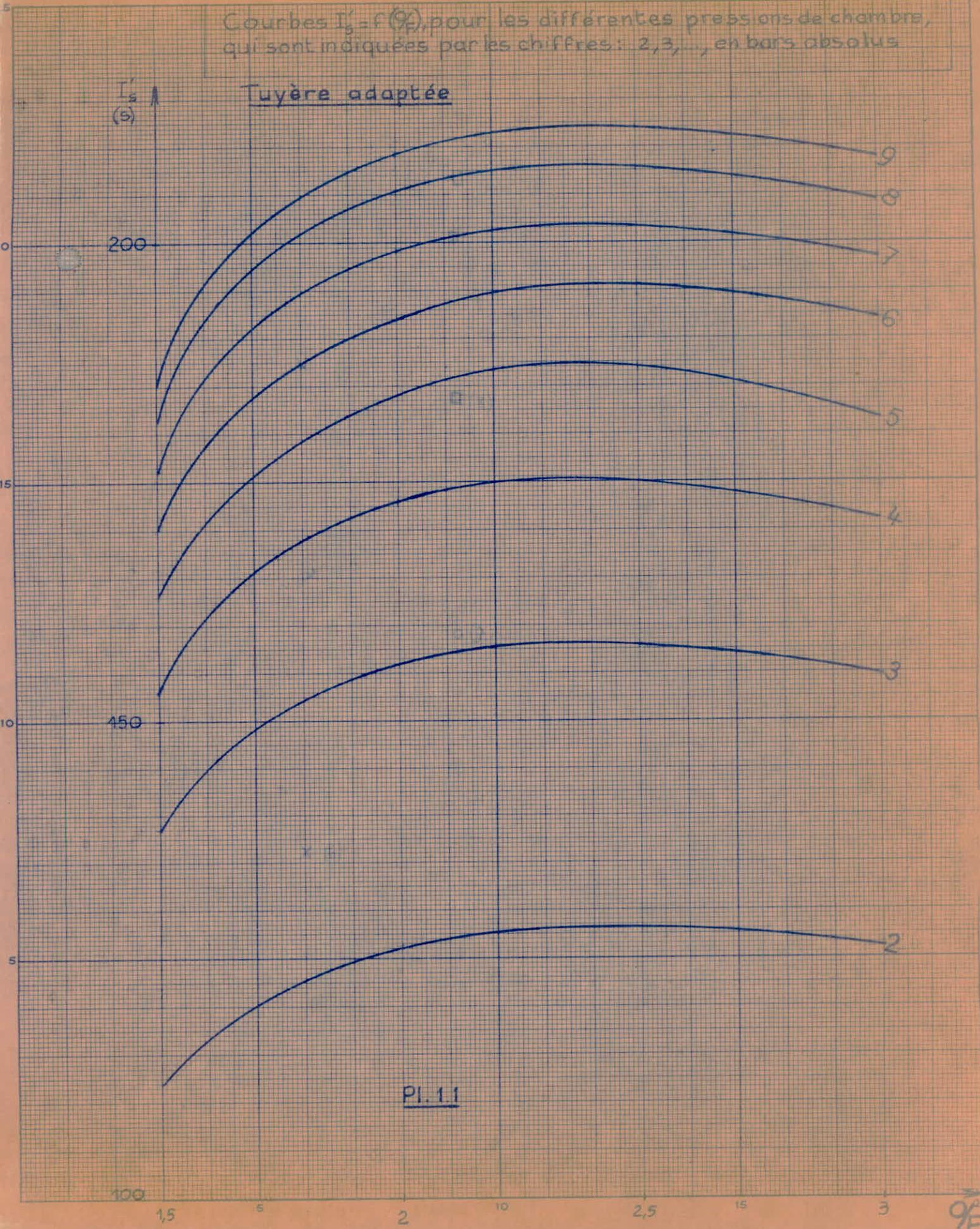
Les courbes théoriques accompagnant ce chapitre, ont été déterminées à partir des courbes donnant la masse molaire, la température, le rapport des chaleurs massiques, des gaz chauds en fonction du rapport de mélange oxygène / fuel, relevées sur des ouvrages spécialisés (cf Pl I.6 et I.5).

Ces courbes ont été établies pour un mélange de gazoline et d'oxygène liquide, dont les caractéristiques sont à peu près identiques à celles du mélange kérosène-oxygène gazeux, qui est réellement utilisé pour le moteur fusée HILTON .

Ces courbes théoriques sont insérées à la fin de ce chapitre.

Courbes $I'_s = f(\theta_F)$, pour les différentes pressions de chambre, qui sont indiquées par les chiffres: 2, 3, ..., en bars absolus

Tuyère adaptée



Pl. 11

$I_s \uparrow (s)$

Courbe $I_s = f\left(\frac{Q}{F}\right)$.
Tuyère inadaptée $\eta_j = 0,9$

225 -

215 -

205 -

195 -

1,5

2

2,5

3

PI.1.2

$I'_g(\theta)$

Courbe $I'_g = f(\frac{\theta}{\theta_{max}})$.
Tuyère inadaptée. $\eta_j = 0,8$

215-

205-

195-

185

1,5

2

2,5

3

Pl. 1.3

1101

$I'_s A (s)$

Courbe $I'_s = f\left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)$.
Tuyère inadaptée. $\eta_j = 0,7$

200

190

180

170

1,5

2

2,5

3

Pl. 1.4

110

T_b
(°K)

4000

3000

2000

1000

1,5

2

2,5

3

$T_b = f(\frac{\sigma}{\rho})$

$\gamma = f(\frac{\sigma}{\rho})$

Pl. 1.5

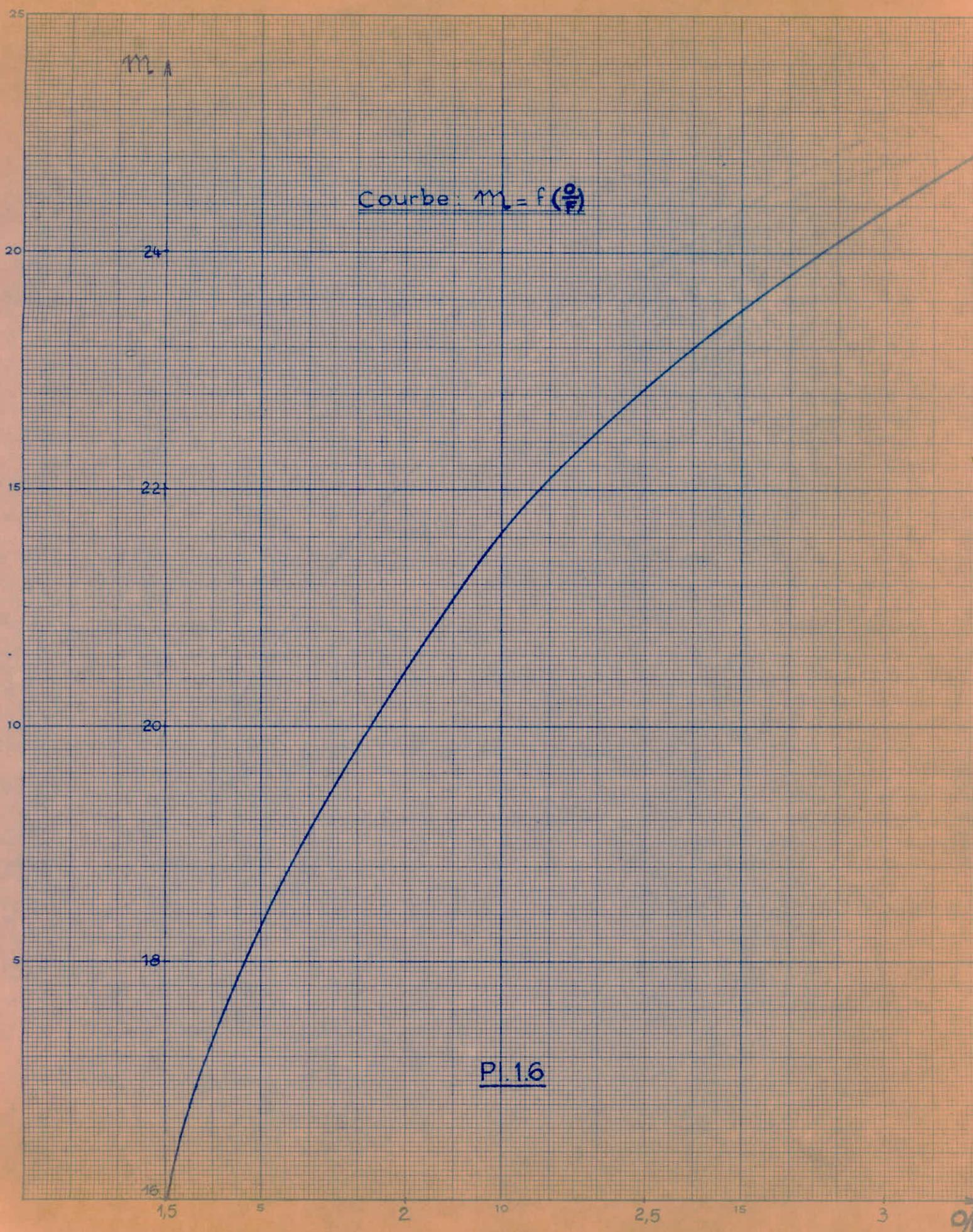
5

10

15

20

110



m

Courbe: $m = f\left(\frac{\omega}{2}\right)$

Pl. 1.6

16

5

2

10

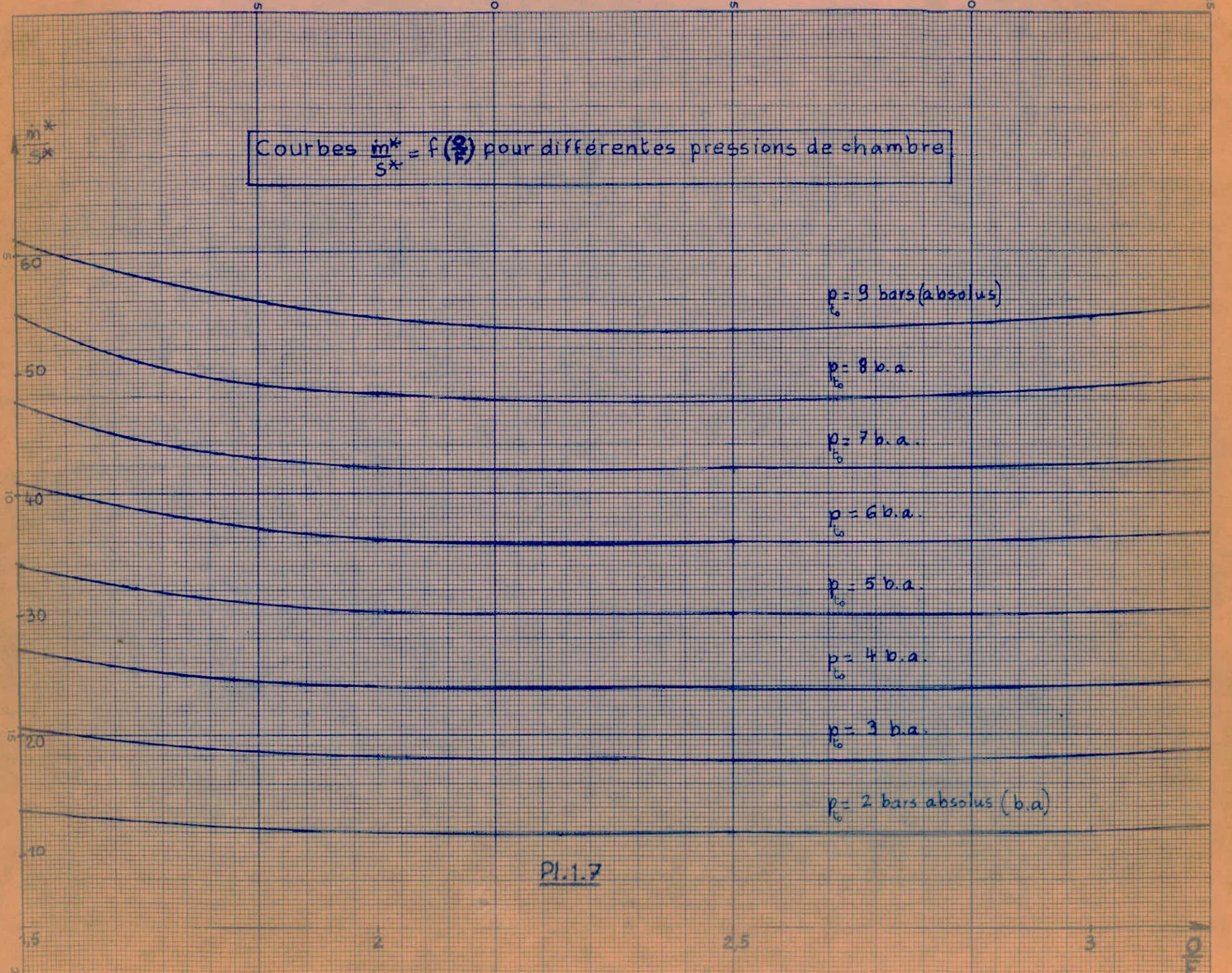
2,5

15

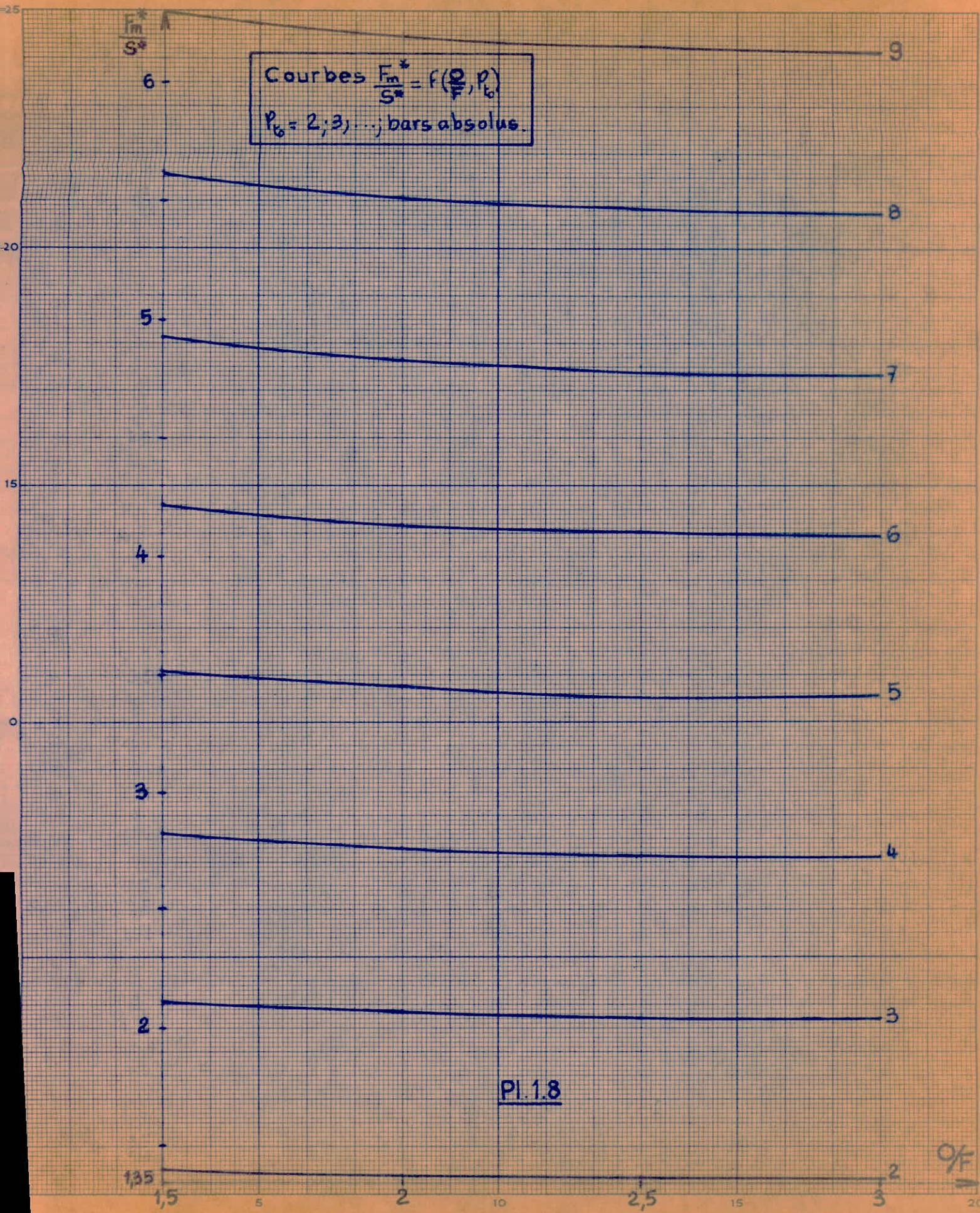
3

9/8

Courbes $\frac{m^*}{S^*} = f\left(\frac{p}{p_0}\right)$ pour différentes pressions de chambre

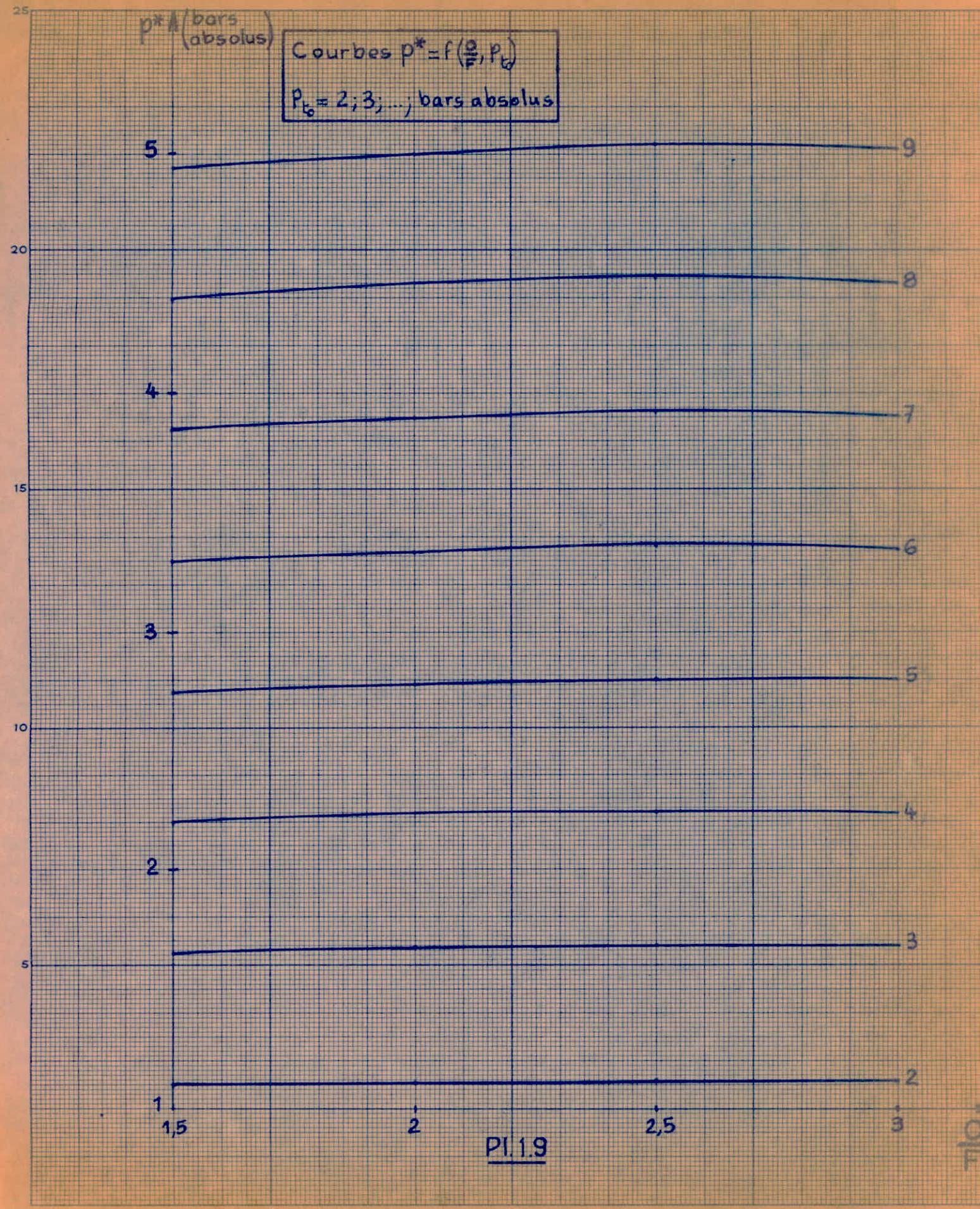


Pl.1.7



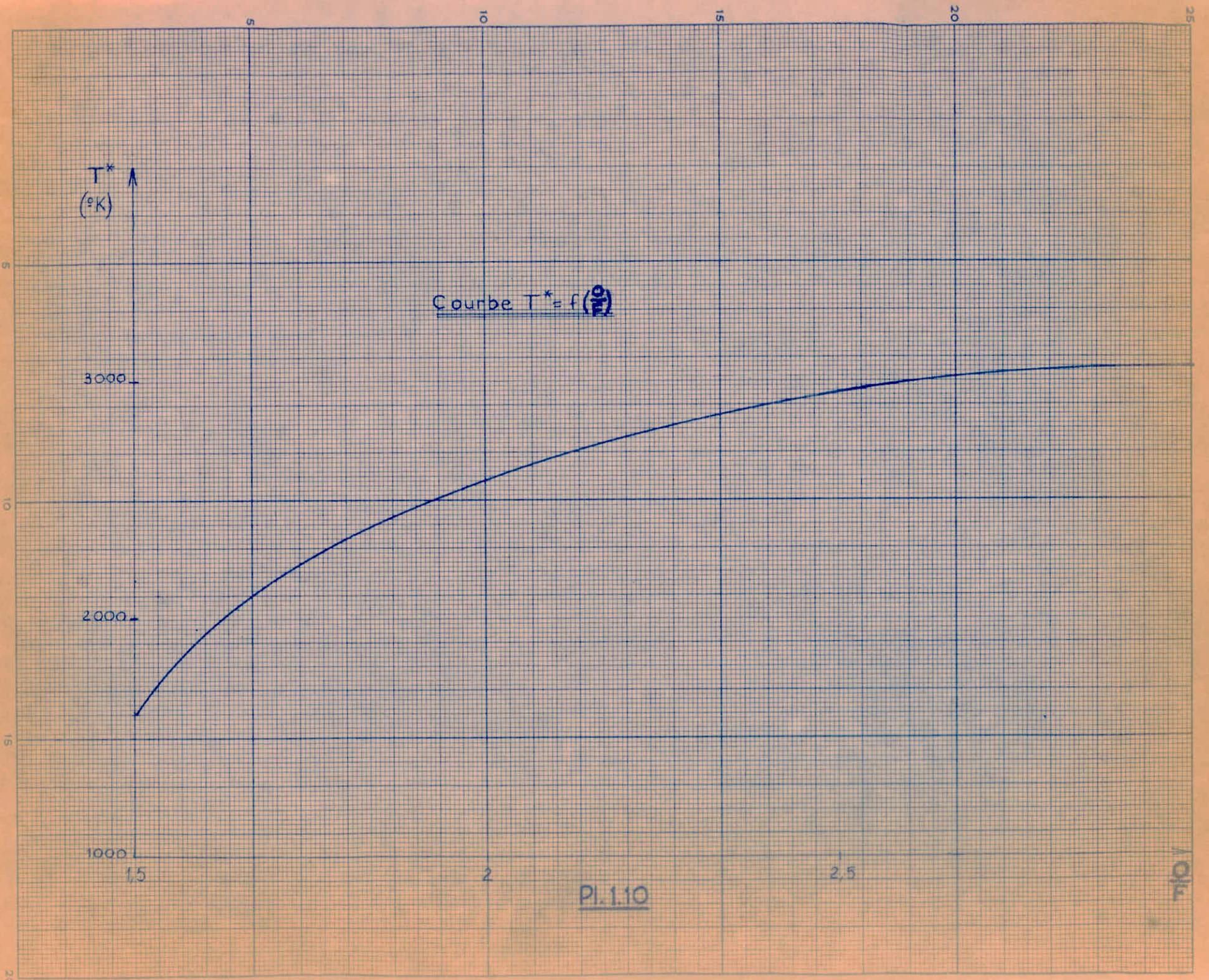
p^* (bars
absolus)

Courbes $p^* = f\left(\frac{Q}{P}, p_b\right)$
 $p_b = 2; 3; \dots; \text{bars absolus}$



PI.19

TILO



Pl. 1.10

1/01

V^*
(m/s)

Courbe $V^* = f(\frac{r}{R})$

5

10

15

20

1100

1000

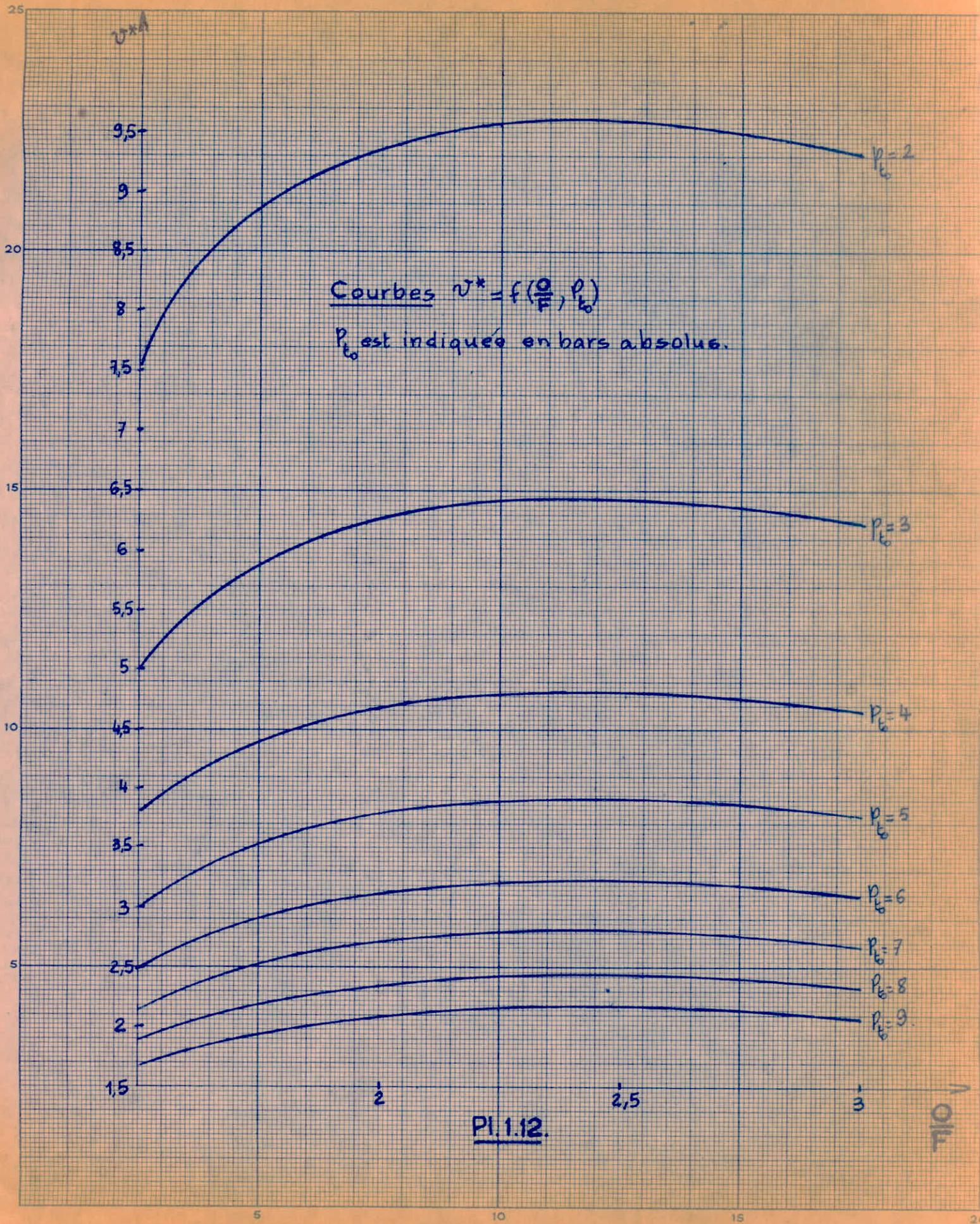
1,5

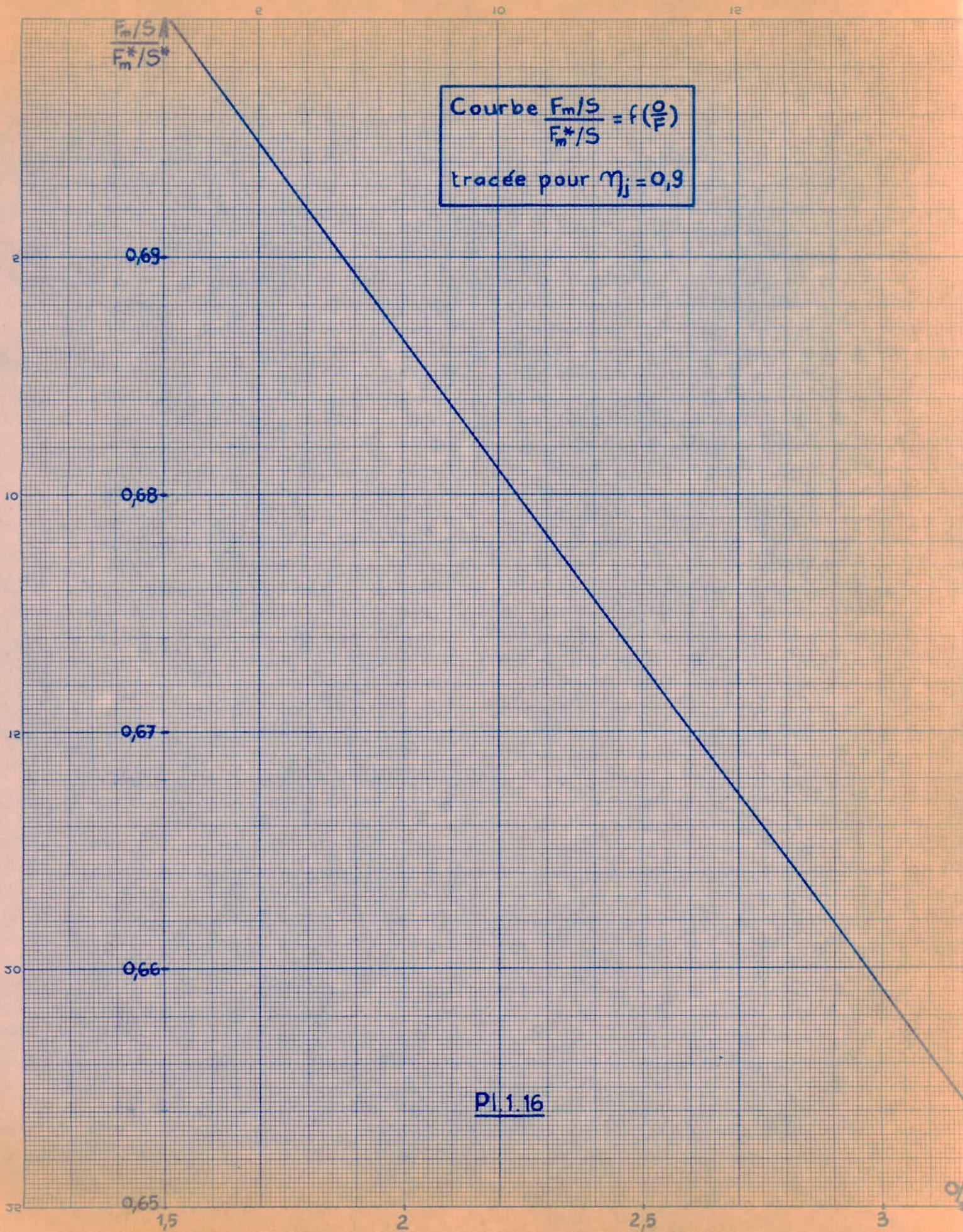
2

2,5

Pl. 1.11

10





$\frac{p}{p^*}$

Courbe $\frac{p}{p^*} = f\left(\frac{p}{F}\right)$, pour $\gamma_j = 0,9$

0,14

0,13
1,5

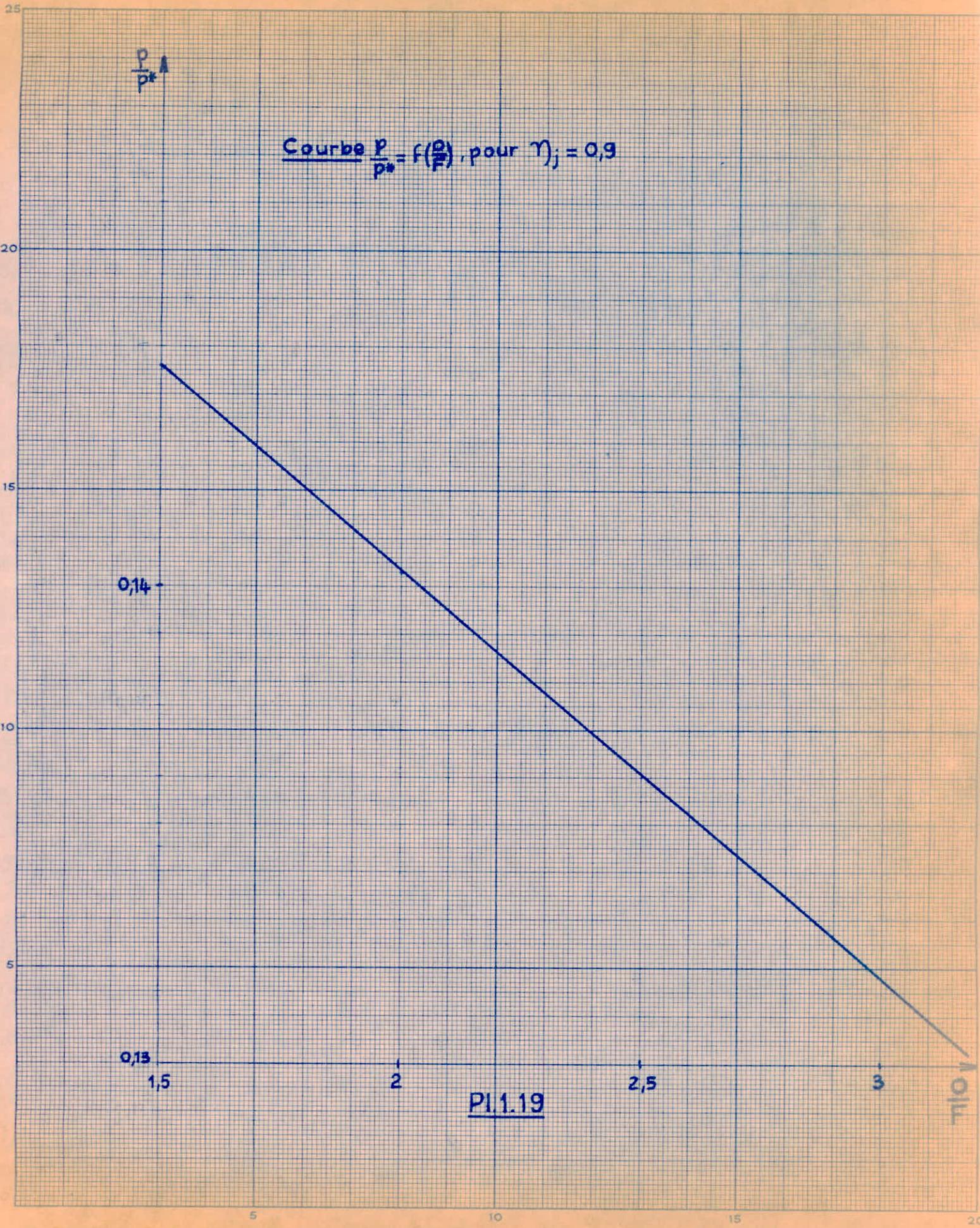
2

PI 1.19

2,5

3

1011



$\frac{p}{p_0}$ Δ (rapport de détente)

Courbe $\frac{p}{p_0} = f\left(\frac{Q}{F}\right)$, pour $\eta_j = 0,9$

0,079

0,078

0,077

0,076

0,075

0,074

0,073

1,5

2

2,5

3

Pl.1.22

110

$\frac{T}{T^*}$

0,71

0,70

0,69

0,68

0,675

1,5

2

2,5

3

Courbe $\frac{T}{T^*} = f\left(\frac{\rho}{P}\right)$, pour $\eta_j = 0,9$

Pl. 1.25

110

$\frac{V}{V^*}$

Courbe $\frac{V}{V^*} = f\left(\frac{\sigma}{F}\right)$, pour $\eta_j = 0,9$

1,9

1,88

1,86

1,84

1,82

1,8

1,5

2

2,5

3

Pl. 1.28

110

$\frac{v}{v^*}$

5,5

Courbe $\frac{v}{v^*} = f\left(\frac{\sigma}{F}\right)$, pour $\eta_j = 0,9$

5

4,5
1,5

2

Pl. 1.31.

2,5

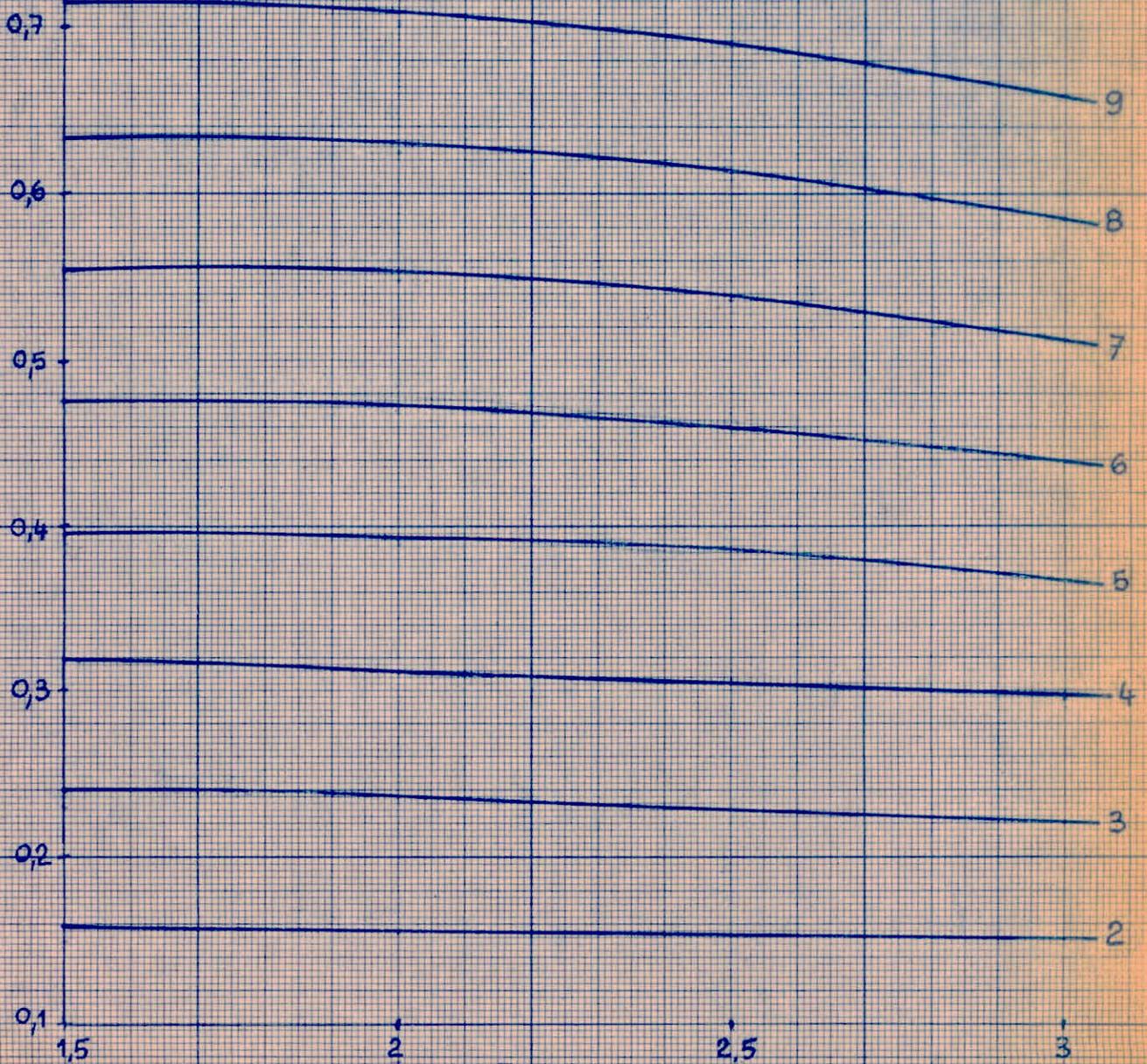
3

110

p_A (bars absolus)

Courbe $p = f\left(\frac{Q}{F}, p_0\right)$
 $p_0 = 2, 3, \dots, \text{bars absolus}$

$m_j = 0,9$



PI 1.34

$T^*(\text{°K})$

2000

1500

1000

Courbe $T = f\left(\frac{\rho}{F}\right)$, pour $\eta_i = 0,9$

Pl. 1.37

1,5

2

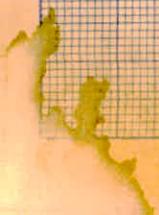
2,5

3

5

10

15



V (m/s)

Courbe $V = f\left(\frac{\rho}{F}\right)$, pour $\eta_j = 0,9$

2150

2050

1950

1850

1,5

2

2,5

3

Pl. 1.40

T10

$v_A \text{ (m}^3\text{/kg)}$

50

40

30

20

10

0,5
1,5

Courbes $v = f\left(\frac{p}{P_0}, P_0\right)$
 $P_0 = 2, 3, \dots$ bars absolus

$\eta_j = 0,9$

2

3

4

5

6

7

8

9

PI.1.43

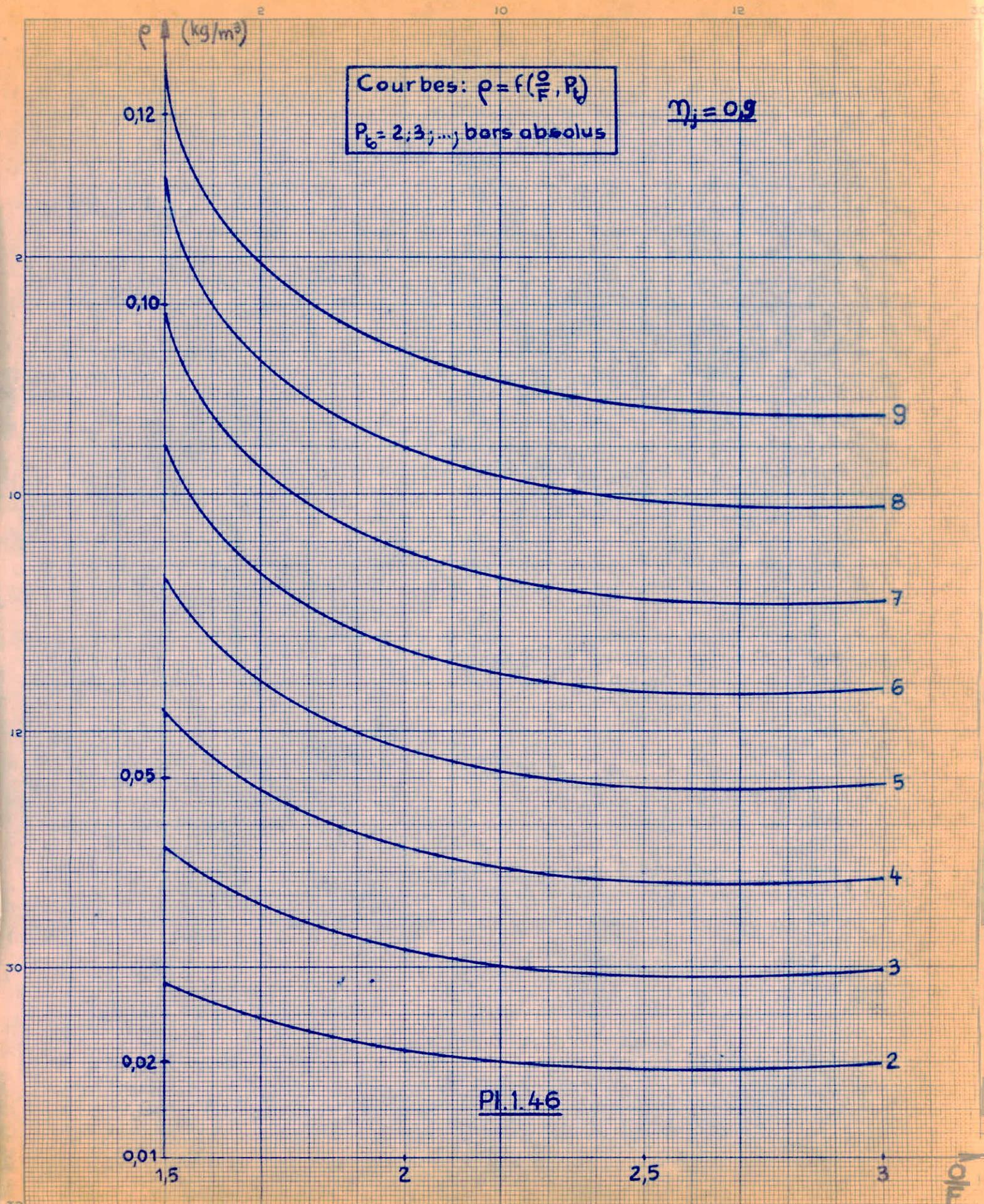
2,5

3

110

Prof. ROBERT CANSONY France

20



NOTE SUR L'ÉCOULEMENT DANS LA TUYÈRE

Les calculs faits dans le cas d'un écoulement isentropique montrent que le rapport $\frac{P}{P_{to}}$ est compris entre les valeurs : 0,073 et 0,079 (Cf Planche I.22) Ce qui correspond à un régime supersonique avec naissance d'ondes de choc obliques à la sortie de la tuyère. (Voir le cours de Gazodynamique de Mr MATTON. fig 2.I0 page 2.I6 : " Classification des écoulements dans une tuyère converg-divergente ")

Configurations du jet.

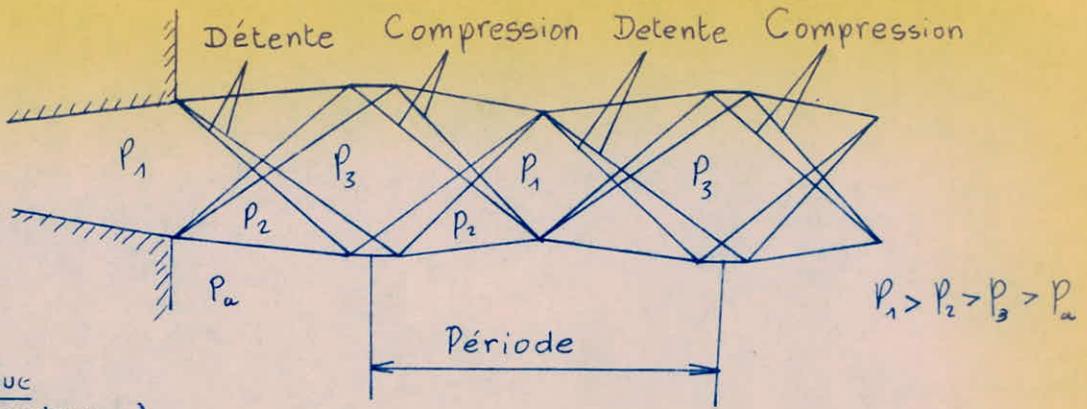
Le cas où la pression de sortie est supérieure à la pression atmosphérique conduit à une formation d'ondes de choc de détente à la sortie de la tuyère. (tuyère sous détendue) fig I Pl I.50

Le cas où la pression de sortie est inférieure à la pression atmosphérique correspond à une configuration du jet avec ondes de choc obliques de compression.

Sur les bords du jet, il y a réflexion des ondes de choc avec changement de signe : compression suivie d'une détente et ainsi de suite alternativement. Fig 2 Pl. I.50

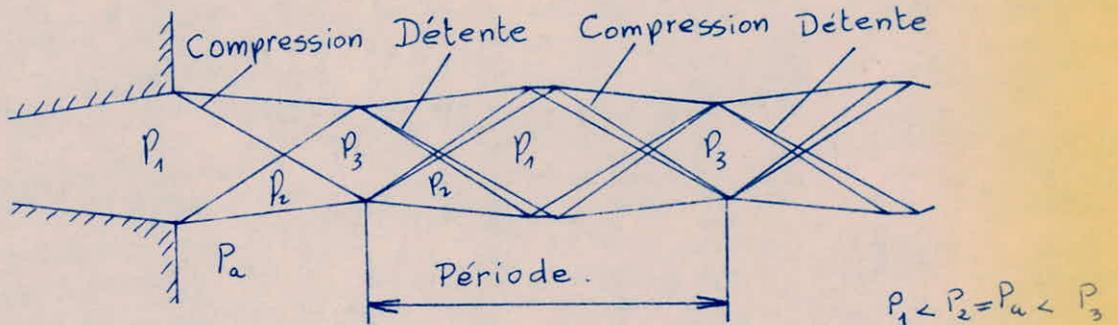
Le cas où la pression de sortie est très inférieure à la pression atmosphérique conduit à une configuration du jet schématisé par la figure 3 Pl I.50

Exemples d'écoulement de sortie tuyère :



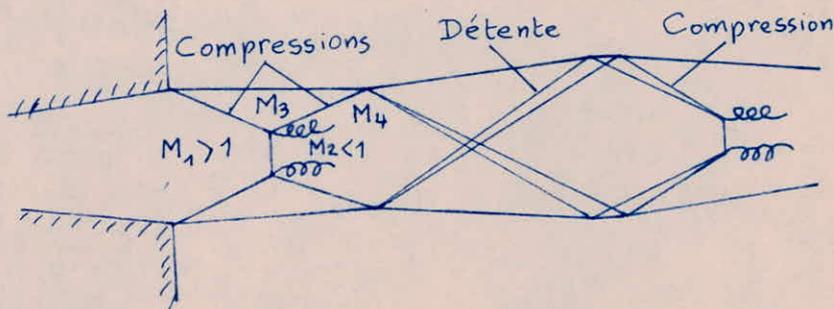
ère sous détendue
(pression de sortie supérieure à la pression atmosphérique)

Fig. 1



ère sur détendue
(pression de sortie légèrement inférieure à la pression atmosphérique)

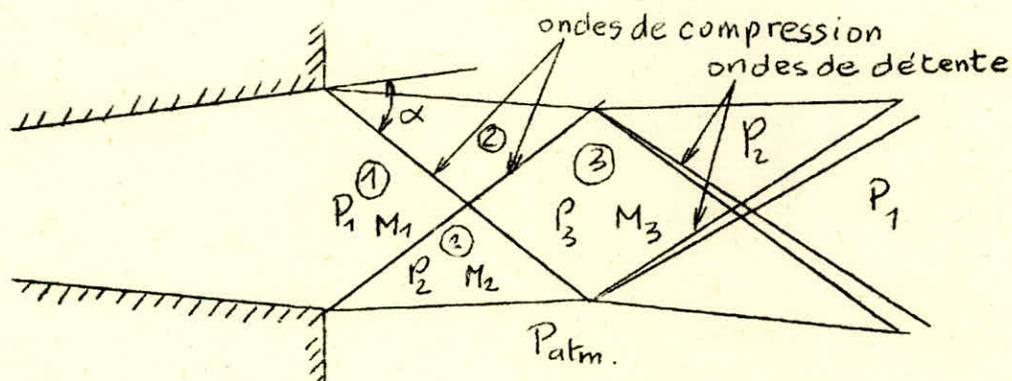
Fig. 2



ère surdétendue
(pression de sortie inférieure à la pression atmosphérique)

Fig. 3

Calcul de l'angle d'incidence de l'onde de choc oblique



A la sortie de la tuyère s'opère une brusque compression du jet qui passe de l'état (I) (pression de sortie), à l'état (2) (pression ambiante)

La relation :

$$\frac{P_2}{P_I} = \frac{2\gamma}{\gamma + 1} M_I^2 \sin^2 \alpha \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1}$$

lie les pressions statiques de l'état (I) avant l'onde de choc et de l'état (2) après l'onde de choc.

Puisque P_2 est toujours égale la pression atmosphérique (pour toutes nos valeurs de pression de chambre) et que les valeurs de P_I , γ , M_I avant le choc ont été déterminées dans les calculs précédents, on peut donc en déduire la valeur de α pour n'importe quelle valeur de la pression de sortie P_I par conséquent pour n'importe quelle pression de chambre.

On s'est contenté de calculer les valeurs de α correspondantes à chaque valeur de γ , P_I , M_I et de O/F. et ce pour une pression de chambre P_{t0} de 9 bar absolus qui donne des pressions P_I les plus voisines de la pression atmosphériques.

Les calculs sont illustrés par le tableau :

$$P_{t0} = 9 \text{ bars abs.}$$

O/F	γ	M_I	P_I (bars abs.)	α en deg
1,5	1,28	2,24	0,716	31,37
2	1,242	2,22	0,708	31,38
2,5	1,225	2,21	0,698	32,24
3	1,220	2,20	0,660	34,44

On remarque que pour une même pression de chambre, l'angle α reste à peu près constant quelque soit le rapport de mélange .

CHAPITRE II

- REALISATIONS PRATIQUES.-

2 . I - FONCTIONS A ASSURER -

--*-*-*-*-*-*-*

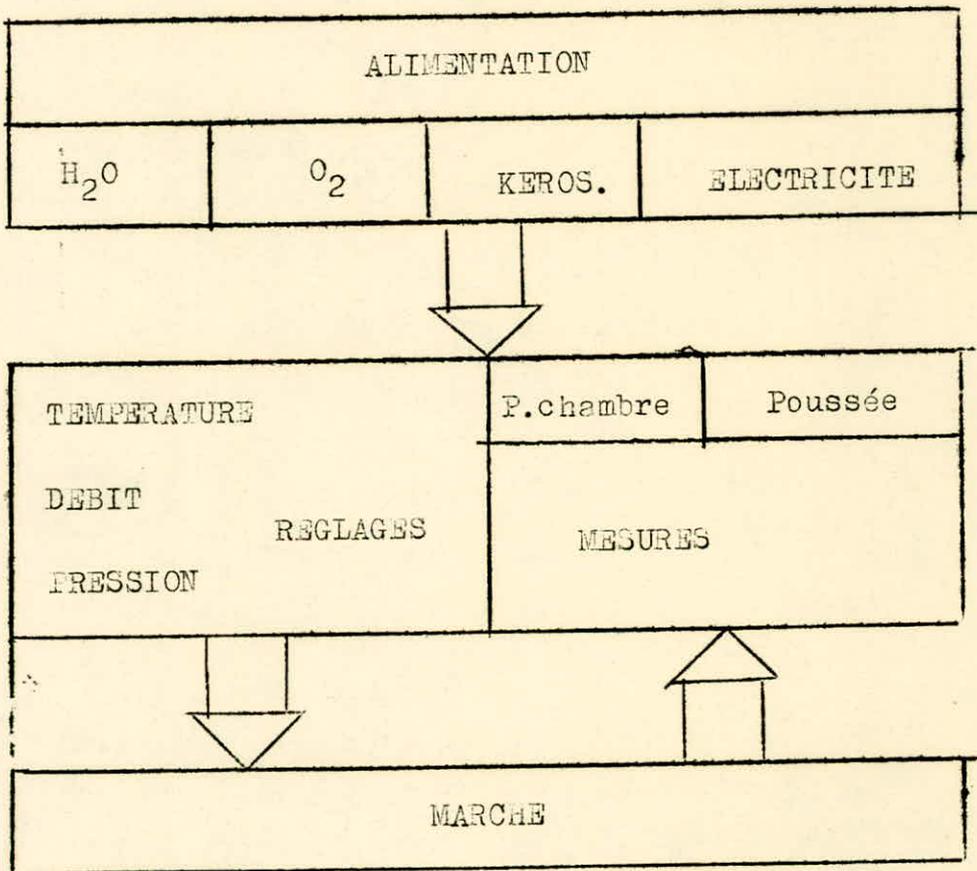
On se référera à la planche N° 2.2

Par mesure de sécurité, on loge le moteur lui - même à l'écart du pupitre de com ande .

(Possibilités de construire une chambre de protection)

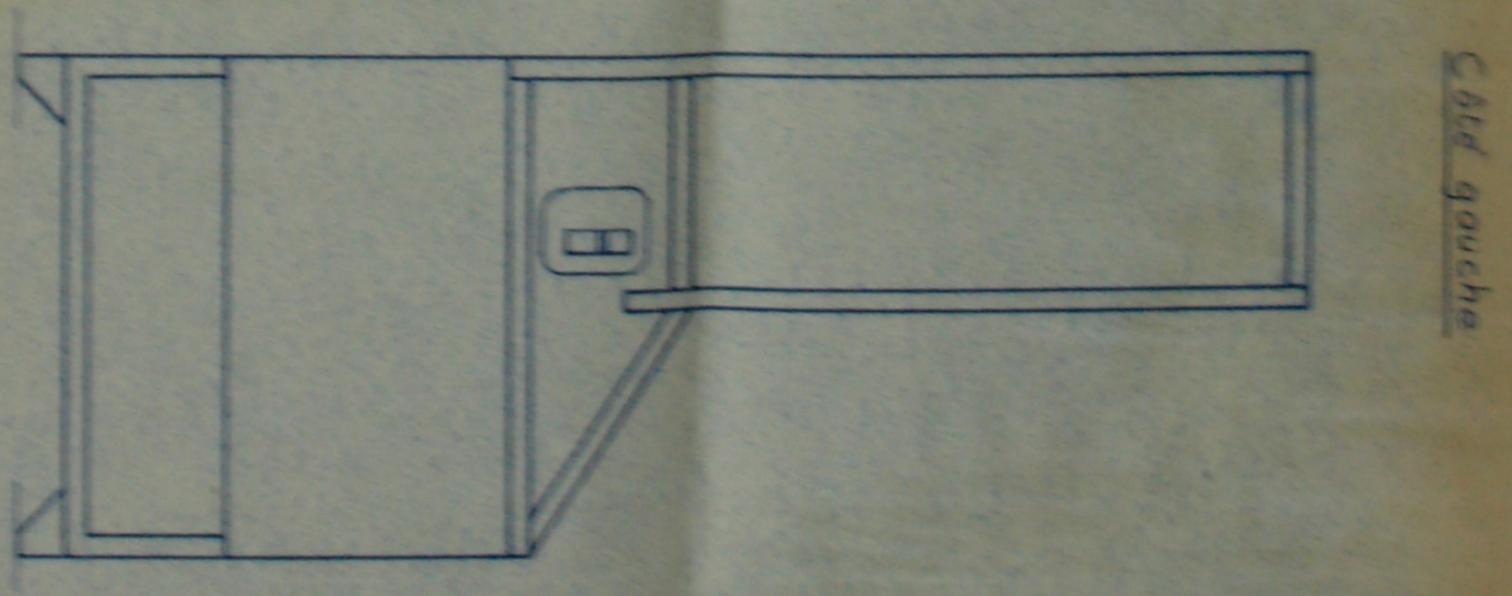
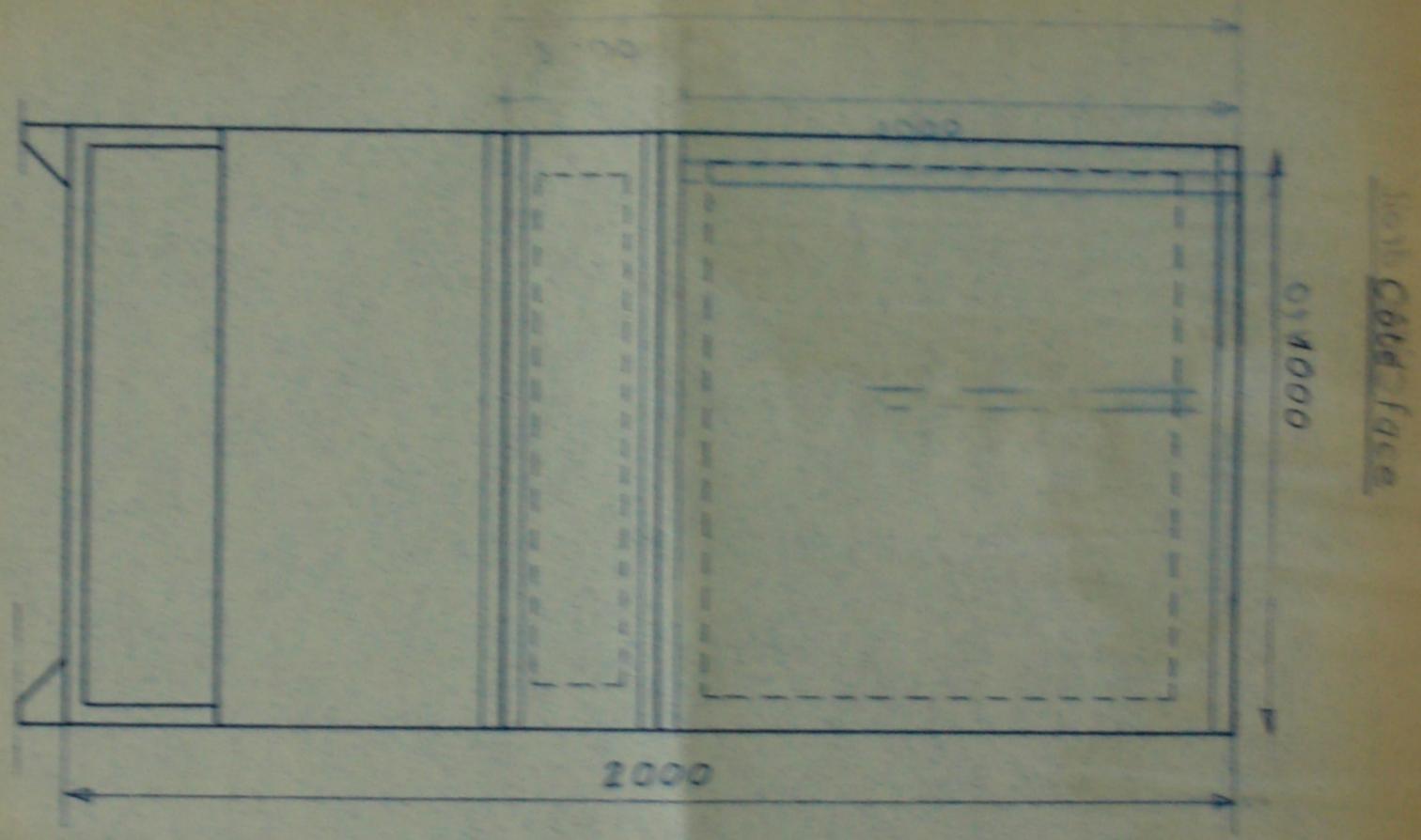
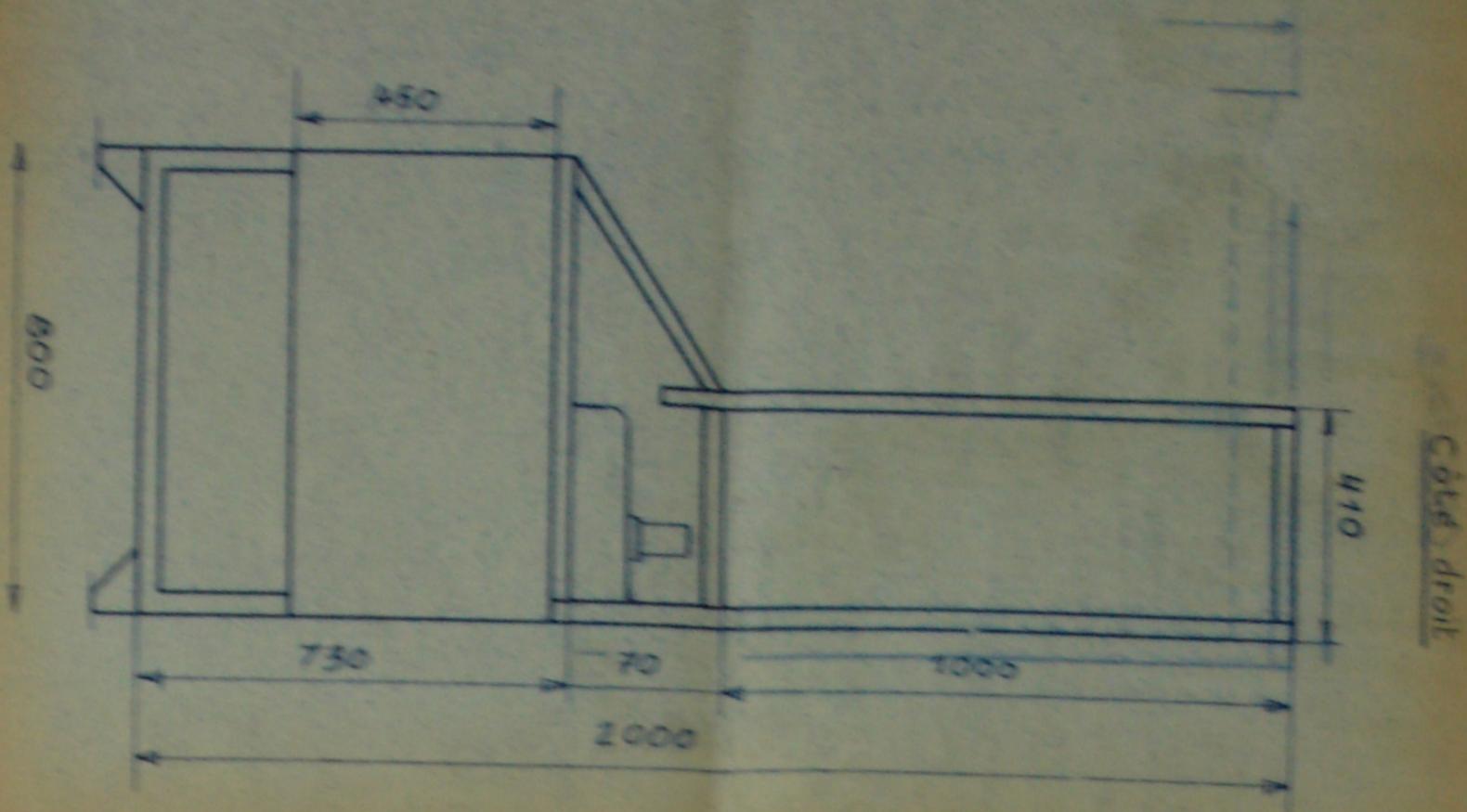
Logiquement, le pupitre de commande centralise et les organes de réglage et les instruments de mesure des différents paramètres.

ORGANIGRAMME DES FONCTIONS A ASSURER



2.2 ARMOIRE ET SUPPORT - MOTEUR.

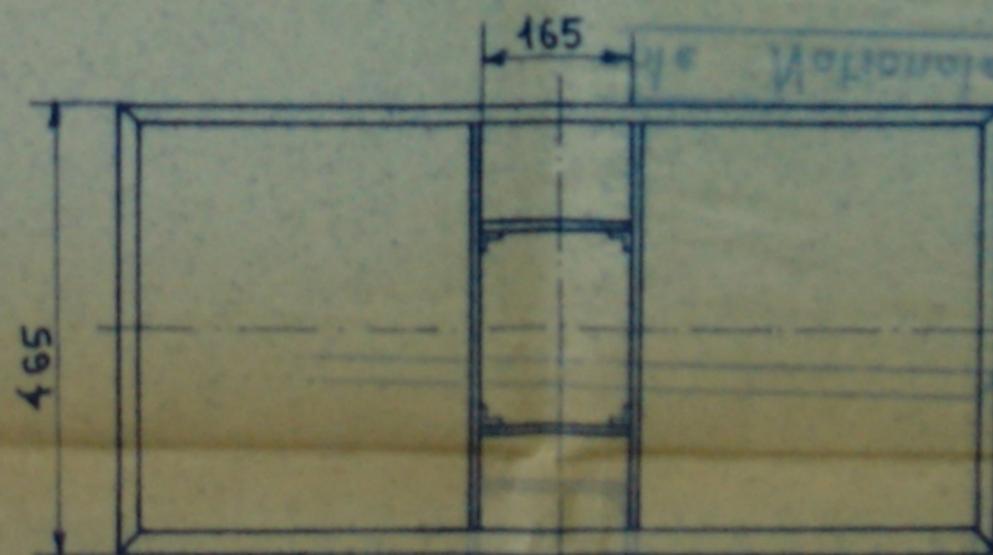
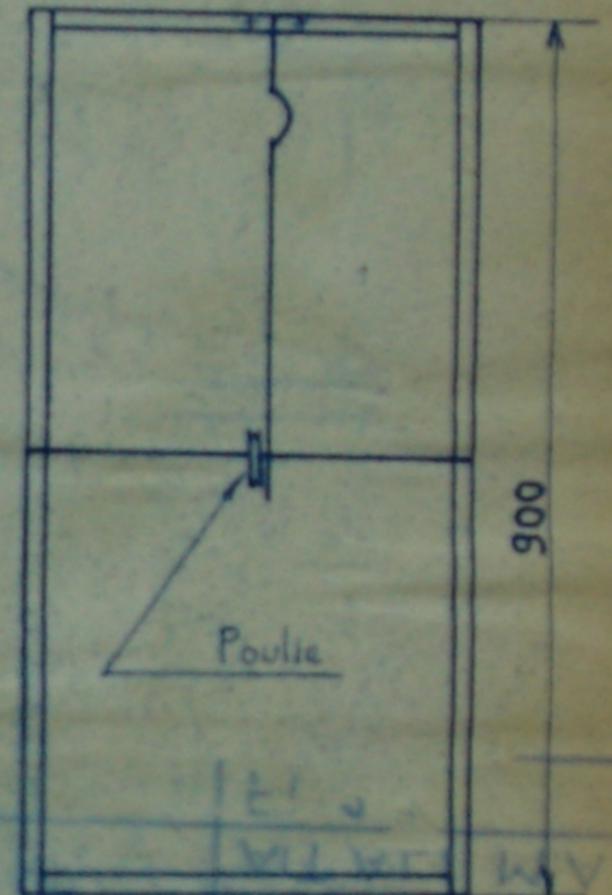
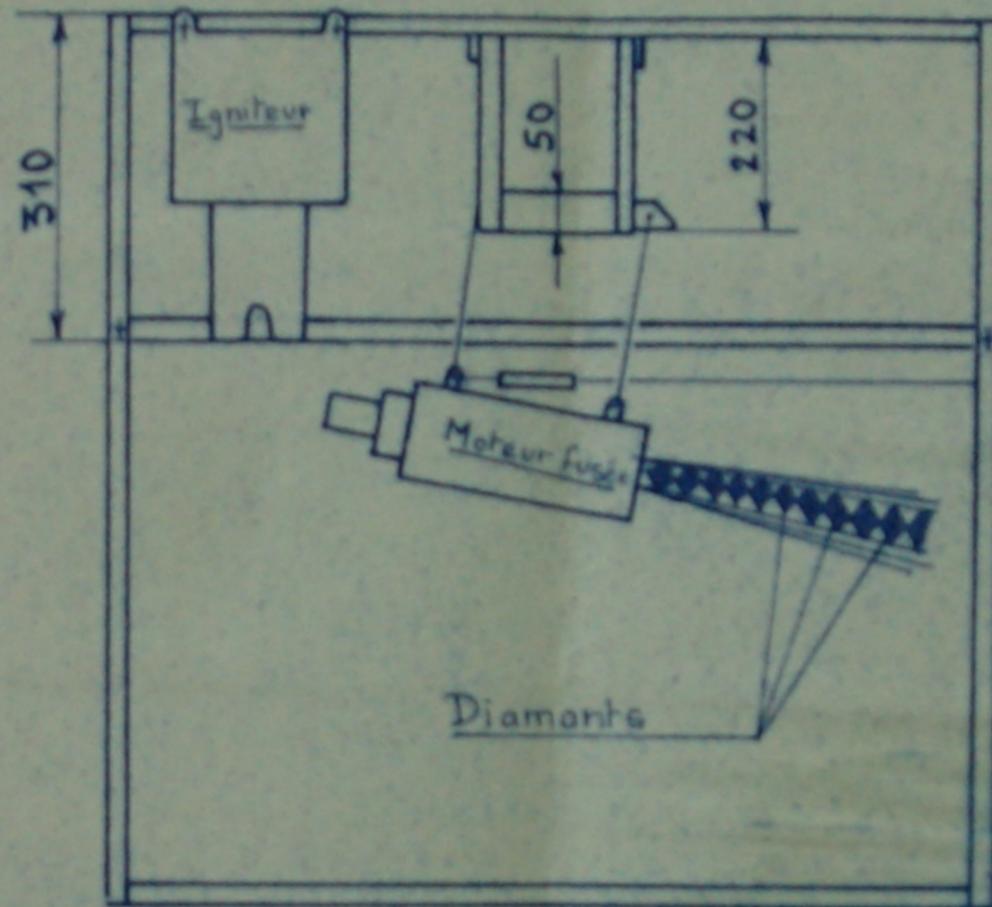
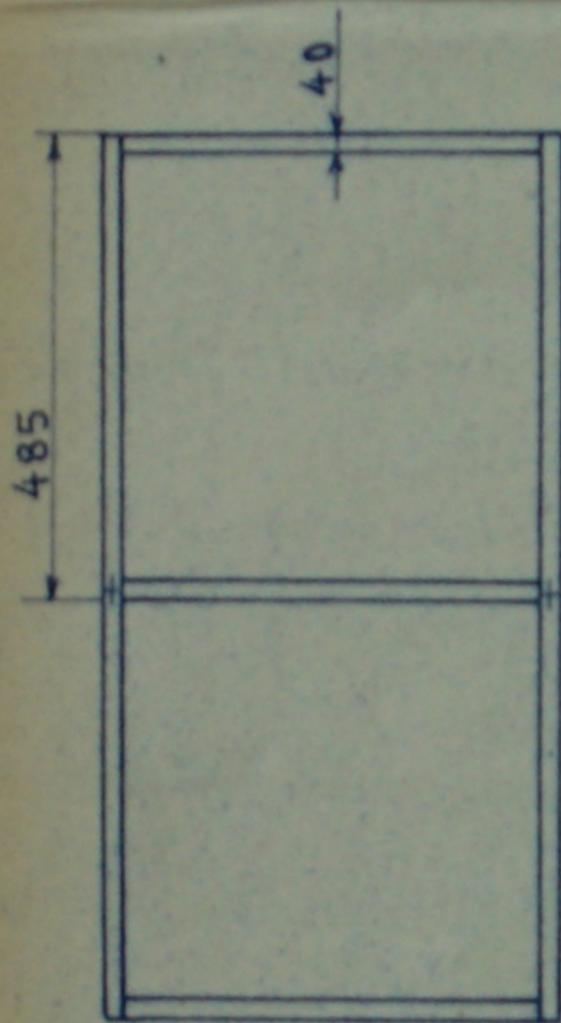
Se référer aux planches N^o : 2.3 et 2.4



Échelle : 1/50
 YADEL
 CHACAL
 AIT-ALI MA
 P.2.3

P.2.3
 21
 (signature)

Ecole Nationale Polytechnique	
BANC D'ESSAI moteur fusée : armoire de commande	AIT-ALI MA
	CHACAL Y
	YADEL Y
	Echelle : 1/50



CHASSIS MOTEUR (Banc fusée)

CHACAL X
YADEL X
AITALI M.A.

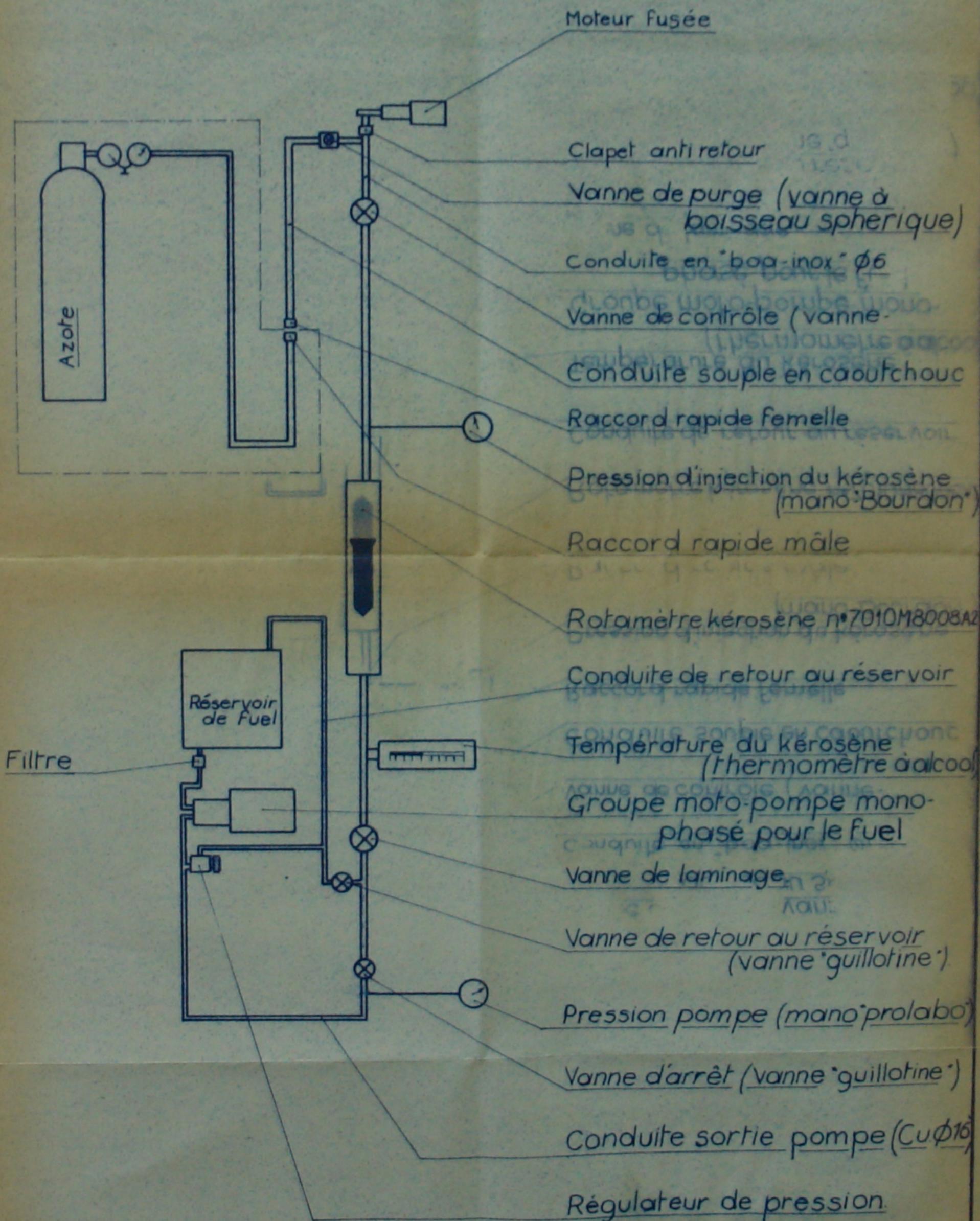
PM00275
Arant p. 2/1
(2)

Ecole Nationale Polytechnique	
CHASSIS MOTEUR (Banc fusée)	CHACAL X
	YADEL X
Echelle: 1/10	AITALI M.A.
	PI: 2.4

2 . 3 --- CIRCUIT KEROSENE ---

Voir planche N° 2.5 /

- Réservoir : Capacité 5 litres.
Autonomie de fonctionnement 15 mn au débit de 5 g/s.
- FILTRE : En toile laiton à maille très fine placé dans un té disposé en siphon à la sortie du réservoir.
- * Un groupe moto-pompe :
Débit maxi 5 g/s à pression maxi 35 bar.
- * Thermomètre à alcool gradué de 0 à 100 ° C.
- * Débitmètre fischer 7010 M 8008 A2 gradué de 0 à 5 g/s de kérosène.
- * Manomètre Bourdon 0 à 40 Bar.



PM002 75

Avant p. 22

École Nationale Polytechnique CHACAL Y.

Projet "Banc-Fusée":

CIRCUIT KÉROSÈNE

AIT-ALI MA

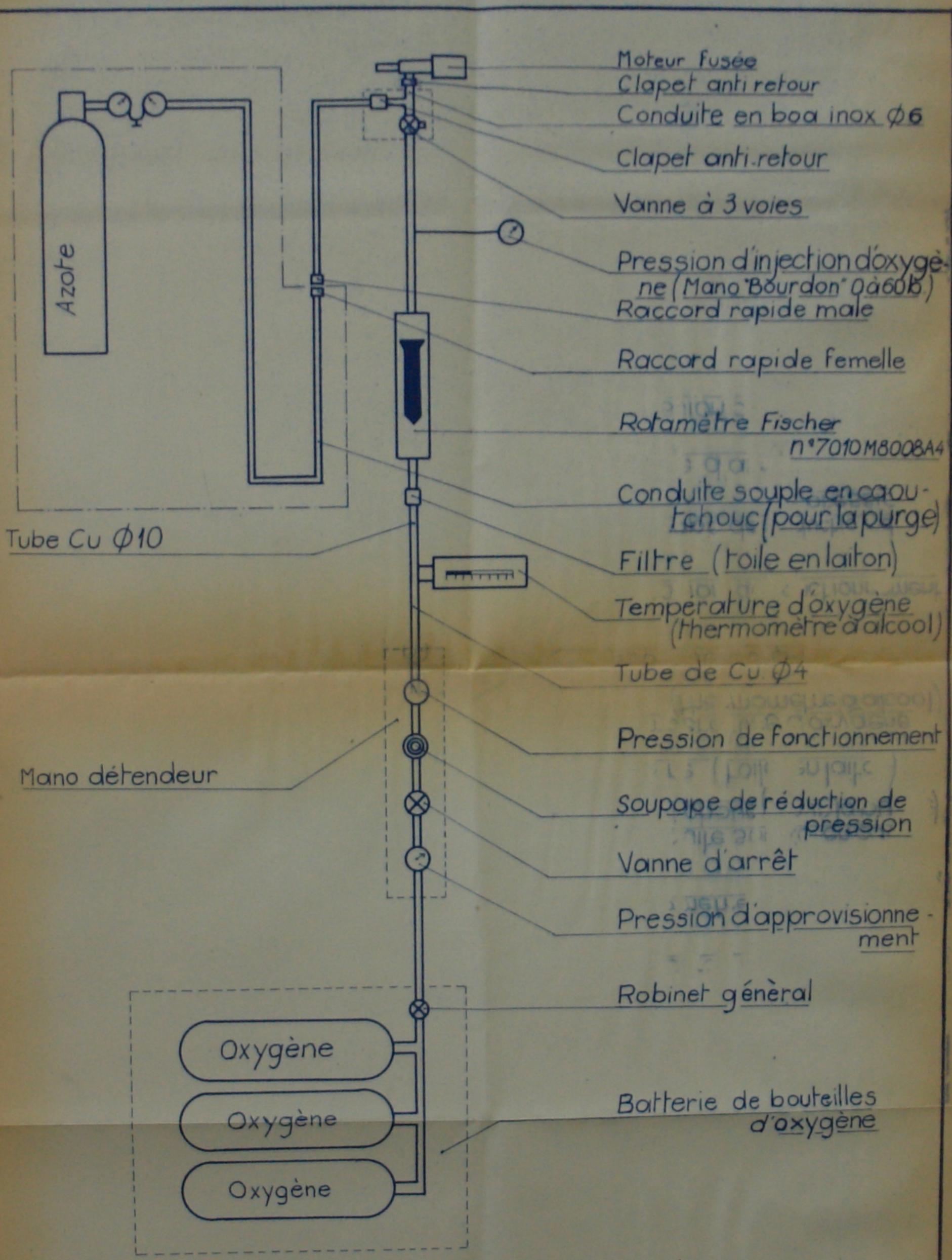
YADEL Y.

P n°: 2.5

2 . 4 --- CIRCUIT OXYGENE ---

Voir planche N° 2.6 /

- * Batterie de 9 bouteilles d'oxygène.
Capacité = 12 m³ à 150 Bar.
- * Manodétendeur 300 - 60 Bar.
- * Thermomètre à alcool : 0 - 100 ° C.
- * Débitmètre Fischer 7010 M 8008 A 4 0 - 130 mm.
Voir courbes étalonnage O₂ planches N°
- * Filtre toile laiton installé à l'entrée du débitmètre.
- * Mano Bourdon 0 à 60 Bar.



PM00275
 Après P. 22

École Nationale Polytechnique	CHACAL Y.
Projet "Banc-Fusée":	AIT-ALI MA
CIRCUIT OXYGÈNE	YADEL Y.
	PLn°2.6

g/s

7,5

5

2,5

0

5

10

15

20

25

5

10

15

20

50

100

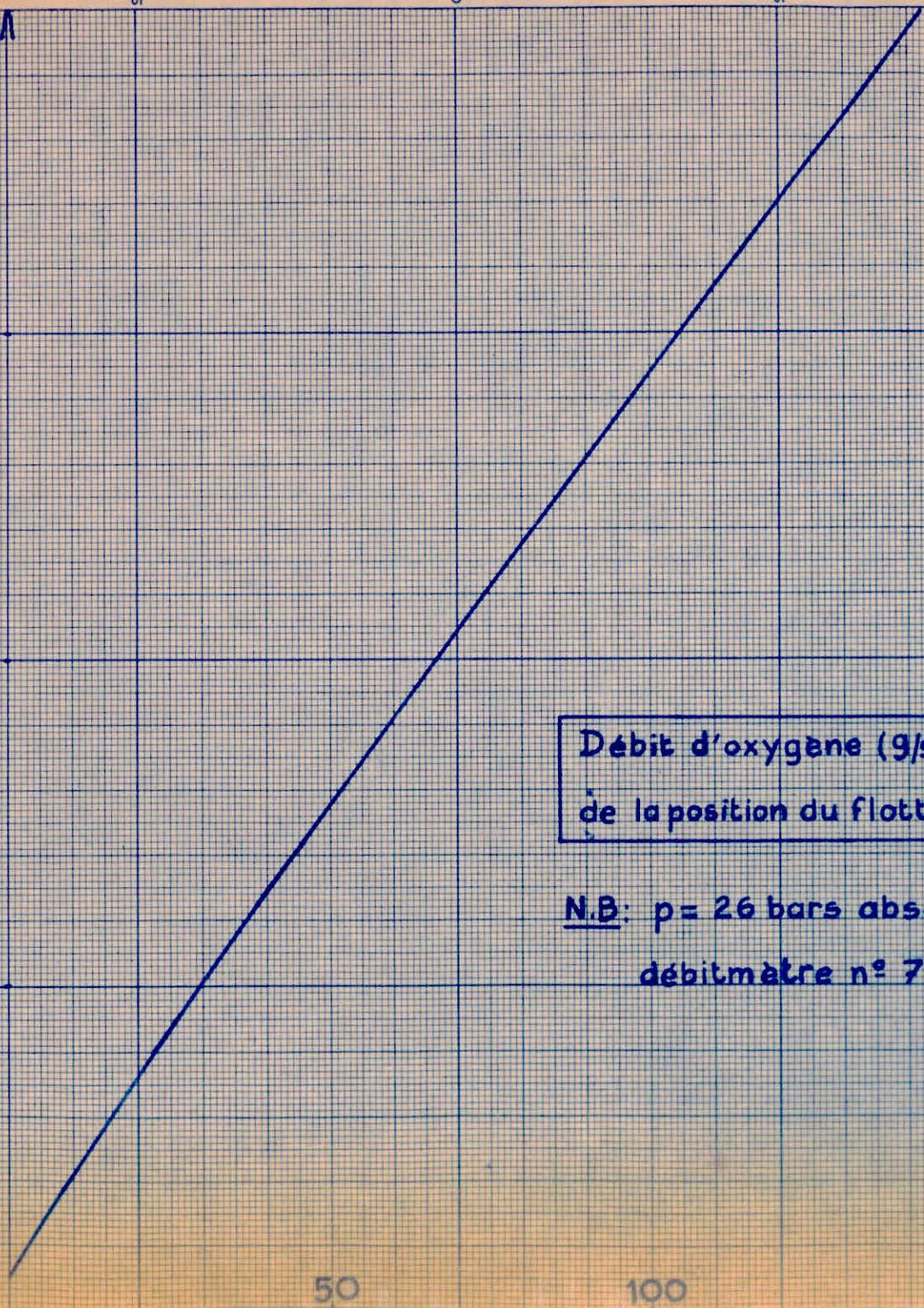
150

mm

Débit d'oxygène (g/s) en fonction
de la position du flotteur (mm)

N.B.: $p = 26$ bars absolus.

débitmètre n° 7010 M 8008 A4



g/s

7,5

5

2,5

0

50

100

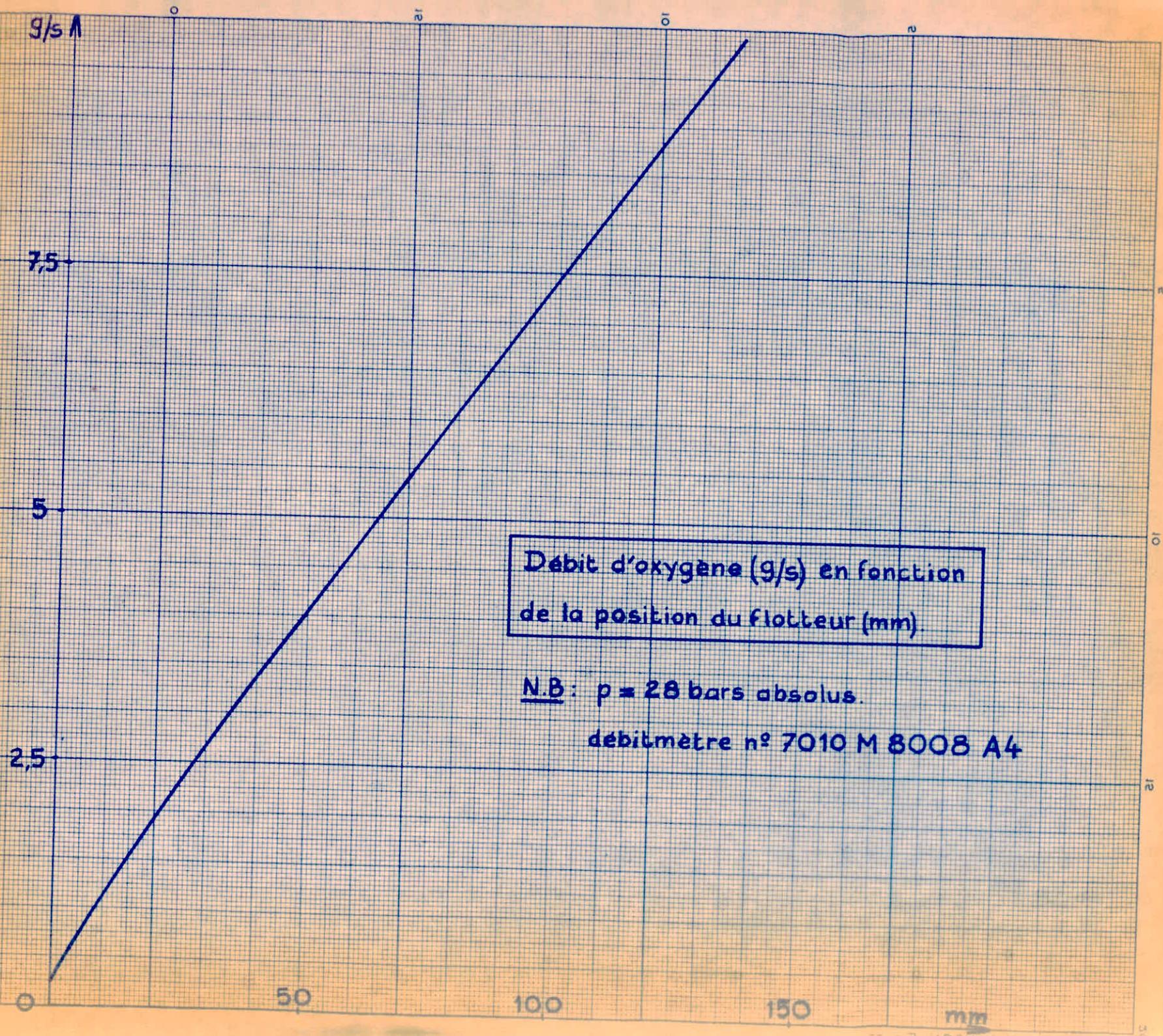
150

mm

Débit d'oxygène (g/s) en fonction
de la position du flotteur (mm).

N.B.: $p = 27$ bars absolus.

débitmètre n° 7010 M 8008 A 4



Débit d'oxygène (g/s) en fonction de la position du flotteur (mm).

N.B.: $p = 28$ bars absolus.

débitmètre n° 7010 M 8008 A4

g/s

7,5

5

2,5

0

50

100

150

mm

Débit d'oxygène (g/s) en fonction
de la position du flotteur (mm).

N.B. p = 29 bars absolus

Débitmètre n° 7010M8008 A4

g/s

7,5

5

2,5

Courbe d'étalonnage:

Débit (g/s) en fonction de la
position du flotteur (mm)

OTIC-FISHER & PORTER
CLERMONT-FD (P. de D)

n° 7010 M 8008 A4

Par: M.C. Le: 17-12-71

g/s $p = 30$ bars absolus
 $t = 20^{\circ}\text{C}$

O₂ $p_s = 1,429$ à $0,760$.

Poste: 3.

50

100

150

mm

2 . 5 . --- CIRCUIT EAU DE REFROIDISSEMENT ---

Voir planche N° 2.I /

I₁ faut pouvoir disposer d'un débit mini de 27 l/mn.

* I₁ a été jugé utile de monter une mote-pompe Guinard/

* Pour éviter tous risques d'échauffement, on mesure la température de ~~l'eau~~ l'eau avant et après refroidissement.

2.6 CIRCUIT ELECTRIQUE .

Voir planche N° : 2.7 /

Il assure les fonctions principales suivantes :

a) L'alimentation en monophasé 220 V de la pompe à combustible, de l'appareil de mise à feu et les auxiliaires (appareils de mesure, éclairage...)

b) L'alimentation en triphasé 380 V de la pompe à eau de refroidissement.

Le circuit électrique comprend :

- I disjoncteur Télémécanique (0 à 10 A) associé à un voyant vert.
- I disjoncteur Télémécanique (1,6 à 4 A) associé à un voyant rouge commandant la pompe à eau.
- I interrupteur de type simple monophasé commandant la pompe à combustible associé à un voyant rouge.
- 2 prises auxiliaires 220 V monophasé.
- I bouton poussoir pour la mise à feu.

Le branchement au réseau du Laboratoire est fait avec trois phases et un neutre. Une "terre" générale est liée au circuit

Remarque importante

Nous ne disposons pas de prises standard offrant la possibilité d'avoir 3 phases et un neutre.

Pour nos besoins, nous avons modifié une prise normalisée (3 phases + I masse) en changeant le plot "masse" en plot "neutre". Le fil de masse restant ainsi indépendant du câble de branchement Pupitre- réseau.

.....

2.7 MESURE DE LA PRESSION DE CHAMBRE.

- Manomètre Cambridge gradué de 0 à 14 bar.

Remarque : C'est la pression de chambre qui indique indubitablement que la combustion se réalise.

2.8 DISPOSITIF DE MESURE SE POUSSÉE.

2.8.1 Principe et Matériels utilisés .

Le dispositif de mesure de poussée utilise les jauges de contraintes à fil résistant (extensométrie), puisque le Laboratoire dispose d'un pont de mesure Philips .

La poussée du moteur est transmise en traction à une éprouvette en acier doux qui porte les jauges Philips

($R = 120 \text{ ohms} \pm 0,25 \%$, $k = 2,01 \pm 1 \%$)

2.8.2 Notions sur les jauges de contraintes .

Les jauges de contraintes sont des capteurs électromécaniques collés sur la surface d'un matériau de caractéristiques connues .

Une variation de la contrainte de ce matériau sous l'action d'un effort donné, entraîne une déformation géométrique traduite par une variation de la résistance électrique de la jauge. Cette variation est linéaire et peut être mesurée.

Bien entendu, l'allongement relatif de l'éprouvette sur laquelle est collée la jauge reste dans les limites du domaine d'élasticité régi par la loi de Hooke tel que :

Si F désigne l'effort auquel est soumise l'éprouvette et S la section de cette éprouvette on ait :

$$\sigma = \frac{F}{S} = E \cdot \epsilon \quad (1)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad \text{allongement relatif.}$$

E = Module de Young et contrainte engendrée dans le matériau

Il existe ainsi, une relation simple entre l'allongement relatif $\frac{\Delta l}{l}$ et la variation relative $\frac{\Delta R}{R}$ de la résistance électrique de la jauge :

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l} \quad (2)$$

K : coefficient de sensibilité de la jauge

2.8.3 Calcul de la section de l'éprouvette.

On se fixe un allongement relatif $\epsilon = 10^{-6}$ et on se propose de déterminer la section de l'éprouvette pour un effort

$$F = 100 \text{ g} = 0,1 \text{ daN.}$$

Le module de Young correspondant au matériau choisi est :

$$E = 2 \cdot 10^6 \text{ daN /mm}^2 \quad \text{D'après la relation (1) on a :}$$

$$S = \frac{F}{\epsilon \cdot E} = \frac{0,1}{2 \cdot 10^6 \cdot 10^{-6}} = 5 \text{ mm}^2$$

2.8.4 Collage des Jauges

- Se référer à la notice PHILIPS.

2.8.5 METHODE DE MESURE .

ON utilise un pont extensométrique PHILIPS PR 9303.
IL est branché en demi pont (1 jauge active + 1 jauge de compensation en température)

Voir schéma ci-après

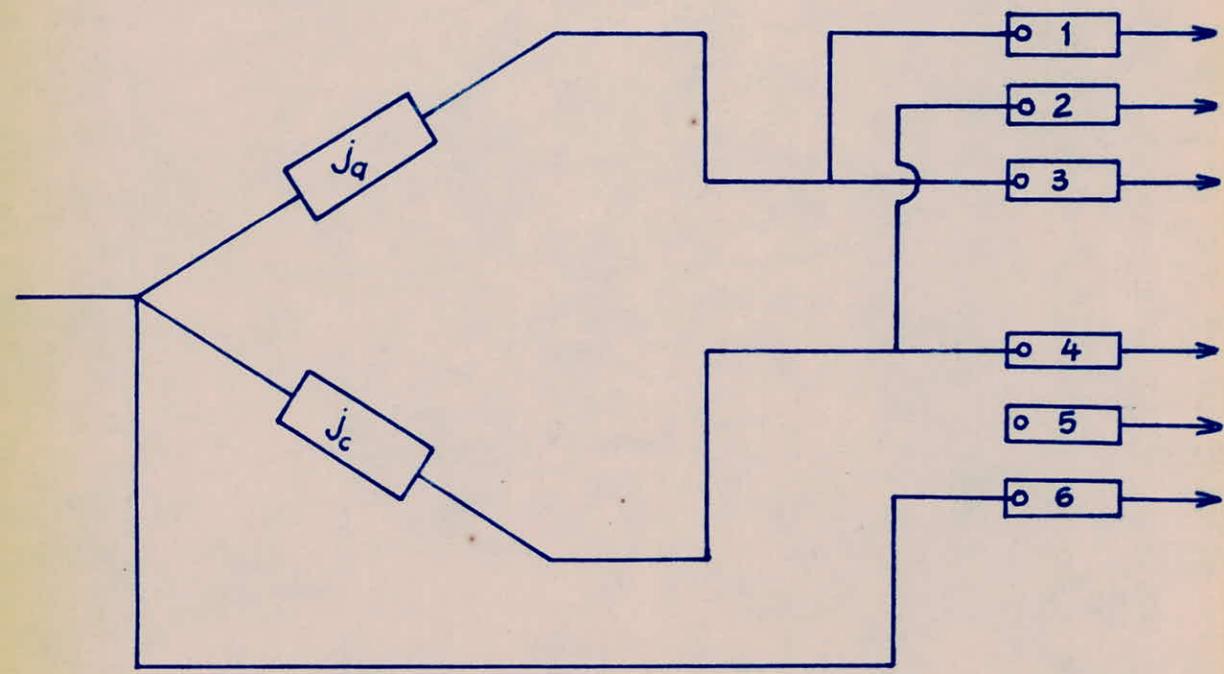
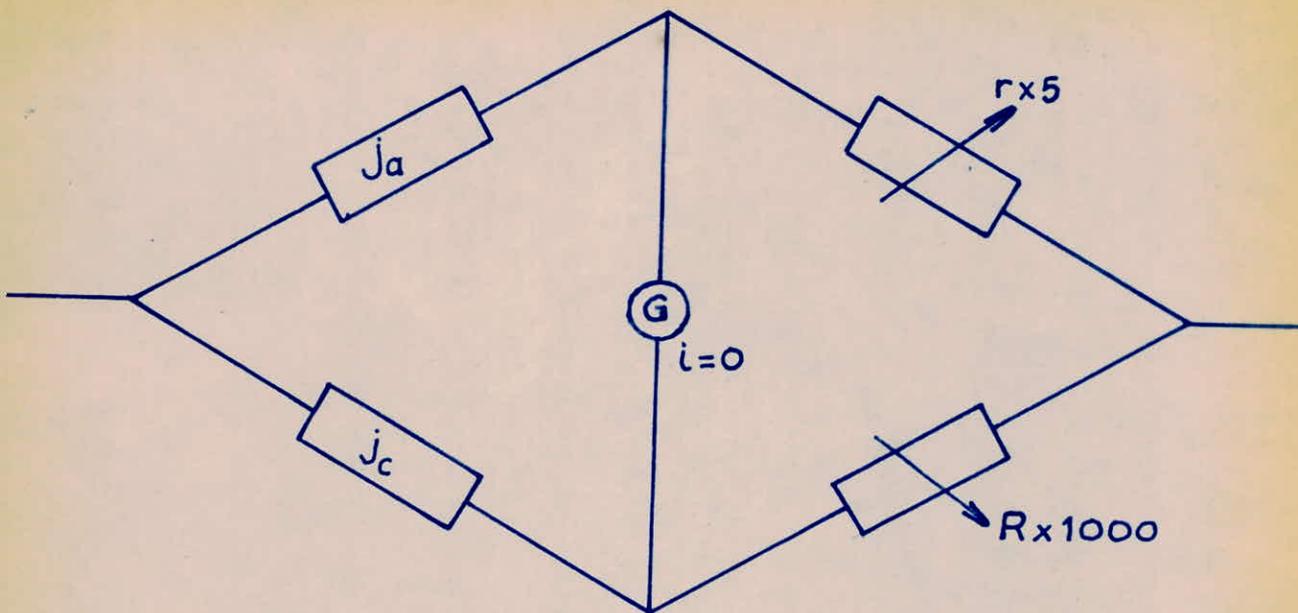
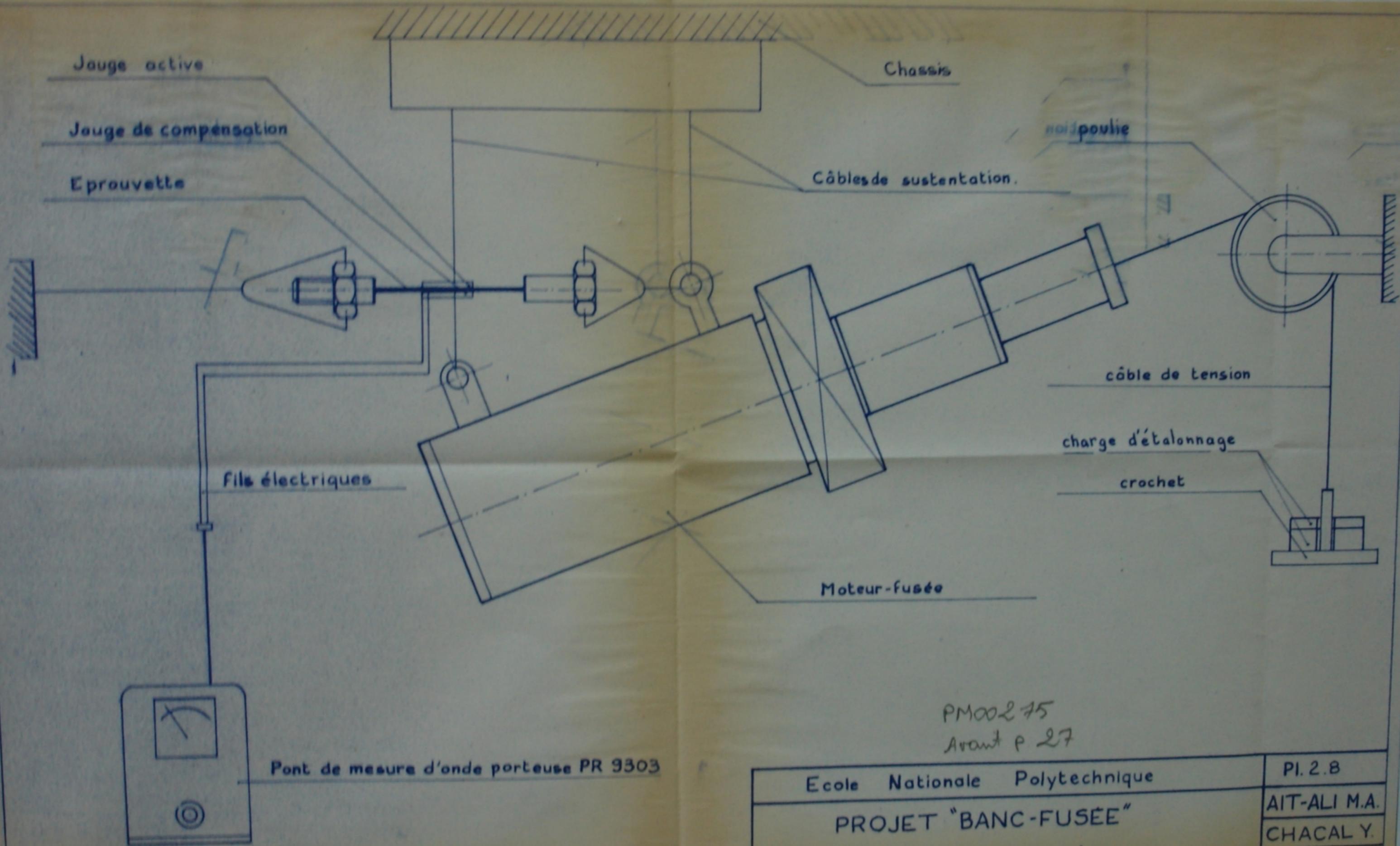


Schéma de branchement du pont.



PM00275
 Avant p 27

Ecole Nationale Polytechnique	PI. 2.8
PROJET "BANC-FUSÉE"	AIT-ALI M.A.
Balance de poussée	CHACAL Y.
	YADEL Y.

CHAPITRE III : ESSAIS

OPERATIONS DE CONTROLE AVANT LA MISE A FEU

- 1 - S'assurer qu'un débit d'eau suffisant (27 litres par minute minimum) traverse le circuit de refroidissement, sans aucune fuite. Un contrôle visuel doit être fait avant et après chaque séance.
- 2 - Essayer les systèmes électriques (voyants). En appuyant sur le bouton de mise à feu, on doit entendre un claquement toutes les demi-secondes environ. On peut utiliser un miroir disposé à l'orifice de la tuyère pour constater l'étincelle dans la chambre de combustion.
- 3 - PURGE A L'AZOTE. Ouvrir les deux circuits de purge en utilisant les robinets des bouteilles d'azote. Vérifier la pression dans les bouteilles. Ensuite, vérifier séparément chaque circuit de purge (oxygène + kérosène) et s'assurer que le gaz passe dans la tuyère du moteur.
- 4 - CIRCUIT OXYGENE. Fermer toutes les vannes sur le pupitre avant d'ouvrir les vannes des bouteilles. Purger le circuit à l'azote pendant 5 secondes.
 - Vérifier le contenu des bouteilles d'oxygène.
 - Vérifier la pression d'alimentation est au minimum 37 Kg/cm². Ouvrir la vanne d'arrêt. Le mano de contrôle doit être réglé sur 35 kg/cm².
Ouvrir la vanne de réglage au début et vérifier que la pression reste constante pour les débits d'essai.
Fermer toutes les vannes d'arrêt et laisser tomber la pression dans le circuit avec la vanne de réglage du débit et finalement purger à l'azote.
- 5 - CIRCUIT KEROSENE. Vérifier que toutes les vannes (de contrôle et d'arrêt) du pupitre sont fermées.
 - Vérifier le niveau du réservoir.
 - Mettre en marche la pompe d'alimentation.
 - Vérifier que le mano indique environ 30 bar.
 - Ouvrir la vanne d'arrêt et régler le mano de contrôle à 30 bar.
 - Ouvrir la vanne de contrôle du débit et vérifier la stabilité du débit et de la pression aux conditions d'essai.

On doit placer un récipient sous le moteur fusée pour récupérer le kérosène.

Finalement, arrêter la pompe; fermer toutes les vannes et laisser tomber la pression, avant de purger à l'azote.

DEROULEMENT DE LA MISE EN MARCHE .

-
- 1 - Vérifier la mise au zéro de l'indicateur de poussée.
 - 2 - Fermer toutes les vannes d'arrêt et de réglage.
 - 3 - Ouvrir le circuit d'eau et vérifier le débit.
 - 4 - Vérifier le contenu des bouteilles d'azote et ensuite la purge effective à l'azote de chaque circuit (bruit caractéristique).
 - 5 - Ouvrir doucement l'alimentation en oxygène aux bouteilles en vérifiant la pression d'alimentation (manodétendeur).
 - 6 - Vérifier le contenu du réservoir de kérosène et mettre en marche la pompe; vérifier la pression d'alimentation sur le mano.

M I S E A F E U . -

-
- 1 - Ouvrir la vanne de circulation de l'eau de refroidissement, Vérifier que le débit dépasse, 27 litres par minute.
 - 2 - Purger à l'azote le circuit d'oxygène.
 - 3 - Purger à l'azote le circuit de kérosène.
 - 4 - Vérifier le fonctionnement de l'allumage.
 - 5 - Vérifier que la vanne de contrôle du débit d'oxygène est fermée et ouvrir la vanne d'arrêt. Régler la pression d'alimentation à 34 Kg/cm².
 - 6 - Vérifier que la vanne de réglage du débit de kérosène est fermée et mettre en marche la pompe. Puis ouvrir la vanne d'arrêt. Régler la vanne de contrôle de la pression d'alimentation pour obtenir 30 kg/cm².
 - 7 - Maintenir appuyé le bouton d'allumage. En entendant l'étincelle ouvrir la vanne de réglage du débit d'oxygène jusqu'à 27,2 kg/h (7,55 g/s, flotteur à 94 mm).

CONSIGNES A RESPECTER EN CAS D'INCIDENT.-

-----ooOoo-----

Tous les manipulateurs doivent s'entraîner à appliquer correctement toutes les opérations ci-dessous dans l'ordre de description.

- 1 - FERMER à la fois les vannes de contrôle de l'OXYGENE et de KEROSENE aussi rapidement que possible.
- 2 - FERMER les deux vannes d'arrêt.
- 3 - FERMER tous les robinets des bouteilles d'oxygène.
- 4 - COUPER l'alimentation électrique de la pompe kérosène.
- 5 - FERMER la vanne de contrôle de l'eau.
- 6 - FERMER les vannes des bouteilles d'azote.

L'incident le plus à craindre est l'interruption du circuit de refroidissement à l'eau.

INTERPRETATION ET COMPARAISON DES RESULTATS

Comparaison avec l'essai du constructeur (cf. calculs d'après cet essai.)

Nous trouvons des impulsions spécifiques et des poussées du même ordre de grandeur : 200 s pour l'impulsion spécifique, et 3 kgf pour la poussée. Mais nos impulsions spécifiques ont été obtenues pour des rapports de mélange différents de ceux du Constructeur.

Comparaison avec la courbe des Performances-Types

Tableau comparatif .

F/O	F(N)		I _s (s)		P _{ch} (bar rel.)	
	Moteur E.N.P.A	Constr.	Moteur E.N.P	Constr	Moteur E.N.P	Constr
0,474	25,21	26,3	184	150	7,2	6,89
0,495	31,15	30,2	219	159	7,75	8,25

Comparaison à la courbe $I_s = f(O/F)$ courbe pratique donnée dans la notice de calculs du Constructeur. (Pl 3.4)

Nous avons pu placer les Quatre derniers points pour lesquels nos impulsions spécifiques ont des valeurs de l'ordre de 200 s. Mais cette courbe ne spécifie pas la pression de chambre? Nous remarquons aussi, que pour les pressions de chambre $\ll 5$, nos impulsions spécifiques sont $\ll 100s$. Cela peut s'expliquer par le fait que pour de faibles pressions de chambre, le rendement du propulseur est nettement faible; car le pourcentage des pertes est prépondérant pour de tels régimes en supposant

les mêmes pertes pour toutes les pressions de chambre (comme pour toutes les machines)/

On remarque que nos rapports de mélange (O/F) varient de 1,8 à 2,26. Nous sommes donc dans la plage de la courbe donnée par le constructeur. Pour les T.P, il est conseillé au cas où la pression de chambre est élevée, de comparer les résultats à cette courbe.

Remarque importante .

On constate une nette différence entre les impulsions spécifiques données par les courbes de performances types, et celles données par la courbe $I_s = f(O/F)$ accompagnant la notice de calculs du constructeur et dont nous ignorons l'origine .

Performances types : $F/O = 0,15$ à $0,55$ $\rightarrow I_s = 130$ à 170
Notice Constructeur : $F/O = 0,278$ à $0,55$ $\rightarrow I_s = 205$ à 220
(cf Planches /)

Comparaison avec nos Calculs théoriques et estimation du

Rendement de propulsion :

Nos impulsions spécifiques théoriques pour les fortes pressions de chambre sont telles que:

$$\eta_j = 0,9 \rightarrow I_s = 195 \text{ à } 225 \text{ s}$$

$$\eta_j = 0,8 \rightarrow I_s = 185 \text{ à } 215 \text{ s}$$

$$\eta_j = 0,7 \rightarrow I_s = 170 \text{ à } 200 \text{ s}$$

Seules les valeurs théoriques correspondant à $\eta_j = 0,9$ sont comparables à nos valeurs expérimentales (ordre de 200).

Nous pouvons conclure que l'efficacité adiabatique de notre tuyère η_j (rendement de propulsion) est de l'ordre de 0,9. Voir les calculs faits à partir des courbes données dans la notice de calculs du Constructeur.

Comme $\eta_j = 0,9$, nous ne retiendrons pour l'établissement de notre polycopié que les différentes courbes théoriques tracées pour ce rendement de propulsion.

Quant à celles établies pour $\eta_j = 0,8$ et $\eta_j = 0,7$; elles figureront aux archives.

 Comparaison des impulsions spécifiques expérimentales
 et théoriques $I_s = f(O/F)$ pour différentes pressions de
 chambre. (tuyère adaptée)

O/F	I_s (sec)		Pression chambre (bar rel.)	
	pratique	théorique	pratique	théorique
1,815	53	155	2	2
1,520	93	155	3	3
1,792	136	188	5	5
2,110	159	200	6	6
2,110	184	207	7,2	7
2,020	219	209	7,75	8
2,018	200	-	5,55	5,55
2,260	2 05	-	6,55	6,55

Remarques

- Pour les faibles pressions de chambre, nos impulsions spécifiques expérimentales diffèrent beaucoup de celles d'une tuyère adaptée, ce qui est normal, puisque pour ces pressions les pertes sont importantes.

- Pour les fortes pressions de chambre, ces mêmes impulsions spécifiques expérimentales se rapprochent de celles d'une tuyère adaptée.

Cela s'explique par le fait que plus la pression de chambre est élevée, plus la pression de sortie est élevée. (cf Pl I.34)

POUR une pression de chambre de 8 bar relatifs, la pression de

Sortie est de l'ordre de 0,7 bar.

Ainsi, pour des pressions de chambre élevées, on se rapproche des conditions adaptées.

Vitesse caractéristique .

Pour les faibles pressions de chambre, nous sommes trop bas par rapport à la courbe théorique avancée par le Constructeur

Mais pour les fortes pressions de chambre, nous sommes nettement au-dessus. Nous dépassons même 2000 m/ sec.

Théoriquement, d'après le Constructeur, $\dot{c}^* = 1860$ m /s pour un O/F voisin de 2.

La raison est que les débits de propergol correspondant à nos pressions de chambre ,sont comparativement plus faibles.

voir la formule ci-dessous :

$$\dot{c}^* = \frac{V_j}{C_f} = \frac{g \cdot I_s}{\frac{\dot{m}}{P_t \cdot S^*}} .$$

CALCUL D'ERREUR SUR L'IMPULSION SPECIFIQUE

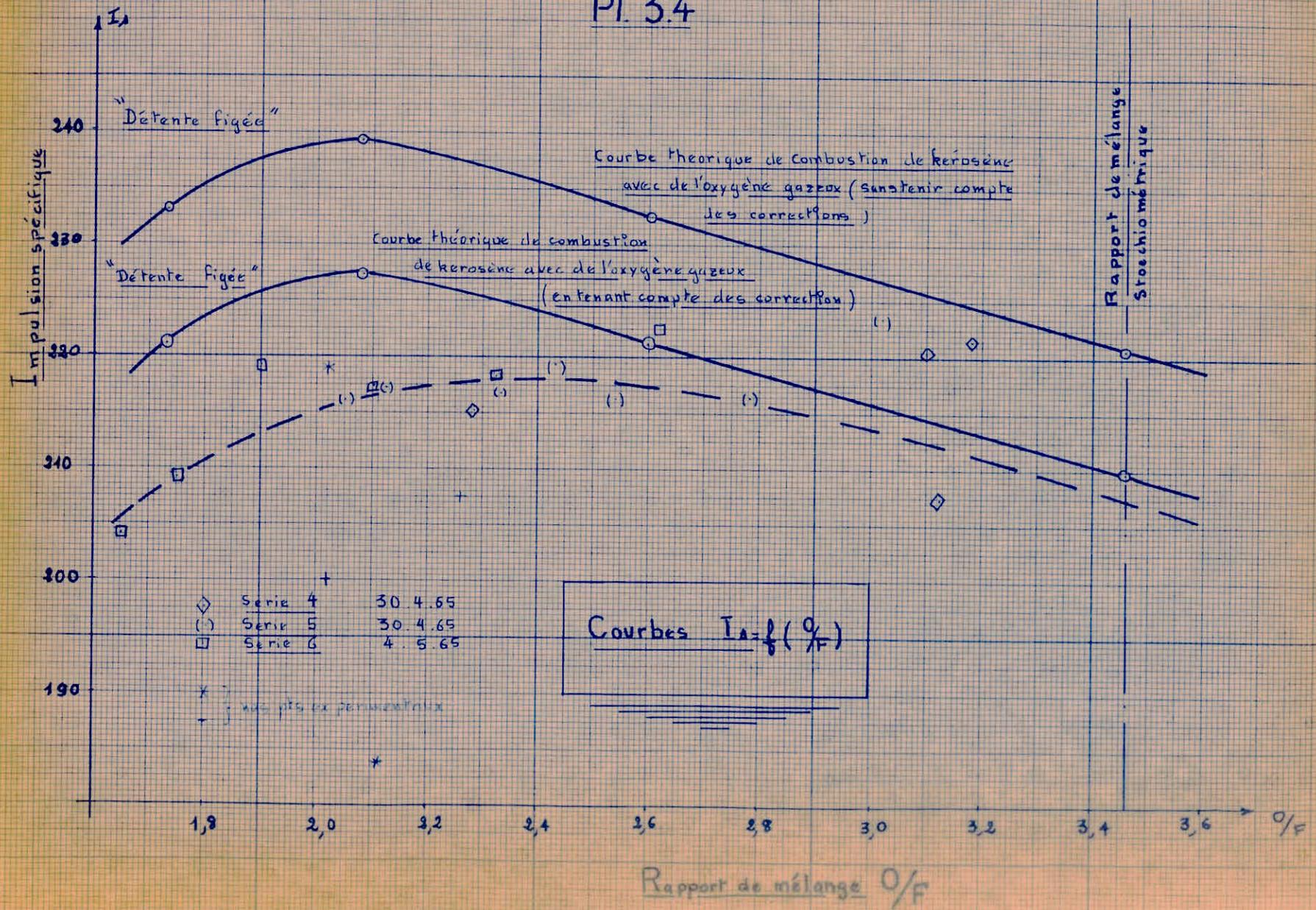
L'impulsion spécifique est le paramètre essentiel qui a servi à nos comparaisons. Aussi, avons nous jugé utile d'y faire un calcul d'erreur illustré par le tableau ci-dessous :

I_s sec	\dot{m} g/ s	F kgf	$\frac{I_s}{I_s} \%$
100	10	1	15
160	13	2	10
220	15	3	6

Nous remarquons une meilleure précision sur l'impulsion spécifique pour les grandes valeurs de la poussée, par conséquent pour les fortes pressions de chambre...

N.B : On suppose une erreur de 0,1 Kgf sur la poussée et une erreur de 0,5g/s sur le débit de propergol.

Pl. 3.4



PERFORMANCES TYPES

□	35,6 N	9,63 daN/cm ²
x	30,2	8,25
○	26,3	6,89

$I_s \uparrow (\%)$

170

160

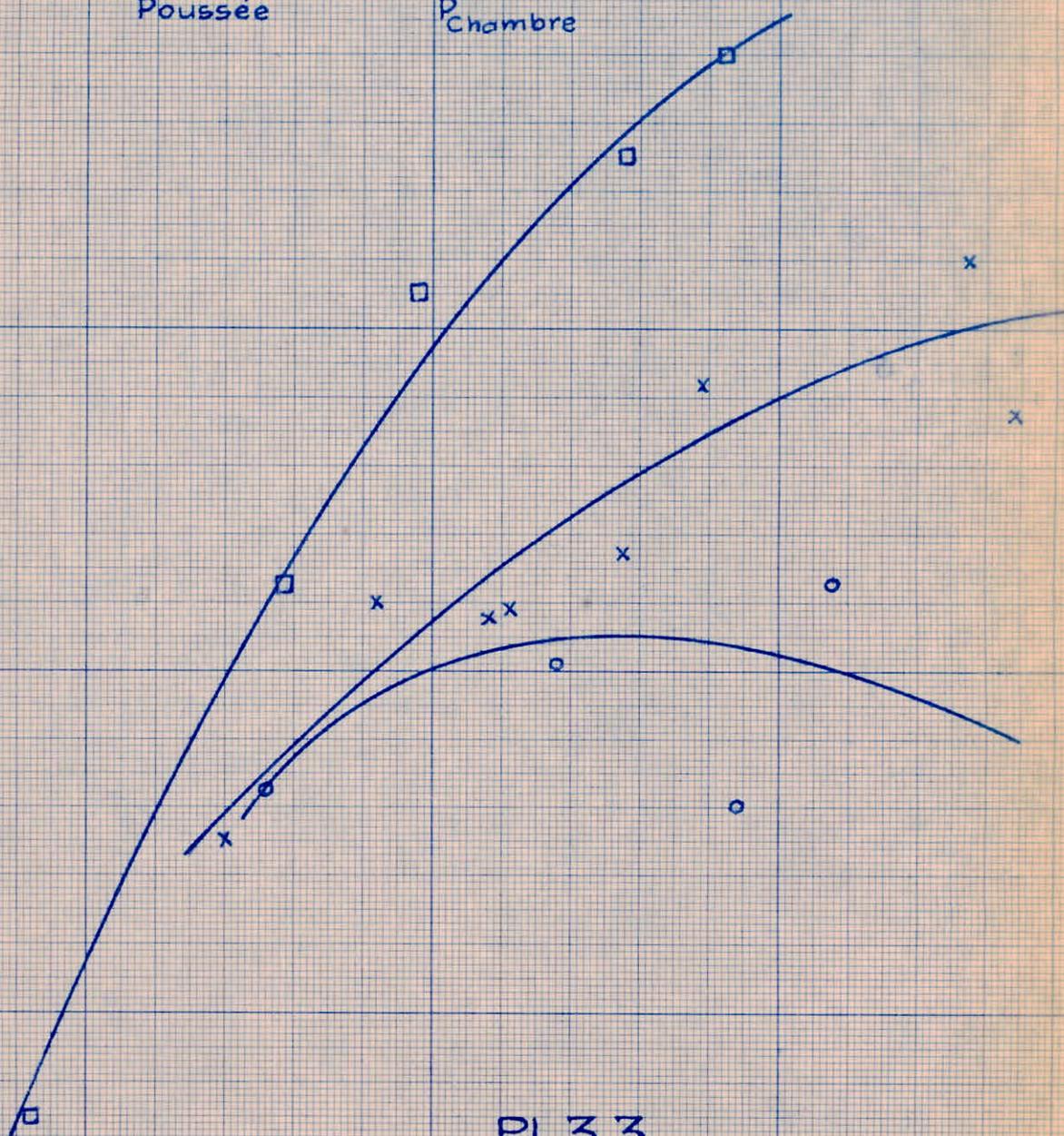
150

140

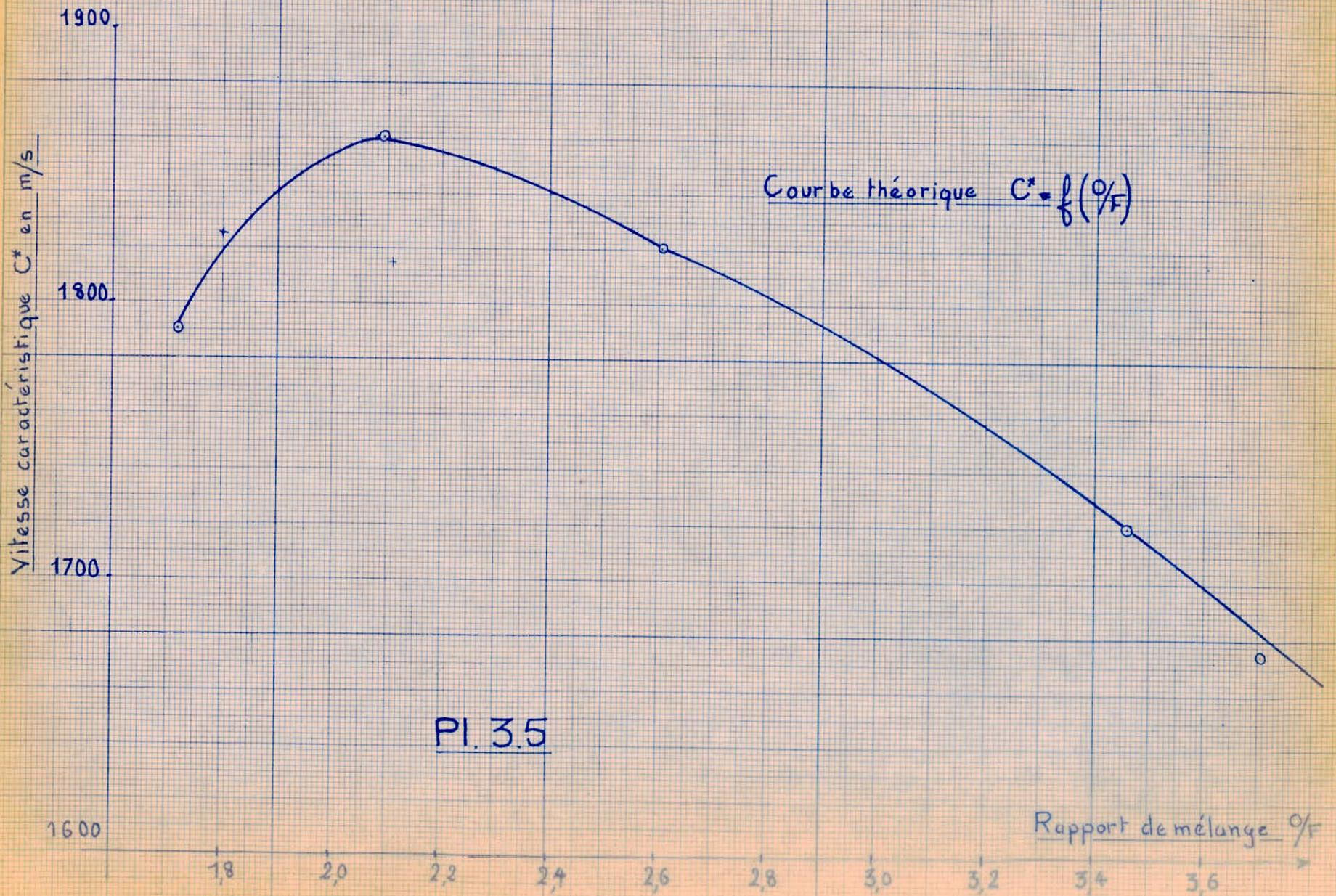
130

Poussée

P_{Chambre}



Pl. 3.3



PI. 3.5

P ₀ (barrelat.)	F (kgf)	\dot{m}_{O_2}		$\dot{m}_{\text{kérosène}}$		O/F	F/O	I _s (s)
		(kg/h)	(g/s)	(kg/h)	(g/s)			
5	2,5	43	11,95	7	1,95	6,14	0,163	183
5,5	2,1	36	10	9	2,5	4	0,25	173
7	3,2	53	14,75	10	2,78	5,3	0,189	186
7	3,6	48	13,35	13	3,61	3,69	0,27	216
7	3,8	45	12,5	12	3,34	3,75	0,268	245
7	4,3	49	13,6	11,5	3,2	4,26	0,235	260
8	5,2	53	14,75	16,5	4,58	3,21	0,311	270
8,5	4,3	58	16,1	15	4,16	3,86	0,259	216

Tableau des calculs d'après l'essai du constructeur sur le moteur E.N.P (22.1.71)

P_0 (bars rel.)	$r \times 5$ (Ω)	F (kgf)	F (N)	\dot{m}_{O_2}		$\dot{m}_{\text{kerosé.}}$ (g/s)	I_s (s)	O/F	F/O	\dot{m} (g/s)
				(mm)	(g/s)					
2	322	0,375	3,68	55	4,53	2,5	53	1,815	0,55	7,03
3	319	0,750	7,36	60	4,85	3,2	93	1,52	0,66	8,05
5	313	1,515	14,86	96	7,17	4	136	1,792	0,56	11,17
6	308,5	2,075	20,36	122	8,85	4,2	159	2,11	0,475	13,05
7,2	305	2,570	25,21	130	9,5	4,5	184	2,11	0,474	14
7,75	301	3,175	31,15	130	9,7	4,8	219	2,02	0,495	14,5
5,5	306	2,425	23,84		8,15	4	200	2,018	0,492	12,15
6,5	303	2,875	28,2		9,7	4,3	205	2,26	0,443	14

Tableau de résultats de l'essai E.N.P.

P_0 (bar relat)	θ/F	\dot{m} (g/s)	F (N)	I_s (s)	V_j (m/s)	C_{AP} ($10^{-3} s^{-1}$)	$P_0 S^*$ (N)	C_F	C_D	c^* (m/s)
2	1,815	7,03	3,68	53	520	18,9	10,15	0,36	0,692	1445
3	1,52	8,05	7,36	93	914	10,75	13,54	0,54	0,594	1685
5	1,792	11,17	14,86	136	1335	7,35	20,31	0,73	0,55	1825
6	2,11	13,05	20,36	159	1560	6,3	23,69	0,86	0,55	1815
7,2	2,11	14	25,21	184	1905	5,43	27,69	0,91	0,505	2045
7,75	2,02	14,5	31,15	219	2150	4,56	29,6	1,05	0,49	2250
5,5	2,018	12,15	23,84	200	1965	5	21,98	0,922	0,553	2130
6,5	2,26	14	28,2	205	2010	5,88	25,4	0,9	0,552	2230

Tableau de l'exploitation de l'essai EN.P

$r_{x5} \uparrow (\Omega)$

Courbe d'étalonnage
de la balance de poussée

$R_{1000} = 2.4$

$s = 5\%$

325

320

315

310

305

300

295

0

1

2

3

Poussée
A (N)

PI. 3.1

5

10

15

$F(N)$

30

Poussée en N

20

10

PI. 3.2

Pression de chambre

P_c (bars relat.)

10

9

8

7

6

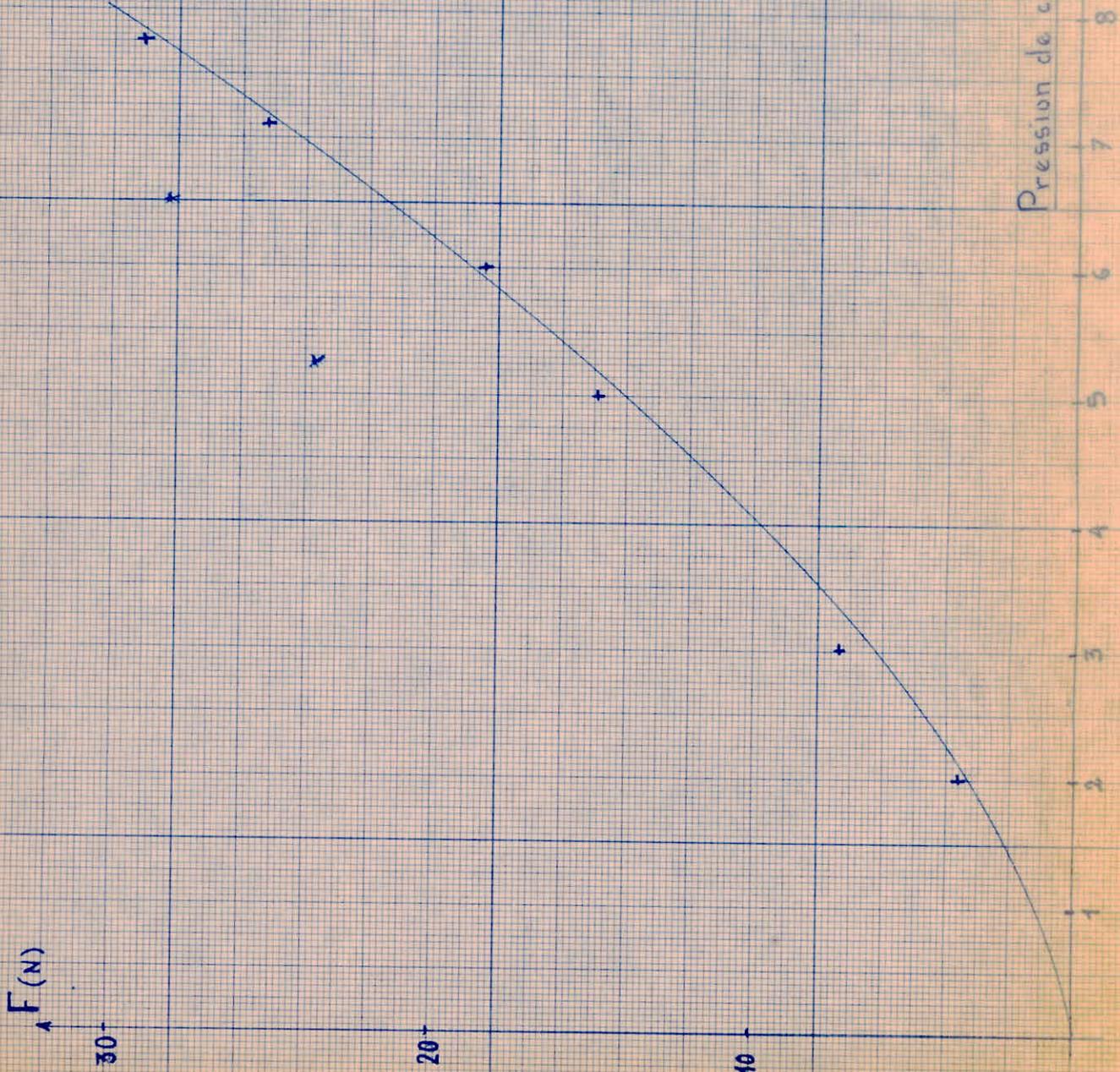
5

4

3

2

1



P_0 (bars rel.)	O/F	\dot{m} (g/s)	F (N)	I_s (s)	V_j (m/s)	C_{sp} (s ⁻¹) × 10 ⁻³	$P_0 \cdot S^*$ (N)	C_f	$C_d \times 10^3$ (m/s) ⁻¹	c^* (m/s)
5	3,9	14,7	15,3	106	1040	9,42	20,3	0,75	0,724	1381
6	3,34	13,2	21,1	163	1599	6,14	23,7	0,89	0,557	1795
7	2,67	14,7	26	180	1766	5,55	27,1	0,96	0,542	1844
8	2,38	15,2	31,4	211	2070	4,75	30,5	1,03	0,498	2007
8,5	2,02	16	35,3	225	2207	4,44	32,1	1,1	0,498	2006

Tableau de l'exploitation de l'essai E.N.P. (du 11/06/75)

P_0 (bars rel.)	$r \times 5$ (Ω)	F (kgf)	F (N)	\dot{m}_{O_2}		$\dot{m}_{\text{kéros.}}$ (g/s)	I_s (s)	O/F	F/O	\dot{m} (g/s)
				(mm)	(g/s)					
5	165	1,56	15,3	130	11,7	3	106	3,9	0,256	14,7
6	161	2,15	21,1	130	10,7	3,2	163	3,34	0,299	13,2
7	158	2,65	26	130	10,7	4	180	2,67	0,374	14,7
8	155	3,2	31,4	130	10,7	4,5	211	2,38	0,42	15,2
8,5	153	3,6	35,3	130	10,7	5,3	225	2,02	0,495	16

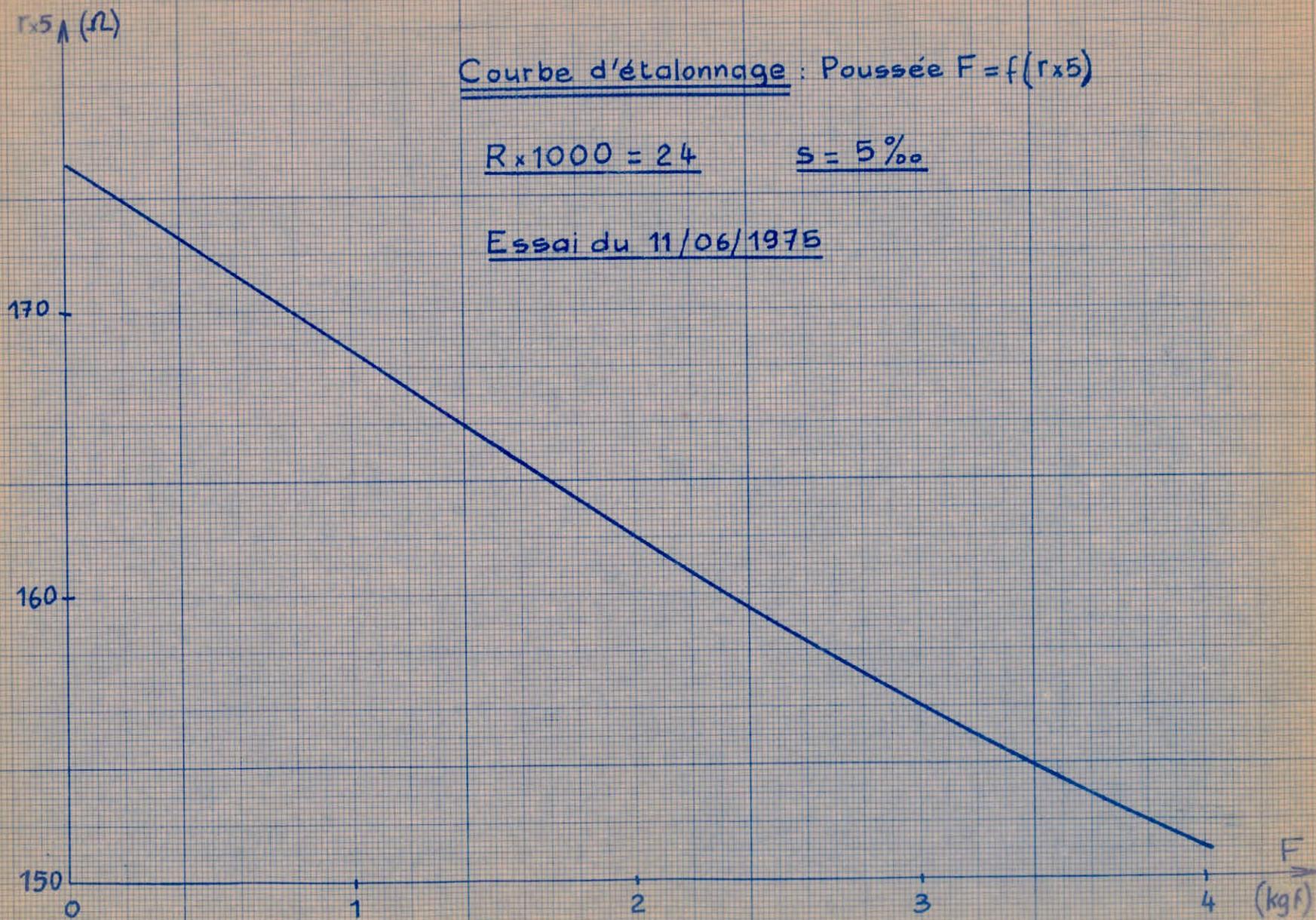
Tableau de résultats de l'essai E.N.P (du 11/06/75.)

Courbe d'étalonnage : Poussée $F = f(r \times 5)$

$R \times 1000 = 24$

$s = 5\%$

Essai du 11/06/1975



---o-o- CONCLUSION -o-o---

Le nombre des essais réalisés dans des conditions satisfaisantes est encore trop faible pour faire apparaître des résultats probants.

Ce qu'il faut avant tout noter, et qui est encourageant pour l'avenir, c'est que l'ordre de grandeur des résultats est en tous points identique à celui du Constructeur.

Il faut accumuler les résultats, d'où l'intérêt de séances de T.P; pour avoir des orientations statistiquement valables et exploitables....

-o-o-o-o-o-o-o-o-

-----o-PROPOSITION D'UN TEXTE DE MANIPULATION-o-----

" Mesure de quelques performances du Moteur fusée
HILTON.LTD n^o: 45030 "

But de la manipulation.

On se propose de mesurer la poussée dans diverses conditions d'essai et d'en déduire certains paramètres du moteur fusée, en particulier l'impulsion spécifique I_s en fonction du rapport de mélange F/O (combustible sur comburant).

Description de l'installation.

L'installation comprend l'armoire de commande où sont installés tous les appareils de mesure et de réglage (mis à part le dispositif de mesure de poussée), ainsi que le chassis où est suspendu le moteur fusée à étudier.

Réglage de l'appareil de mesure de poussée.

L'appareil est basé sur le principe du pont de Wheatstone (voir plus loin schéma face avant de l'appareil)

Généralités

- Mettre convenablement l'appareil à la "terre" (la mise à la terre se fait via la borne de terre située à l'arrière de l'appareil)

- Placer SK₇ en position inférieure et laisser chauffer l'appareil pendant 1 heure 30mn. au moins (ceci sera fait par l'assistant avant le début de la séance)

Mise au zéro.

Branchement en 1/2 pont

Colonne lumineuses

SK7

SK6

SK4

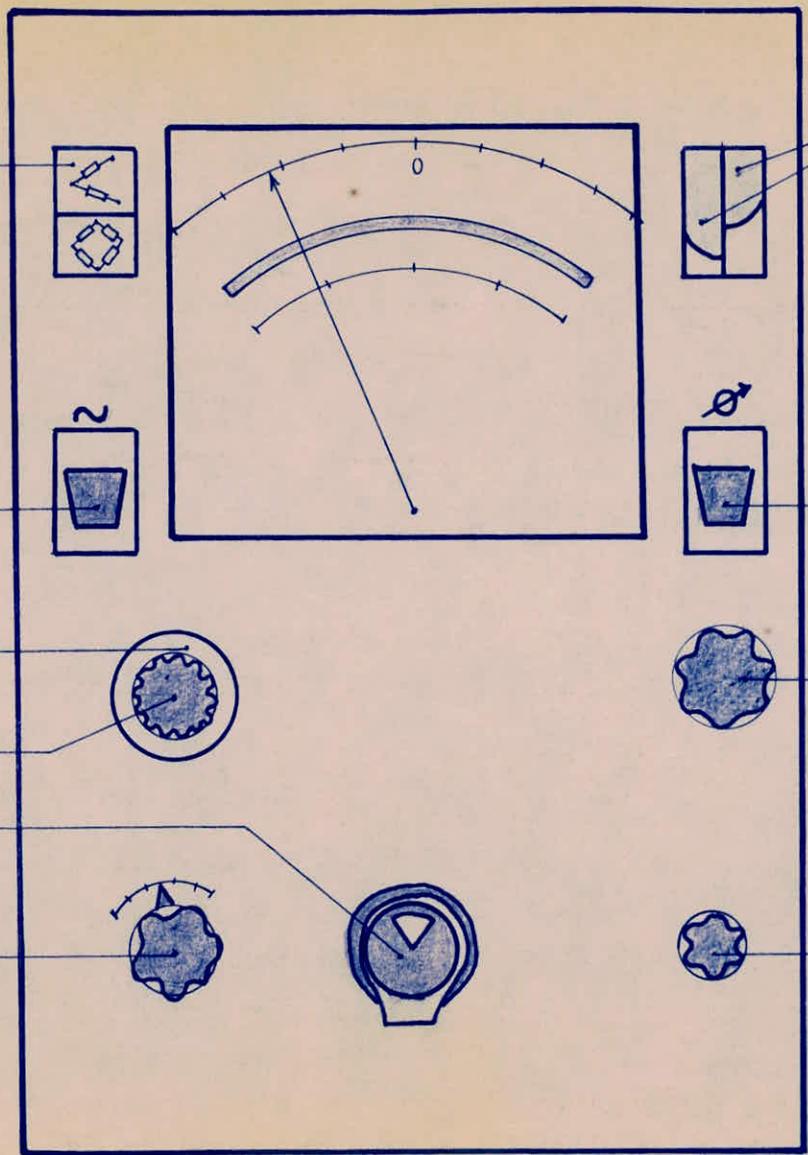
SK3

R86

RI9

SK1

C1



PONT DE MESURE

- 1°) Placer SK6 en position inférieure (l'appareil est court-circuité)
- 2°) Ajuster SK4 sur la tension correcte (jauges de contraintes de 120 ohm , 2,4 V.)
- 3°) Placer SK3 dans la position la plus sensible.
- 4°) Ajuster le pont à l'aide du commutateur à plot R(SKI) et du réglage fin r (RI9) (amplitude), jusqu'à ce qu'une des colonnes lumineuses soit aussi petite que possible.
- 5°) Ajuster la phase à l'aide du réglage de capacité (CI) jusqu'à ce que les colonnes lumineuses soient d'une même longueur; ensuite répéter le processus mentionné sous les points 4 et 5.
- 6°) Placer le commutateur de gammes de mesure dans une position plus sensible mentionnée sous les points 4 et 5 jusqu'à ce que l'ajustage dans la gamme désirée soit obtenue .
- 7°) Placer le commutateur de l'appareil de mesure dans la position supérieure. Maintenant, il est possible d'effectuer exactement la mise à zéro à l'aide de r.

Dans ce cas, une différence de longueur des colonnes être retouchée à l'aide de c (voir le point 5).

ETALONNAGE DE LA BALANCE DE POUSSEE

Cet étalonnage doit être effectué avant chaque essai

- Choisir une sensibilité et une tare initiale pour lesquelles les explosions dues à un mauvais allumage, n'ont pas d'effet sur l'indicateur de mesure
- Accrocher des masses (cf Pl2.8) et lire r.5 correspondant à chaque masse.

On tracera la courbe $r.5 = f(\text{masse ou poussée})$. Cette courbe est utile pour déterminer la poussée en cours de fonctionnement en lisant r.5 et en équilibrant à chaque fois le pont extensométrique.

Mise en marche du circuit d'eau de refroidissement

-Vérifier que le débit est supérieur à 27 L/ mn.

REGLAGE DE PRESSION DE LA POMPE A KEROSENE

-Vérifier le niveau du kérosène dans le réservoir.

-Fermer la vanne d'arrêt.

-Jouer sur la vanne de réglage de la pompe, au pied de l'armoire, jusqu'à obtenir une pression suffisante (35 bar environ)

REGLAGE DE LA PRESSION D' INJECTION DU KEROSENE

-Fermer la vanne de retour au réservoir

- Ouvrir la vanne de laminage

- Fermer la vanne de contrôle

Jouer sur ces vannes jusqu'à obtenir la pression d'injection désirée.

REGLAGE DE LA PRESSION D'INJECTION DE L'OXYGENE

-Fermer la vanne de contrôle

- Jouer sur le mano-détendeur jusqu'à obtenir la pression d'injection désirée.

DEROULEMENT DE LA MANIPULATION.

(Retirer les pages du chapitre 3)

COMPTE RENDU

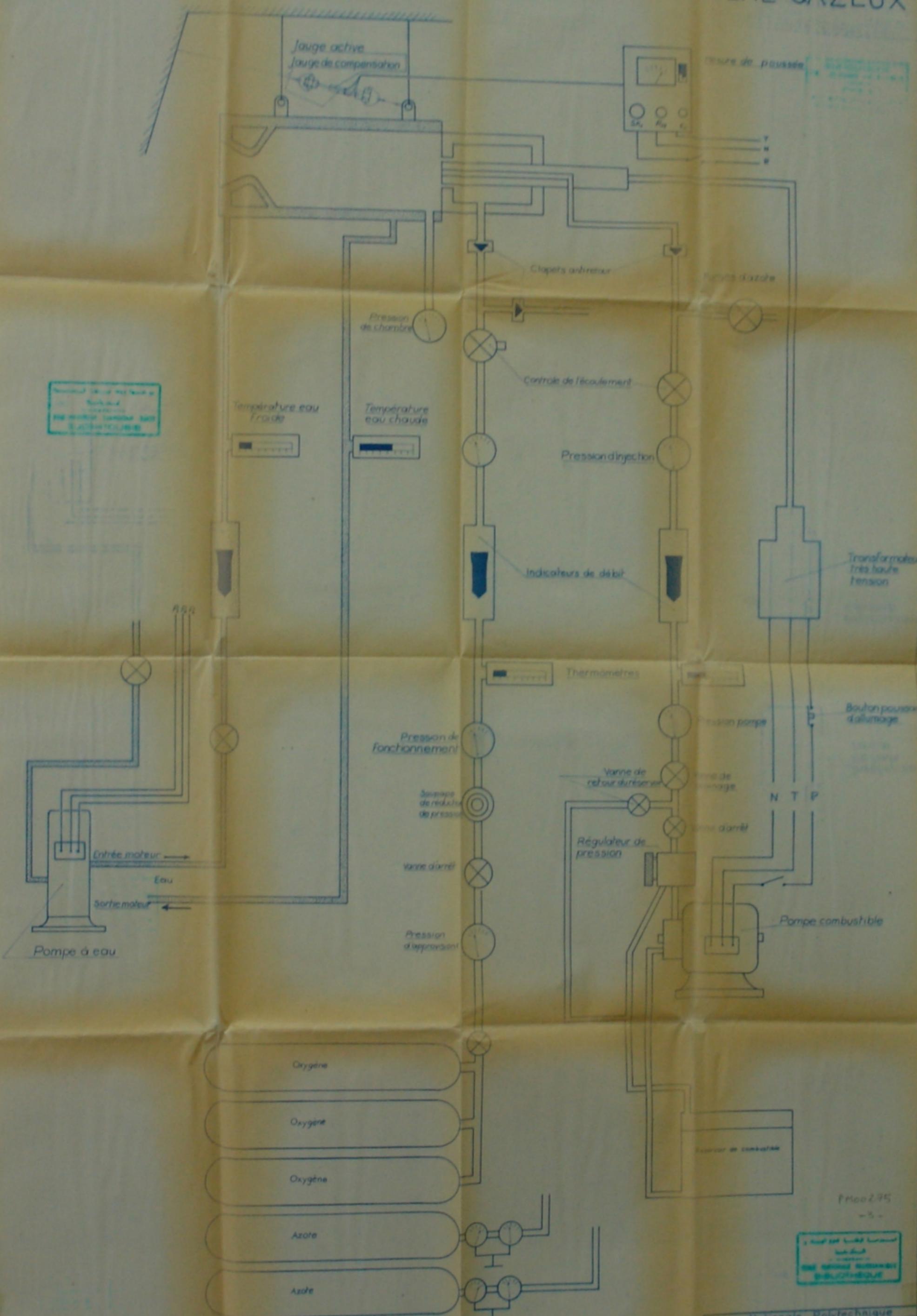
Il exposera les calculs à partir des résultats relevés.

Tracer les courbes :

Impulsion spécifique	$I_s = f(O/F)$ ou mieux $f(F/O)$
Vitesse d'éjection	$V = "$
Température	$T = "$
Vitesse au col	$V^* = "$
Vitesse caractéristique	$C^* = "$

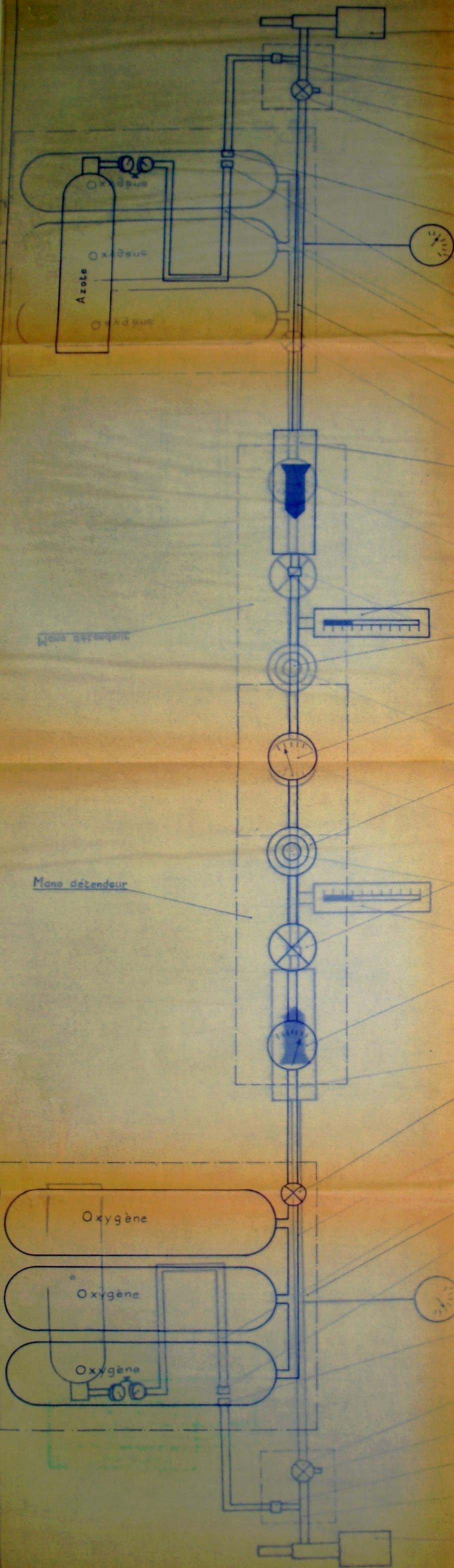
Comparer aux courbes théoriques . CONCLUSION

SCHÉMA DU DISPOSITIF DE LA FUSÉE A OXYGÈNE GAZEUX

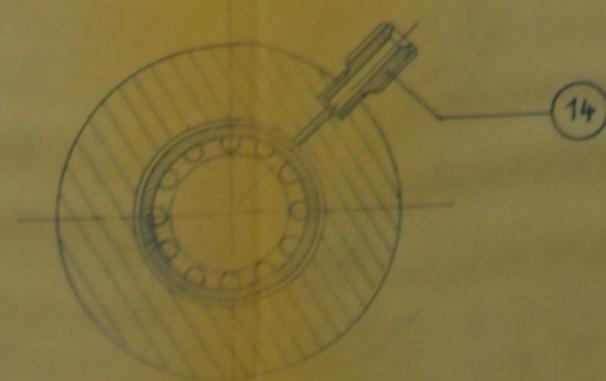
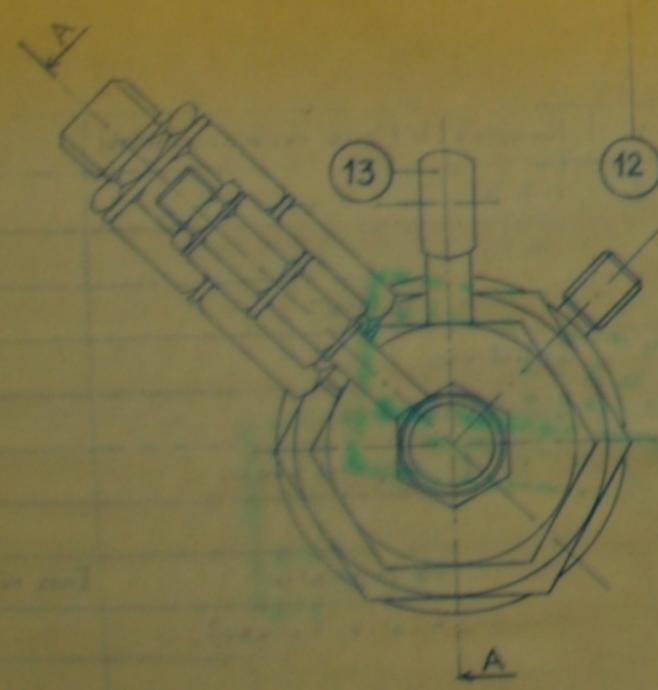
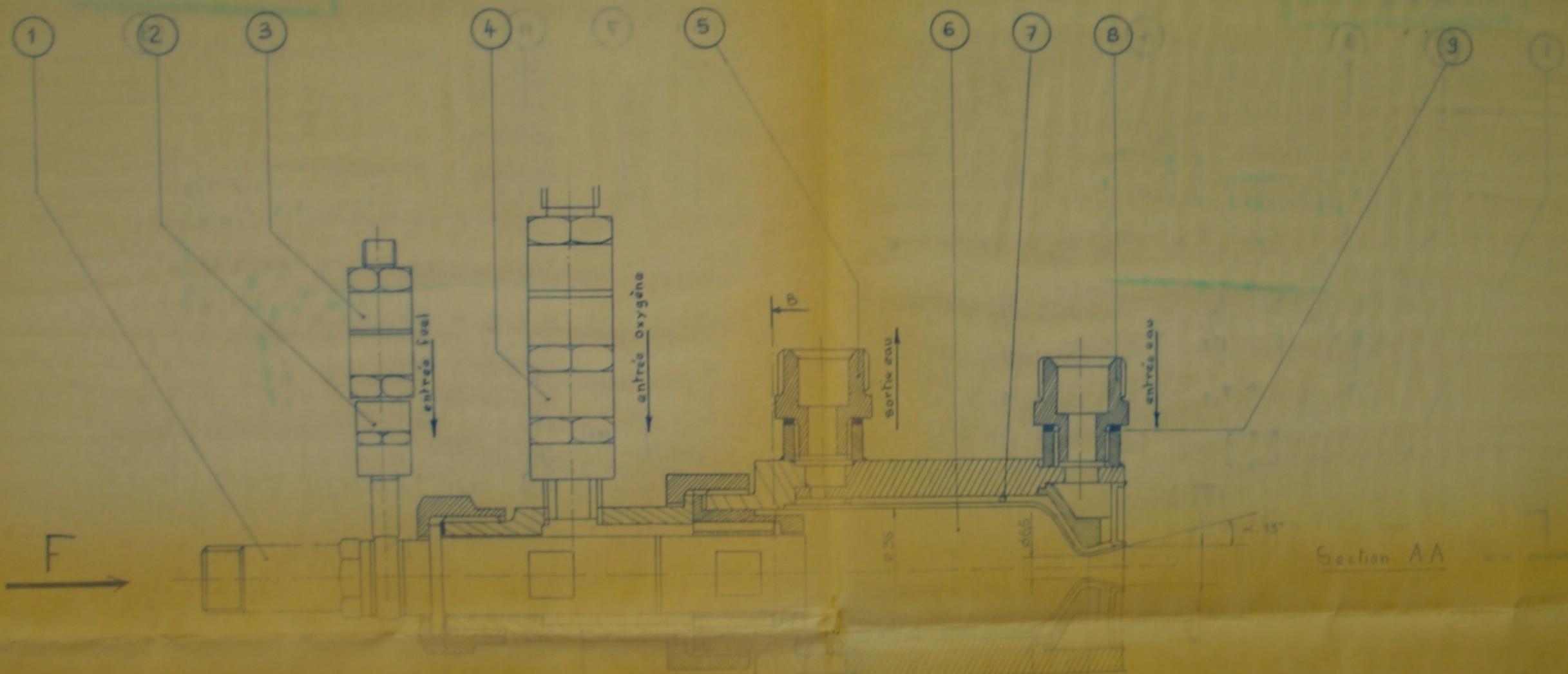


République Algérienne
 Université Algérie
 Faculté des Sciences
 Département de Génie
 Mécanique

Université Algérie
 Faculté des Sciences
 Département de Génie
 Mécanique



- AM ALI MA
CHACAL Y
YADEL Y
- CIRCUIT - OXYGÈNE**
Moteur-Fusée
Banc-Fusée
- Escapement
Mano Bourdon
Conduite en Invar Ø6
- Clopet anti-retour
Soupape de sécurité
- Vanne à 3 voies
- Raccord rapide femelle
- Pression d'injection d'oxygène (Mano "Bourdon" 0 à 60b)
- Raccord rapide mâle
- Conduite souple en caoutchouc
- Tube de Cu Ø10
- Rotamètre 7010 M 8008 A3
- Mano Bourdon
- Température d'oxygène (thermomètre à alcool)
- Tube de Cu Ø4
- Pression de fonctionnement
- Vanne d'arrêt
- Soupape de réduction de pression
- Vanne d'arrêt
- Mano Bourdon
- Pression d'approvisionnement
- Mano Bourdon
- Robinet général
- Mano Bourdon
- Tube de Cu Ø10
- Batterie de bouteilles d'oxygène
- Raccord rapide mâle
- Mano Bourdon (Mano "Bourdon" 0 à 60b)
- Raccord rapide femelle
- Vanne à 3 voies
- Mano Bourdon
- Clopet anti-retour
- Mano Bourdon
- PM00275
- 4 -



Section B B

Vue dans la direction de la flèche F

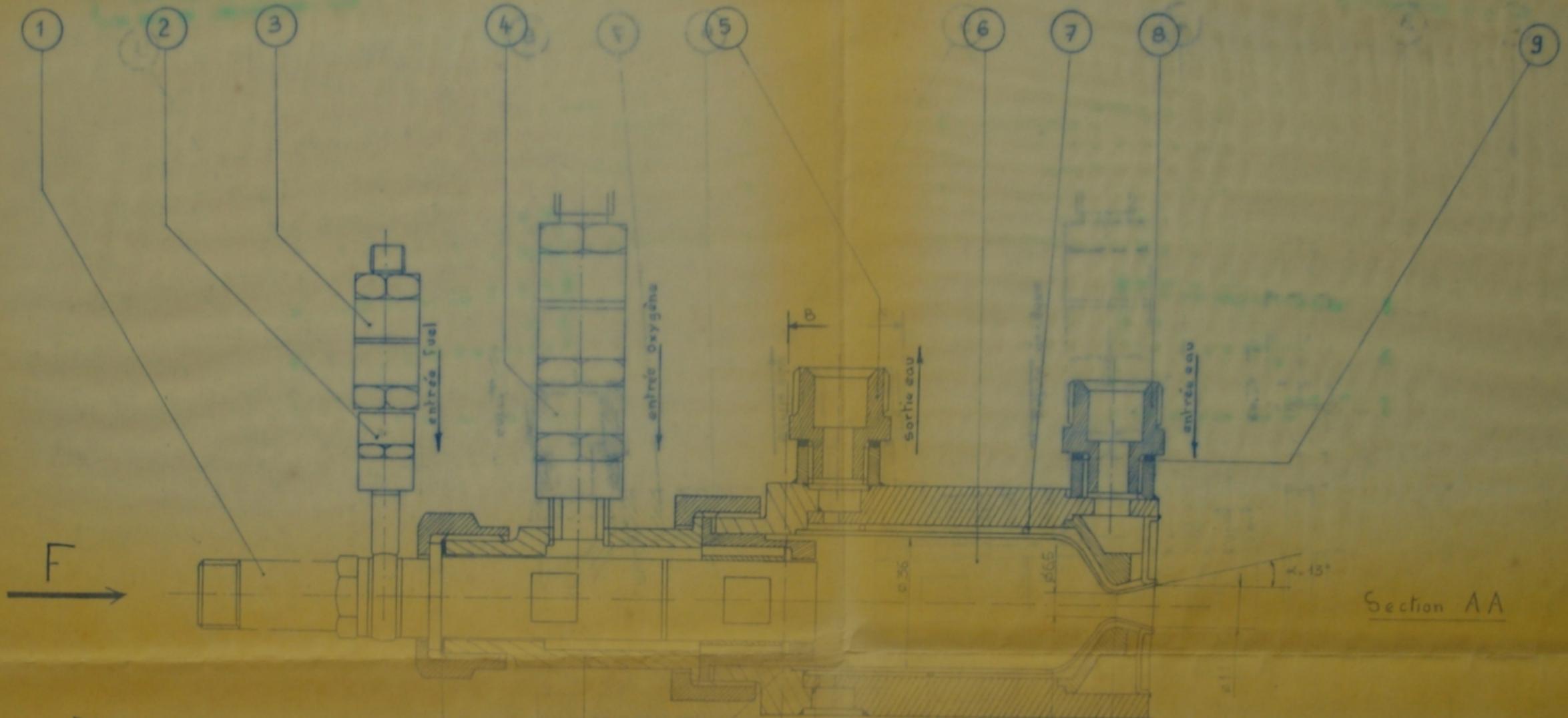
14	1	Raccord mâle (Prise Pression de chambre)	
13	2	Attache	
12	1	Joint	
11	1	Corps de l'injecteur	
10	1	Injecteur	
9	1	Joint détachable	
8	1	Raccord mâle (entrée eau)	
7	1		Inne réfractaire
6	1	Chambre de combustion	
5	1	Raccord mâle (sortie eau)	
4	1	Raccord (entrée oxygène)	
3	1	Raccord (entrée kérosène)	
2	1	Raccord (entrée kérosène)	
1	1	Baugie	
N°	Nbre	Désignation	Matériau

PMODELS
- 5 -

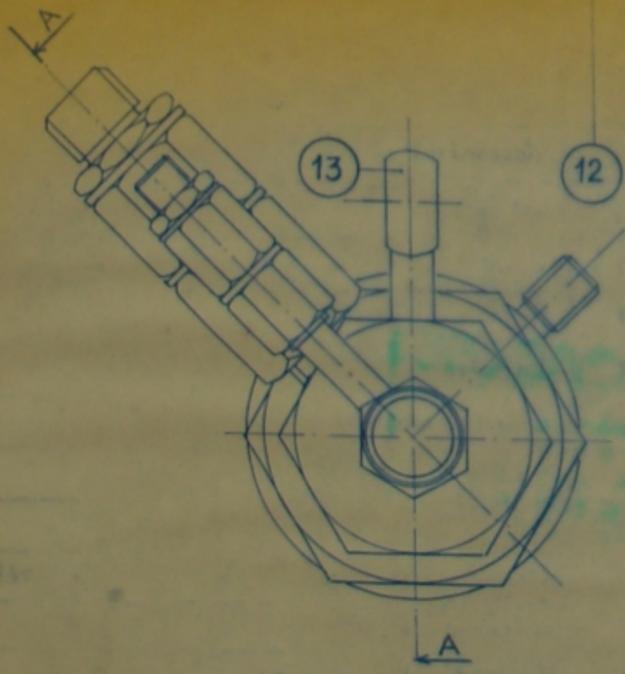
MOTEUR FUSEE

CHACAL Y
YADEL Y
AIT-ALI

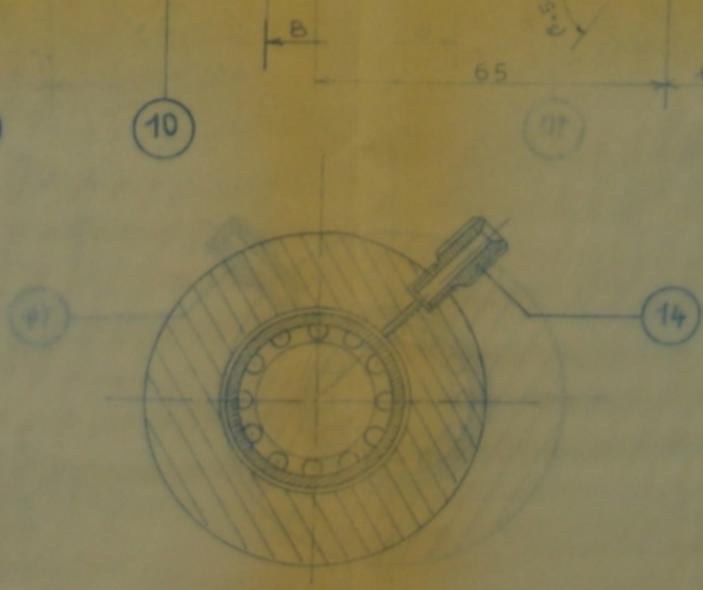
Ecole Nationale Polytechnique FEI Marrakech



Section AA



Vue dans la direction de la flèche F



Section B.B

14	1	Raccord mâle (Prise Pression de chambre)	
13	2	Attache	
12	1	Joint	
11	1	Corps de l'injecteur	
10	1	Injecteur	
9	1	Joint d'étanchéité	
8	1	Raccord mâle (entrée eau)	
7	1	Raccord mâle (entrée eau)	
6	1	Chambre de combustion	Inox réfractaire
5	1	Raccord mâle (sortie eau)	
4	1	Raccord (entrée oxygène)	
3	1	Raccord (entrée kérosène)	
2	1	Raccord (entrée kérosène)	
1	1	Bougie	
N°	Nbre	Désignation	Matériau

Ecole Nationale Polytechnique d'El Harrach

MOTEUR FUSEE

CHACAL Y
YADEL Y

PM00275
-6-

BIBLIOTHEQUE

CIRCUIT OXYGÈNE

YADEL
CHACAL
AIT-ALI

École Nationale Polytechnique

Cloquet anti-retour
Soupape de sécurité

Vanne à 3 voies

Raccord rapide femelle

Pression d'injection d'oxygène (Mano Bourdon 0 à 600)

Raccord rapide mâle

Conduite souple en caoutchouc

Tube de Cu Ø10

Rotamètre 7010 M8008 A3

Baromètre

Température d'oxygène (thermomètre à alcool)

Tube de Cu Ø4

Pression de fonctionnement

Vanne à 3 voies

Soupape de réduction de pression

Vanne d'arrêt

Pression d'approvisionnement

Température d'oxygène (thermomètre à alcool)

Robinet général

Rotamètre 7010 M8008 A3

Tube de Cu Ø10

Batterie de bouteilles d'oxygène

Raccord rapide mâle

Pression d'injection d'oxygène (Mano Bourdon 0 à 600)

Raccord rapide mâle

Vanne à 3 voies

Cloquet anti-retour

Cloquet anti-retour

Ecole Nationale Polytechnique

Projet "Banc-Fusée"

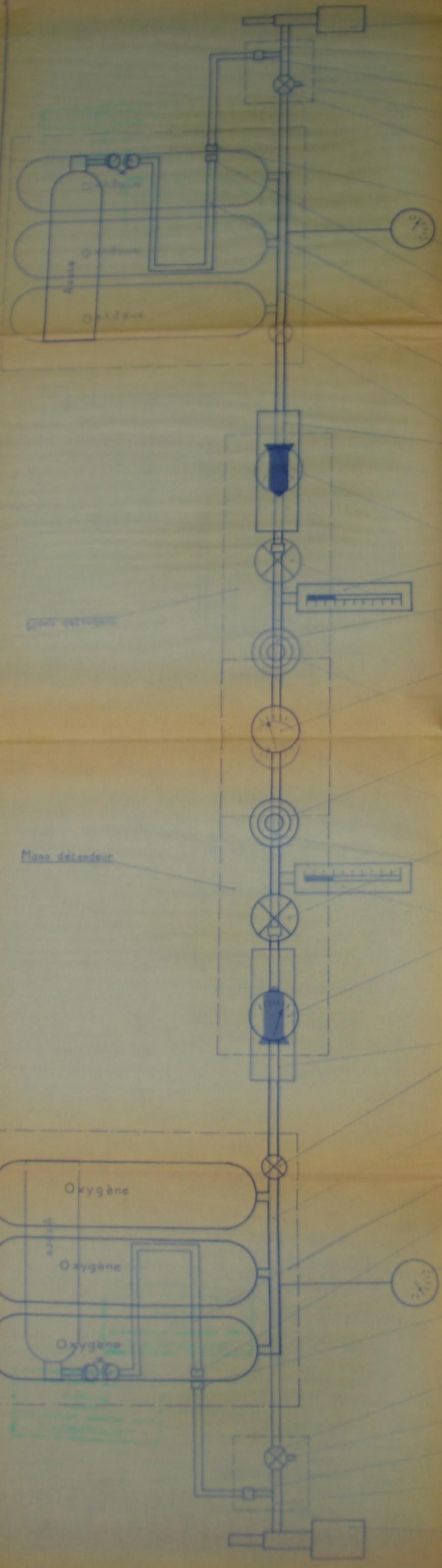
CIRCUIT OXYGÈNE

AIT-ALI M.A.

CHACAL Y.

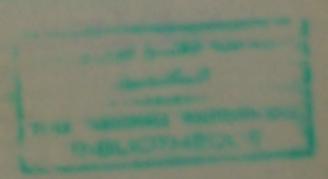
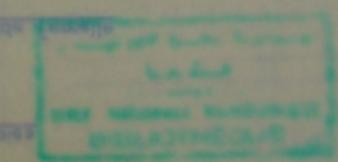
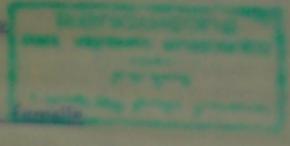
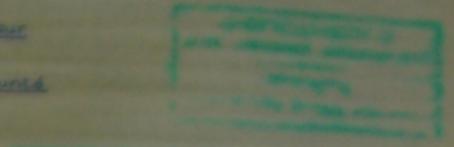
YADEL Y.

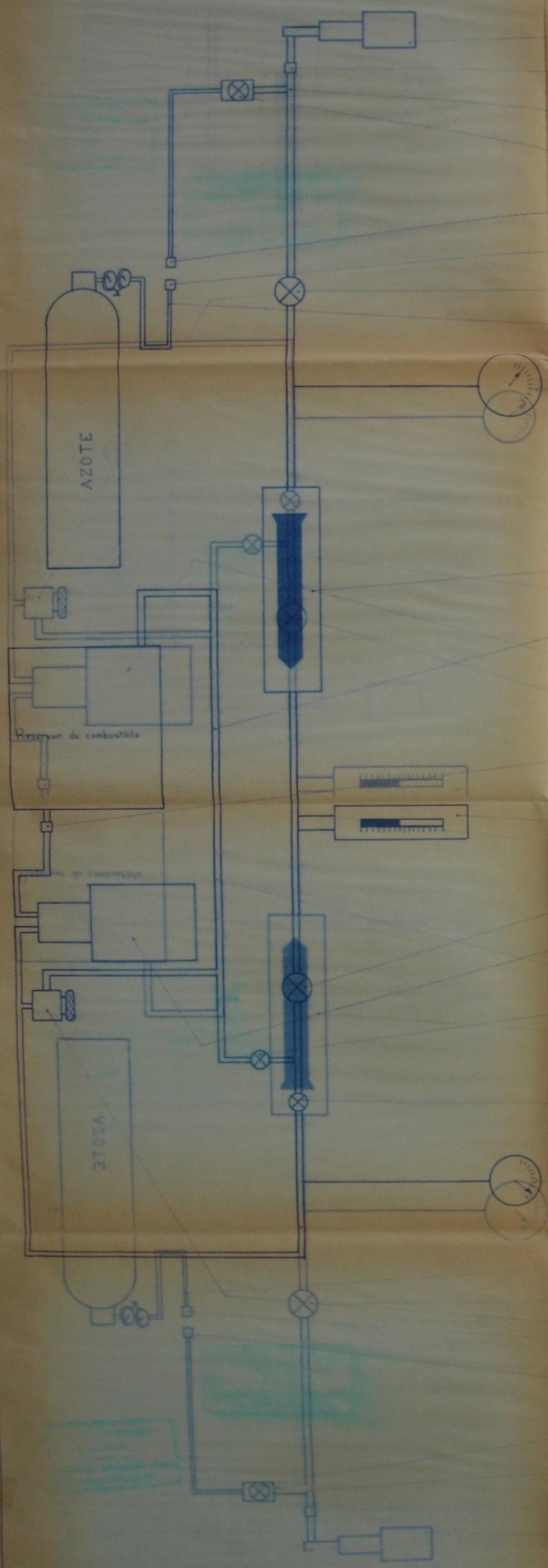
PM00275
- 2 -



Mano Bourdon

Mano Bourdon



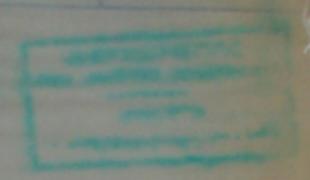


CIRCUIT KÉROSÈNE

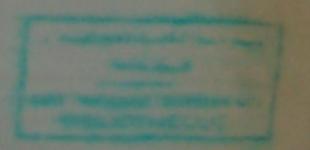
Moteur fusée
 École Nationale Polytechnique
 Clapet Anti-retour

YADEL
 CHACAL
 AIT-ALI

- Conduites en inox Ø6
- Vanne à biseau sphérique pour la purge
- Raccord rapide mâle
- Raccord rapide femelle
- Vanne de contrôle (vanne-pointeau)
- Conduite souple en caoutchouc
- Pression d'injection du kérosène (Mano Bourdon)
- Vanne d'arrêt (Vanne guillotine)
- Rotamètre 7010 M 8008 A2
- Conduite de retour au réservoir (Cu Ø10)
- Groupe Moto-Pompe Monophasé pour le fuel (Pompe submergée)
- Vanne de retour au réservoir (Vanne guillotine)
- Rotamètre 7010 M 8008 A2
- Vanne d'arrêt (Vanne guillotine)
- Pression pompe (Mano Prolabo)
- Conduite sortie pompe (Cu Ø10)
- Régulateur de pression
- Raccord rapide mâle
- Raccord rapide femelle
- Conduite en inox Ø6



PM00275
 -8-



École Nationale Polytechnique
 Projet "Banc-Fusée"
CIRCUIT KÉROSÈNE

AIT-ALI MA
 CHACAL Y
 YADEL Y

CIRCUIT KÉROSÈNE

YADEL Y
CHACAL Y
AIT-ALI MA

Moteur fusée
Clapet Antirétour

Conduites en inox Ø6
Vanne à boisseau sphérique pour la purge
Raccord rapide mâle
Raccord rapide femelle
Vanne de contrôle (vanne pointeau)
Conduite souple en caoutchouc

Pression d'injection du kérosène (Mano Bourdon)
Pression pompe (Mano Bourdon)

Mano à aiguille
Rotamètre 7010 M 8008 A2

Conduite de retour au réservoir (Cu recuit Ø12)
Vanne de retour au réservoir (Vanne guillotine)

Stoupe Mano pompe Monophasée pour le fuel (Pompe immergée)
Filtre (Toile dans un té de raccordement)

Thermoballons au kérosène (Thermomètre à alcool)
Température du kérosène (Thermomètre à alcool)

Vanne de laminage

Groupe Moto-Pompe Monophasé pour le fuel (Pompe immergée)

Vanne de retour au réservoir (Vanne guillotine)
Conduite de retour au réservoir (Cu recuit Ø12)

Rotamètre 7010 M 8008 A2
Vanne d'arrêt (Vanne guillotine)

Pression pompe (Mano Prolabo)

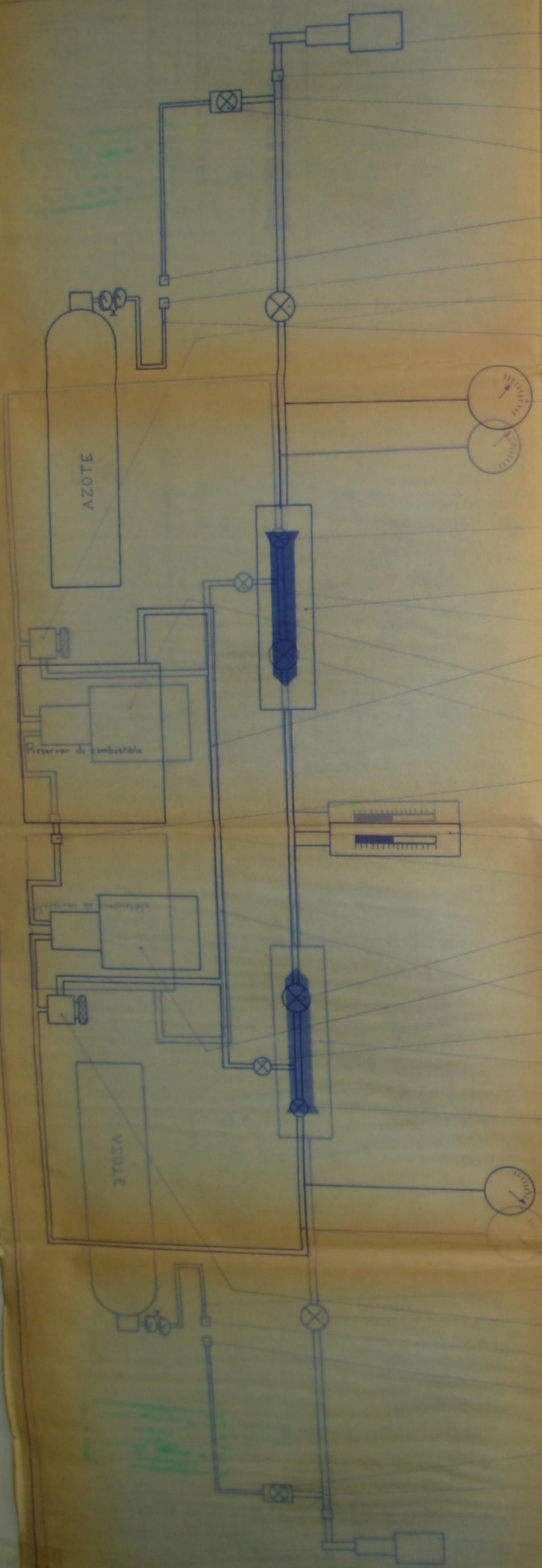
Conduite sortie pompe (Cu Ø10)

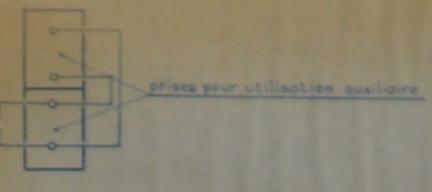
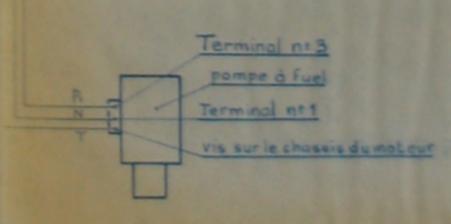
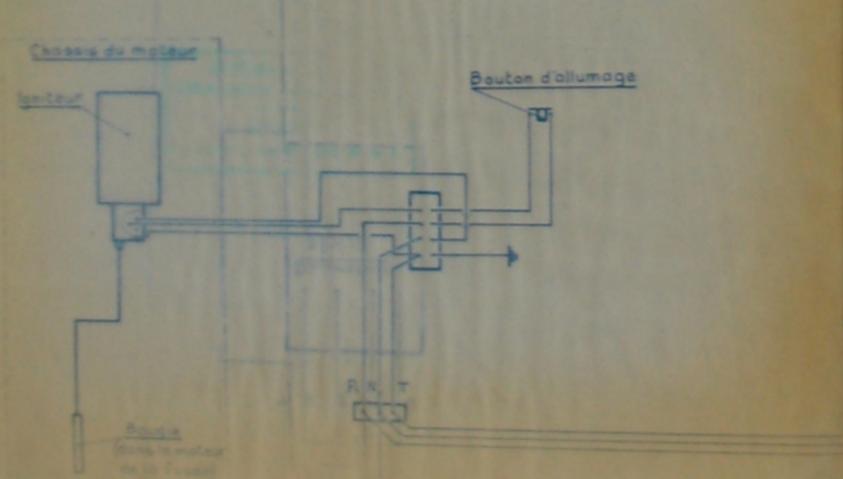
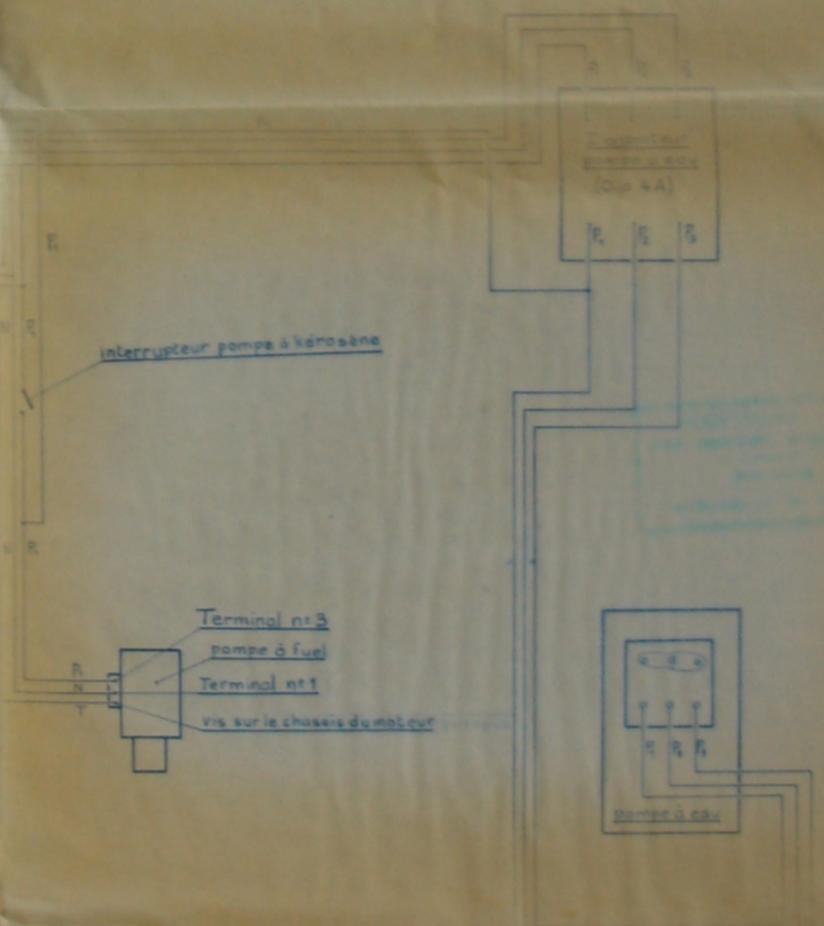
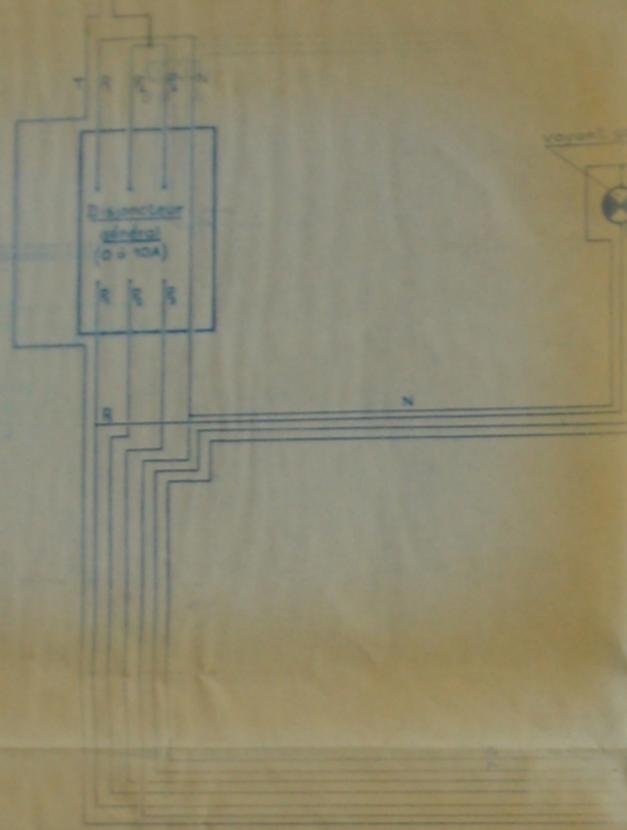
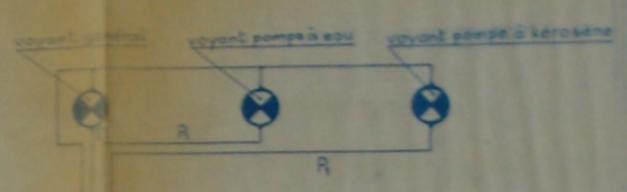
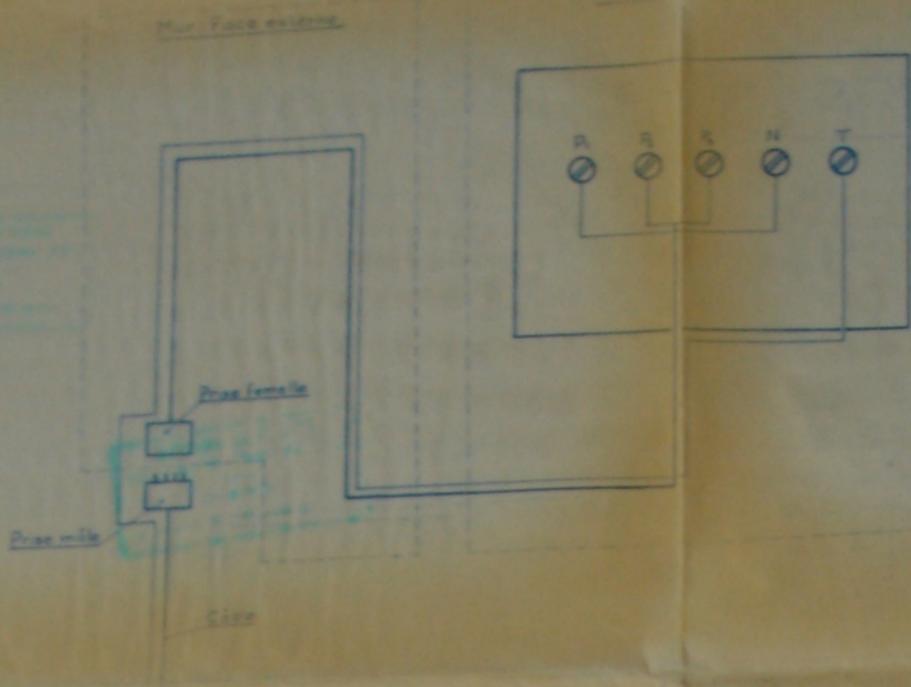
Régulateur de pression

Raccord rapide mâle
Raccord rapide femelle
Vanne à boisseau sphérique pour la purge
Conduites en inox Ø6

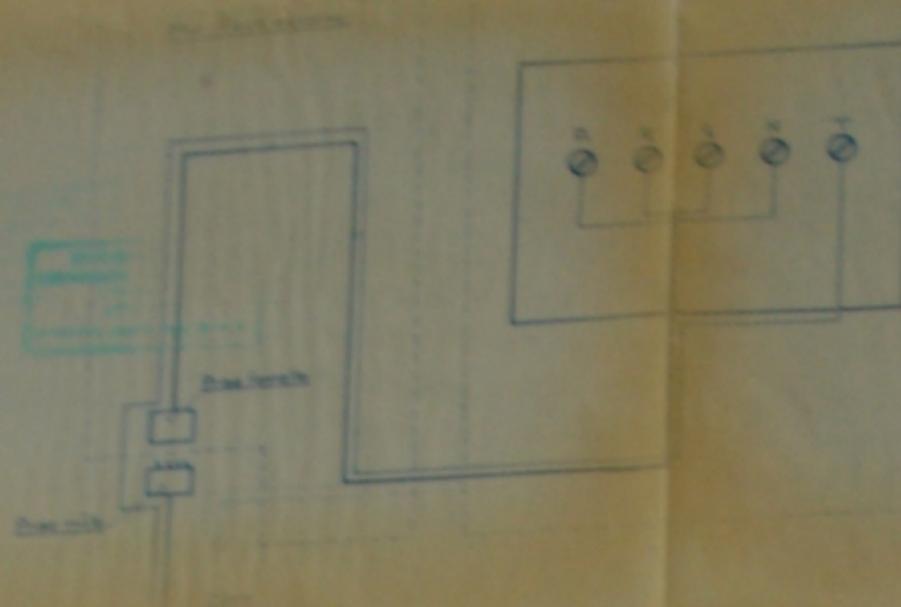
Ecole Nationale Polytechnique
Projet "Banc-Fusée"
CIRCUIT KÉROSÈNE

PM00275
-3-
AIT-ALI MA
CHACAL Y
YADEL Y

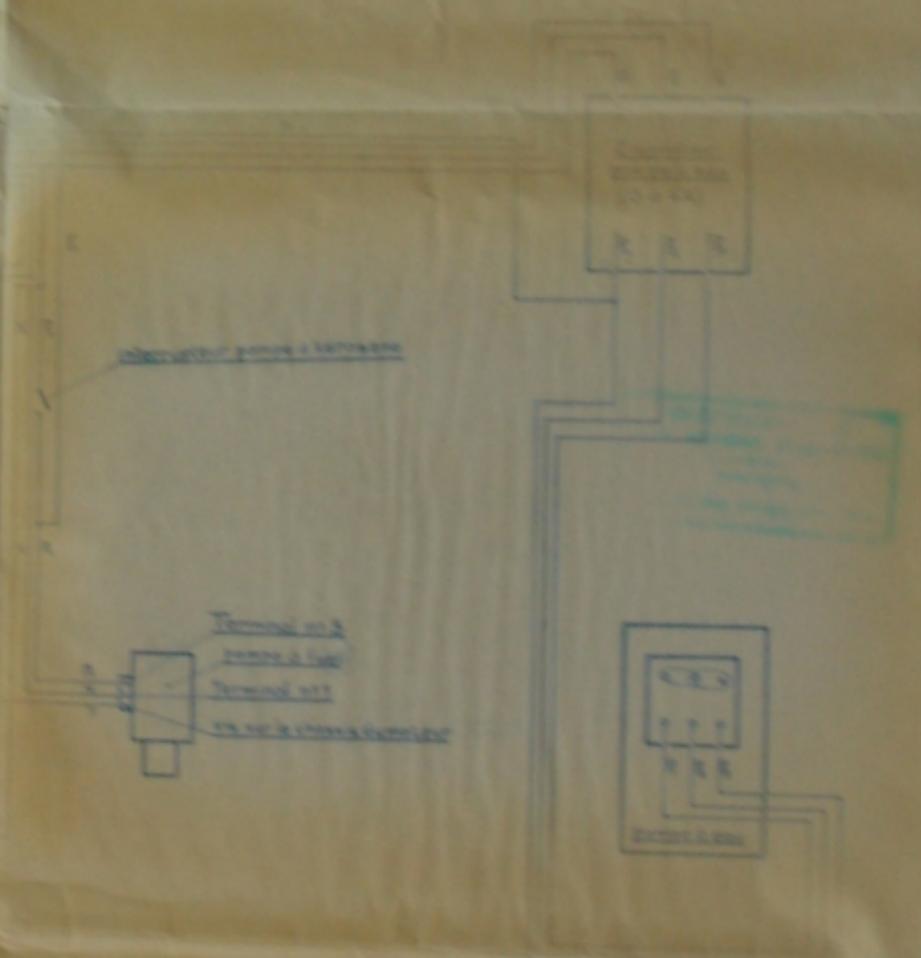
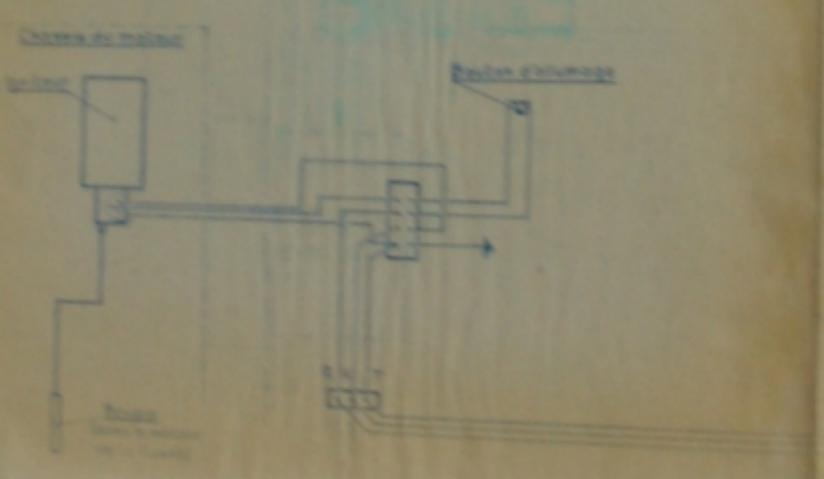
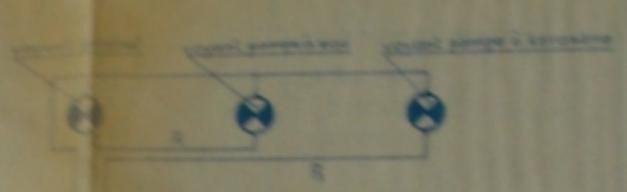
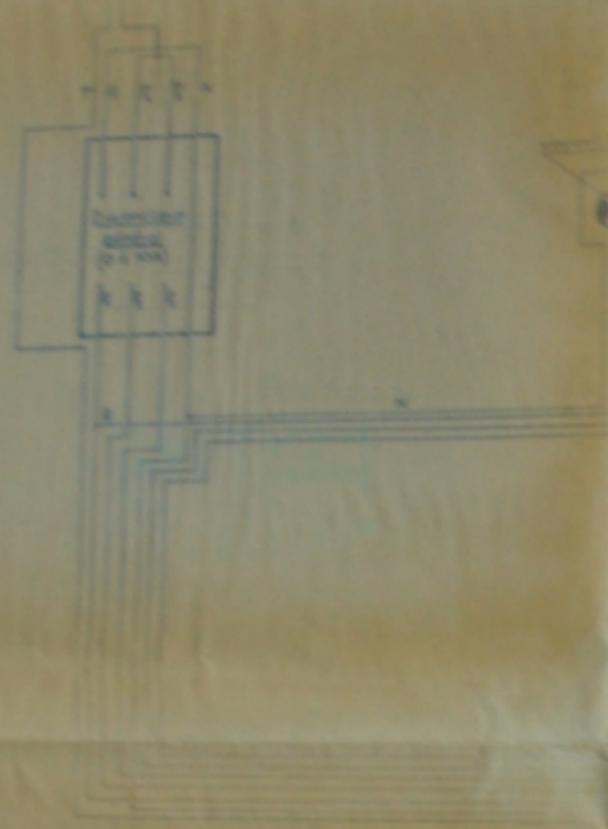




PM002.75
-10-



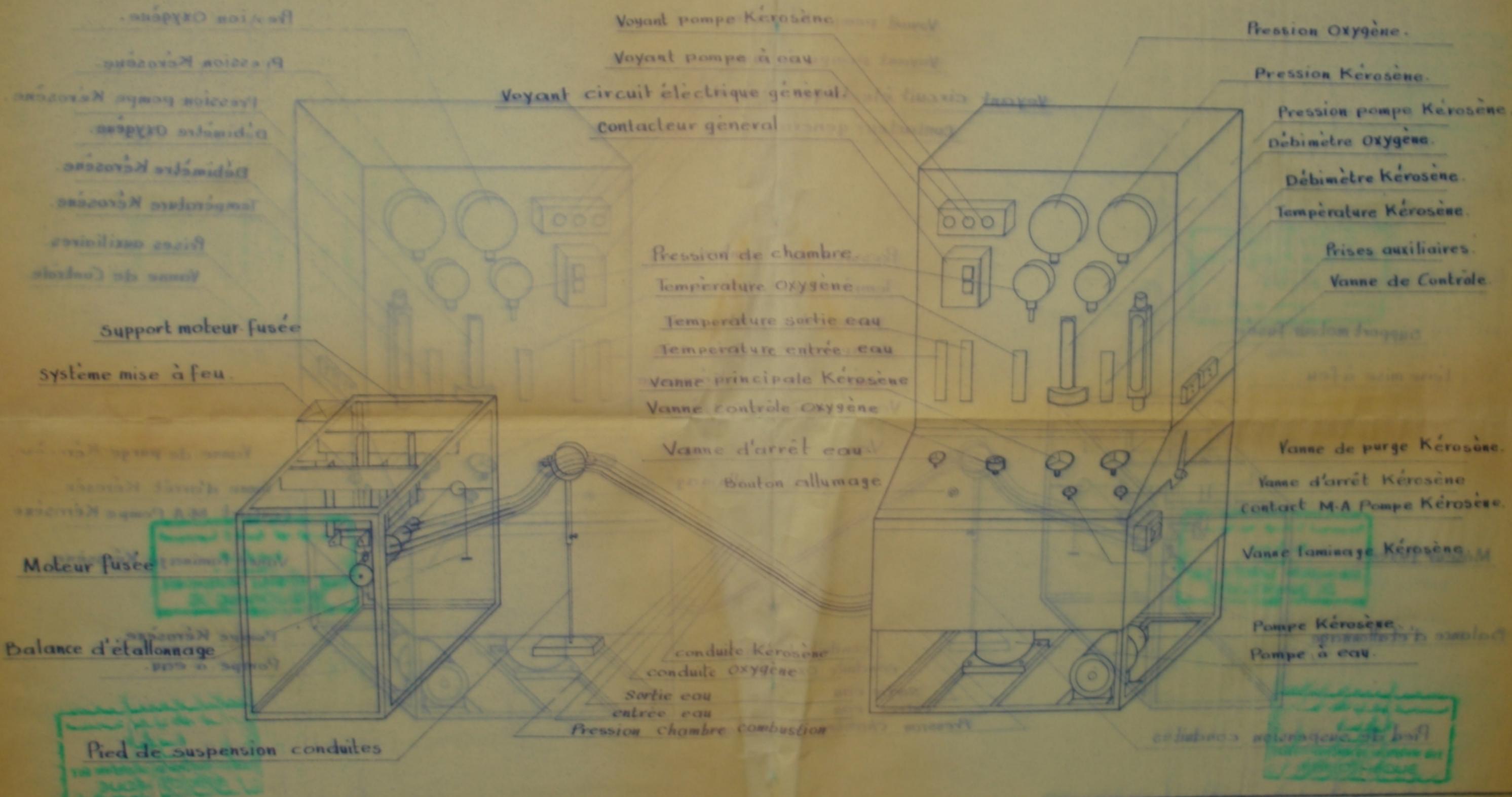
Handwritten notes in a green box, likely describing the circuit components or configuration.



Handwritten notes in a green box, possibly a signature or date.

Model 75
- 11 -

Handwritten notes in a green box, likely a date or reference.



Pied de suspension conduites

Ecole Nationale Polytechnique Alger
BANC D'ESSAI
 moteur fusée

PM00275
 -12-

Ecole Nationale Polytechnique Alger
BANC D'ESSAI
 moteur fusée
 Y.A.G. P.75.
 Planche n° 27
 Echelle: 1/10

