

- Note CEA-N-1360 -

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Service de Protection contre les Radiations

**ESSAI D'UN APPAREIL DE PROTECTION RESPIRATOIRE FILTRANT
A VENTILATION ASSISTEE**

par

Louis CHRETIEN, Yvon LE BOURDONNEC

- Octobre 1970 -

CEA-N-1360 - CHRETIEN Louis, Le BOURDONNEC Yvon

ESSAI D'UN APPAREIL DE PROTECTION RESPIRATOIRE FILTRANT
A VENTILATION ASSISTEE

Sommaire. - La puissance respiratoire développée par le porteur d'un masque filtrant peut être mesurée soit à partir des caractéristiques statiques "pression-débit", soit directement à l'aide d'une machine alternative simulant la respiration humaine.

Les deux méthodes ont permis d'évaluer le gain relatif de puissance apporté par le ventilateur électrique incorporé à l'appareil respiratoire.

On a également précisé les conditions assurant une pression positive dans le demi-masque et la protection de l'utilisateur vis-à-vis des fuites. Une évaluation plus directe de la puissance et du gain relatifs à n'importe quel débit a pu être faite par le calcul.

1970

19 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-N-1360 - CHRETIEN Louis, LE BOURDONNEC Yvon

TESTS ON AN AUTOMATIC AIR-PURIFYING RESPIRATOR

Summary. - Respiration rate done when wearing an air purifying respirator can be measured, either from static characteristics pressure rate of flow, or directly with a pump designed to simulate human respiration.

Both methods permit an estimation of the relative power gain due to the electric centrifugal blower included.

The conditions which would insure positive pressure in the half-mask, and the protection of the wearer against leakages are specified.

A calculation was made of the work rate and relative gain under different respiratory air flow conditions.

1970

19 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

- Note CEA-N-1360 -

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Service de Protection contre les Radiations

ESSAI D'UN APPAREIL DE PROTECTION RESPIRATOIRE FILTRANT
A VENTILATION ASSISTEE

par

Louis CHRETIEN, Yvon LE BOURDONNEC

S O M M A I R E

I - INTRODUCTION

II - DISPOSITIF D'ESSAIS

III- PRINCIPES DE MESURE DE LA PUISSANCE DEVELOPPEE POUR LA RESPIRATION

IV - TECHNIQUES DE MESURE

4.1. Essais à débits constants

4.2. Essais à débit sinusoïdal

V - EVALUATION PAR LE CALCUL DES PUISSANCES A UN REGIME QUELCONQUE

5.1. Cas du ventilateur à l'arrêt

5.2. Cas du ventilateur en marche

5.3. Résultats

VI - CONCLUSIONS

I - INTRODUCTION

L'aérateur B Q fabriqué par la Société FENZY est un appareil filtrant de protection respiratoire du type buconasal.

Son alimentation est assistée par un ventilateur électrique incorporé, fonctionnant soit sur pile, soit sur batterie.

L'appareil est destiné à assurer la protection respiratoire dans les mines, les carrières et les usines. La cartouche contient un dièdre de papier filtre dénommé communément au C.E.A. "filtre bleu". Le pouvoir de rétention de ce filtre est de 0,50 pour des aérosols de granulométrie moyenne de $0,3 \mu\text{m}$ [1/ 2/ 3/]. Son emploi est donc à déconseiller dans le domaine nucléaire. A une concentration de 200 mg/m^3 de poussières d'un diamètre moyen de $0,8 \mu\text{m}$, l'efficacité du filtre est estimée par le constructeur à 0,85, après 30 minutes de fonctionnement.

Ce type d'appareil, dont deux modèles semblables sont décrits en [4/ 5/], présente un double intérêt en raison de son principe.

D'une part, le ventilateur assure un débit permanent d'air dans le masque et provoque une surpression à l'intérieur de celui-ci, tant que son débit demeure supérieur à celui de l'utilisateur. Cette surpression s'oppose à la pénétration de la contamination si le demi-masque est mal adapté sur le visage.

D'autre part, le ventilateur limite l'effort à fournir à l'inspiration.

Nos essais ont été effectués à la demande du Service Technique d'Etudes de Protection. Pour différents régimes respiratoires, résultant des efforts physiques développés par le porteur du masque, nous avons recherché les facteurs suivants :

- valeur de la pression dans le masque,
- puissance énergétique supplémentaire développée par l'usager de l'appareil respiratoire et gain résultant de la présence du ventilateur,
- conditions de respiration pour lesquelles un gain optimal est assuré,
- modifications apportées au cycle respiratoire par le port de l'appareil.

L'ensemble de ces facteurs a été déterminé pour un filtre neuf et après colmatage.

II - DISPOSITIF D'ESSAIS

Le dispositif d'essais comporte :

- une tête anatomique gonflable supportant le masque. Cette tête permet de reproduire la circulation de l'air dans l'appareil de protection respiratoire. Elle est, selon les essais, reliée soit à une alimentation d'air comprimé ou à un éjecteur assurant une circulation de l'air à débit constant, soit à une machine alternative à débit et fréquence réglables, simulant le poulmon,

- une chaîne de mesure comprenant :

- . une prise de pression montée sur la tête anatomique, au niveau des voies respiratoires supérieures,
- . un débitmètre réalisé par un capteur de Fleisch connecté à une sonde de pression,
- . un indicateur du volume d'air présent à un instant donné dans la machine alternative.

Les signaux de la chaîne de mesure sont, suivant les besoins, lus sur un voltmètre électronique ou photographiés sur l'écran d'un tube oscilloscope.

III - PRINCIPES DE MESURE DE LA PUISSANCE DÉVELOPPÉE POUR LA RESPIRATION

En l'absence de normes françaises, nous avons basé nos essais sur les travaux de Cooper [6/ [1/ [6/ et sur les règles adoptées par le US. Bureau of Mines et l'American Standards Association [9/. L'aérateur a donc été essayé aux trois régimes ci-dessous .

Volume courant	Fréquence	Ventilation
V (l)	f(cycle/mn)	V (l/mn)
1	20	20
2	25	50
3	33,3	100

Les facteurs physiologiques en cause et les méthodes d'essai sont exposées en détail en [10/.

Cooper a montré que le débit respiratoire humain q suit assez bien une loi sinusoïdale en fonction du temps :

$$q = Q \sin 2\pi ft \quad (1)$$

où Q est le débit maximal du poumon,

f est la fréquence du cycle respiratoire.

En appelant p_i et p_e les pressions dans le masque à l'instant t , dv le volume d'air échangé par le poumon pendant l'intervalle de temps dt , les travaux ϵ_i et ϵ_e effectués durant les phases inspiratoire et expiratoire se déduisent de .

$$\epsilon_i = - \int p_i \cdot dv \quad \epsilon_e = - \int p_e \cdot dv \quad (2)$$

Les puissances moyennes développées sont par suite :

$$W_i = f \cdot \epsilon_i \quad W_e = f \cdot \epsilon_e \quad (3)$$

L'évaluation des intégrales figurant en (2) peut se faire de plusieurs façons.

Au cours d'essais à débit constant, on détermine les caractéristiques statiques "pression-débit". Le graphique du cycle respiratoire est tracé point par point et l'on évalue par pesée l'aire correspondant au travail respiratoire.

On peut également développer la fonction "pression-débit". Reportée sur du papier logarithmique, les caractéristiques statiques "pression-débit" sont assimilables à des droites ou à des portions de droite de pente n , permettant d'écrire :

$$P_i = k_i \cdot Q^{n_i} \quad P_e = k_e \cdot Q^{n_e} \quad (4)$$

où les facteurs k sont déterminés par les maximums de pression et de débit du régime considéré.

$$k_i = P_i \cdot Q^{-n_i} \quad k_e = P_e \cdot Q^{-n_e} \quad (5)$$

Posant par ailleurs $x = 2\pi ft$, les valeurs de W_i et W_e figurant en (3) sont données par :

$$W_i = \frac{I}{2\pi} \cdot P_i \cdot Q \cdot I_i \quad W_e = \frac{I}{2\pi} \cdot P_e \cdot Q \cdot I_e \quad (6)$$

où I est une intégrale fonction de la pente n considérée.

$$I = \int_0^\pi \sin^{n+1} x \cdot dx \quad (7)$$

Un abaque des valeurs de I peut être tracé à l'aide des tables numériques de la fonction eulérienne Γ . On a en effet :

$$\int_0^\pi \sin^r x \cdot dx = \sqrt{\pi} \frac{\Gamma \frac{r+1}{2}}{\Gamma (\frac{r}{2} + 1)} \quad (8)$$

Une troisième méthode consiste, à l'aide de la machine alternative, à photographier le cycle "pression-volume" sur l'écran de l'oscilloscope et d'évaluer par pesée l'aire correspondant au travail respiratoire.

IV - TECHNIQUES DE MESURE

4.1. Essais à débits constants

On fait varier le débit d'air Q développé par l'éjecteur (phase inspiratoire) ou par le réseau d'air comprimé (phase expiratoire) entre 0 et 20 l/h. Pour chaque valeur du débit, on note les pressions existant dans le masque. Ces relevés sont faits lorsque le ventilateur de l'appareil FENZL est en fonctionnement et lorsqu'il est arrêté.

Les caractéristiques statiques "pression-débit" figurant aux planches 2 et 3 montrent qu'en fin d'expiration ($Q = 0$) la surpression créée par le ventilateur est de 3mm de colonne d'eau avec le filtre neuf et de 1,5mm avec le filtre colmaté (colmatage correspondant à une perte de charge de 4 mm de colonne d'eau pour un débit de 3 m³/h).

On observe le passage en dépression durant la phase inspiratoire dès que le débit maximal du poumon atteint 6,5 m³/h quand le filtre est neuf et 3 m³/h quand le filtre est colmaté. Ces débits sont respectivement ceux d'un homme développant une puissance mécanique de 100 W et d'un homme au repos.

Une définition concrète et un classement en trois catégories des efforts qu'il est possible de faire, en portant un appareil ou un vêtement de protection, sont donnés par Rowlands [11/].

Travail léger : Puissance mécanique développée entre 35 et 50 W -

Station debout avec mouvements modérés des bras et des jambes, par exemple entretien d'appareils ...

Travail modéré : Puissance mécanique développée entre 50 et 90 W -

Marche intermittente en soulevant des masses modérées, par exemple entretien mécanique, commande de machines, décontamination de surfaces...

Travail important : Puissance mécanique développée entre 90 et 150 W -

Marche continue en soulevant des poids lourds, par exemple en élevant des protections, en démontant des machines lourdes, en travaillant à la pioche et à la pelle...

L'ordre de grandeur des travaux étant ainsi défini, on peut donc préciser que la pénétration des poussières n'est pas à redouter tant que l'homme exerce un travail modéré.

Nous avons tracé, sur les planches 4, 5, 6, les diagrammes "pression-volume" relatifs aux trois régimes d'essai spécifiés, l'appareil étant équipé d'un filtre neuf.

1er régime : $V = 1$ l $f = 20$ cycle/mn (planche 4)

Le masque est constamment en surpression. La soupape d'expiration demeure ouverte, évacuant l'excès d'air délivré par le ventilateur.

Le travail respiratoire est proportionnel à l'aire située entre le demi-cycle considéré et l'axe des volumes.

A l'inspiration, il est proportionnel à l'aire S_3 et négatif. Ce travail est fourni par l'aérateur. Le port du masque n'oblige l'utilisateur à aucun travail supplémentaire.

A l'expiration, le travail représenté par l'aire $(S_2 + S_1 + S_3)$ est supérieur au travail S'_1 sans ventilateur.

2è et 3è régimes : $V = 2$ l $f = 25$ cycle/mn (planche 5)

$V = 3$ l $f = 33,3$ cycle/mn (planche 6)

Le masque entre en dépression durant une grande partie de la phase inspiratoire.

A l'inspiration, le travail proportionnel à l'aire S_1 est plus faible que celui S'_1 sans ventilateur.

A l'expiration, le travail représenté par l'aire ($S_2 + S_3$) est supérieur à celui S'_2 sans ventilateur.

Les valeurs numériques des puissances en jeu sont données en annexe au tableau I. La puissance respiratoire totale développée avec l'aérateur B Q FENZY est, sauf aux très faibles régimes, moins élevée qu'avec un appareil simplement filtrant. Le gain relatif approche 0,30 au régime moyen. Le débit d'air permanent du ventilateur réduit le travail durant la phase inspiratoire, mais l'augmente, par contre, pendant la phase expiratoire. Un déséquilibre entre les deux phases est introduit, sur lequel nous reviendrons.

4.2. Essais à débit sinusoïdal

Nous avons reproduit, sur la planche 4, les diagrammes "pression-volume" photographiés au cours d'essais sur la machine alternative fonctionnant au premier régime ($V = 1$ - $f = 20$ cycle/min) avec un filtre neuf.

Les puissances, évaluées comme en 4.1, figurent en annexe au tableau II. On note le très bon accord des résultats obtenus dans les essais à débits constants et à débit sinusoïdal.

V - EVALUATION PAR LE CALCUL DES PUISSANCES A UN REGIME QUELCONQUE

La mesure des puissances est évidemment possible à des régimes autres que ceux spécifiés. Le tracé des cycles, point par point, est une méthode laborieuse et les essais à débits variables étaient limités aux possibilités de notre machine actuelle. Nous avons donc procédé par calculs.

5.1. Cas du ventilateur à l'arrêt

Tracées sur du papier logarithmique, les caractéristiques "pression-débit" à l'inspiration et à l'expiration, sont linéaires. Par suite, les formules (6) sont directement applicables.

5.2. Cas du ventilateur en marche

La méthode ci-dessus n'est plus praticable.

Nous avons donc évalué le gain de puissance correspondant à la différence des aires des cycles et la perte représentée par l'aire S_3 .

L'examen des planches 2 et 3 fait apparaître des zones où les différences de pression Δp_i et Δp_e entre les caractéristiques avec ventilateur en marche et avec ventilateur à l'arrêt sont, soit constantes, soit variables avec le débit suivant des fonctions linéaires. En se reportant aux formules (2), on peut donc évaluer les gains correspondants à la différence des aires des cycles :

$$\Delta \mathcal{E}_i = - \int \Delta p_i \cdot dv = - \int \Delta p_i \cdot q dt = - \int (aq + b) q dt \quad (9)$$

$$\Delta \mathcal{E}_e = - \int \Delta p_e \cdot dv = - \int \Delta p_e \cdot q dt = - \int (cq + d) q dt \quad (10)$$

où a, b, c, d, sont des constantes dans la zone considérée.

La formule (9) permet également le calcul de la perte de puissance représentée par l'aire S_3 , étant donné que les caractéristiques à l'inspiration, dans la zone de surpression, sont linéaires.

5.3. Résultats

Ils sont donnés à la planche 7 où l'on a tracé, en fonction du débit Q, pour un filtre neuf et pour un filtre colmaté :

- les courbes des puissances W et W_o développées avec et sans le ventilateur,
- les courbes des gains relatifs de puissance dus au ventilateur

$$G = 100 \frac{W_o - W}{W_o} \quad (11)$$

Le U.S. Bureau of Mines et l'American Standards Association recommandent que la puissance expiratoire soit inférieure à 0,6 pour-cent de la puissance totale développée par l'usager. L'aérateur BQ répond à cette condition.

En ce qui concerne le gain G, il est maximal lorsque le débit du poumon égale celui du ventilateur.

VI - CONCLUSIONS

L'aérateur BQ FENZY est muni d'un filtre "papier bleu" assurant une protection valable dans les mines, les chantiers et les usines. Il n'est certainement pas adapté au domaine nucléaire, où l'on doit se protéger à la fois contre les gaz et les aérosols avec, pour ces derniers, une granulométrie souvent inférieure au micromètre.

La turbine légère, fixée directement sur le demi-masque, en fait un appareil de port aisé.

Quand le filtre est neuf, l'usager est protégé contre les fuites éventuelles s'il se livre à un travail physique modéré correspondant à une puissance inférieure à 100 W. Il y a donc intérêt à contrôler fréquemment le filtre.

La puissance respiratoire développée avec l'aérateur BQ est, sauf aux très petites ventilations, plus faible qu'avec un masque filtrant. Elle est dans les limites recommandées par le U.S. Bureau of Mines. Le gain relatif de puissance atteint une valeur maximale comprise entre 0,30 et 0,40 dans les conditions de travail physique définies ci-dessus.

BIBLIOGRAPHIE

- /1/ COCHINAL R. - ROUBY R.
Etude de différents filtres
Note CEA n° 290 - 1959
- /2/ BILLARD F. - CHEVALIER G. - PRADEL J.
Etude du pouvoir d'arrêt de différents filtres
Rapport CEA R 1524 - 1960
- /3/ MADELAINE G.
Etude du pouvoir d'arrêt de différents filtres
Rapport CEA R2432 - 1964
- /4/ SILVERMAN L. - BURGESS W.
A self-contained positive supply filter respirator
American Industrial Hygiene Association Journal - Vol 25 - N4 (juillet-août 1964)
p. 329-337
- /5/ BURGESS W. - PARKER C. REIST
Supply rates for powered air-purifying respirators
American Industrial Hygiene Association Journal - Vol 30 - N1 (janvier-février 1969)
p. 1-6
- /6/ COOPER E.A.
Device for the estimation of the rate of work on passing air by sine wave flow.
Journal of Scientific Instruments - Vol 36 (octobre 1959) p. 436-438
- /7/ COOPER E.A.
A comparison of respiratory work done against an external resistance by man
and by a sine-wave pump.
Quart. J. Exp. Physiol. 45 (1960) p. 179-191
- /8/ COOPER E.A.
Suggested methods of testing and standards of resistance for respiratory protective devices
J. Appl. Physiol. 15 (1960) p. 1053-1064
- /9/ AMERICAN INDUSTRIAL ASSOCIATION
Respiratory protective devices manual (American conference of governmental industrial hygienists 1963) p. 9-17
- /10/ WERDERER B.
La contamination radioactive des ateliers et des laboratoires
Tome III - Les techniques de protection individuelle (CENS - à paraître)
- /11/ ROWLANDS R.P.
Physiologically safe working conditions for men wearing pressurised suits
AHSB (RP) R.70 - p. 9-10

Manuscrit reçu le 22 juillet 1970

T A B L E A U I

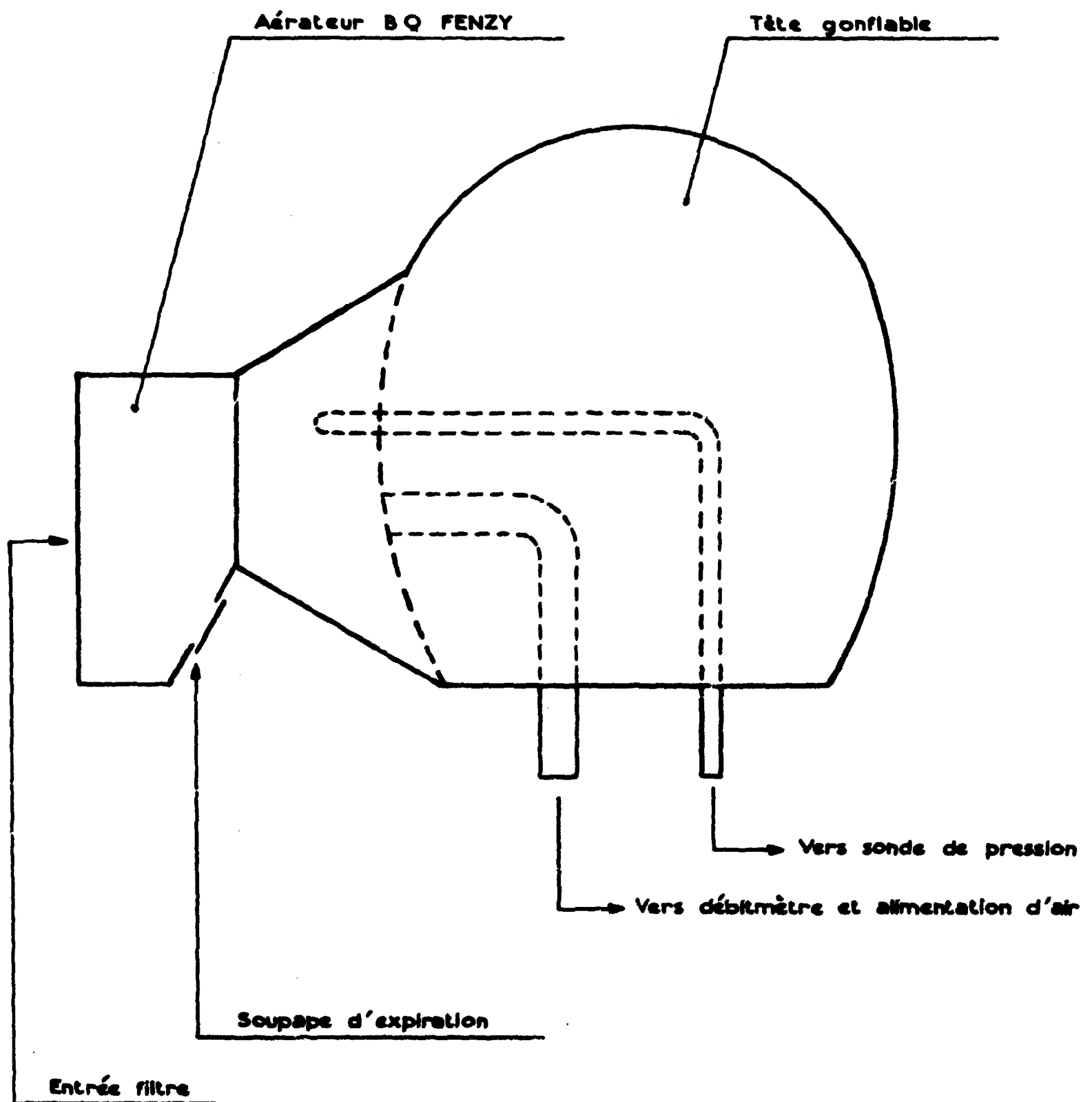
Puissances respiratoires mises en jeu avec l'aérateur FENZY avec et sans ventilateur.
Essais à débits constants (Filtre neuf)

Volume courant Fréquence	V = 1 l f = 20 cycle/mn (diagrammes Pl. 4)			V = 2 l f = 25 cycle/mn (diagrammes Pl. 5)			V = 3 l f = 33,3 cycle/mn (diagrammes Pl. 6)		
W (mW)	Insp.	Exp.	Total	Insp.	Exp.	Total	Insp.	Exp.	Total
Ventilateur en marche	0	12,5	12,5	16,5	33	49,5	295	90	385
Ventilateur à l'arrêt	4,15	2,5	6,65	57	13	70	400	52	452
Gain relatif en %						29			15

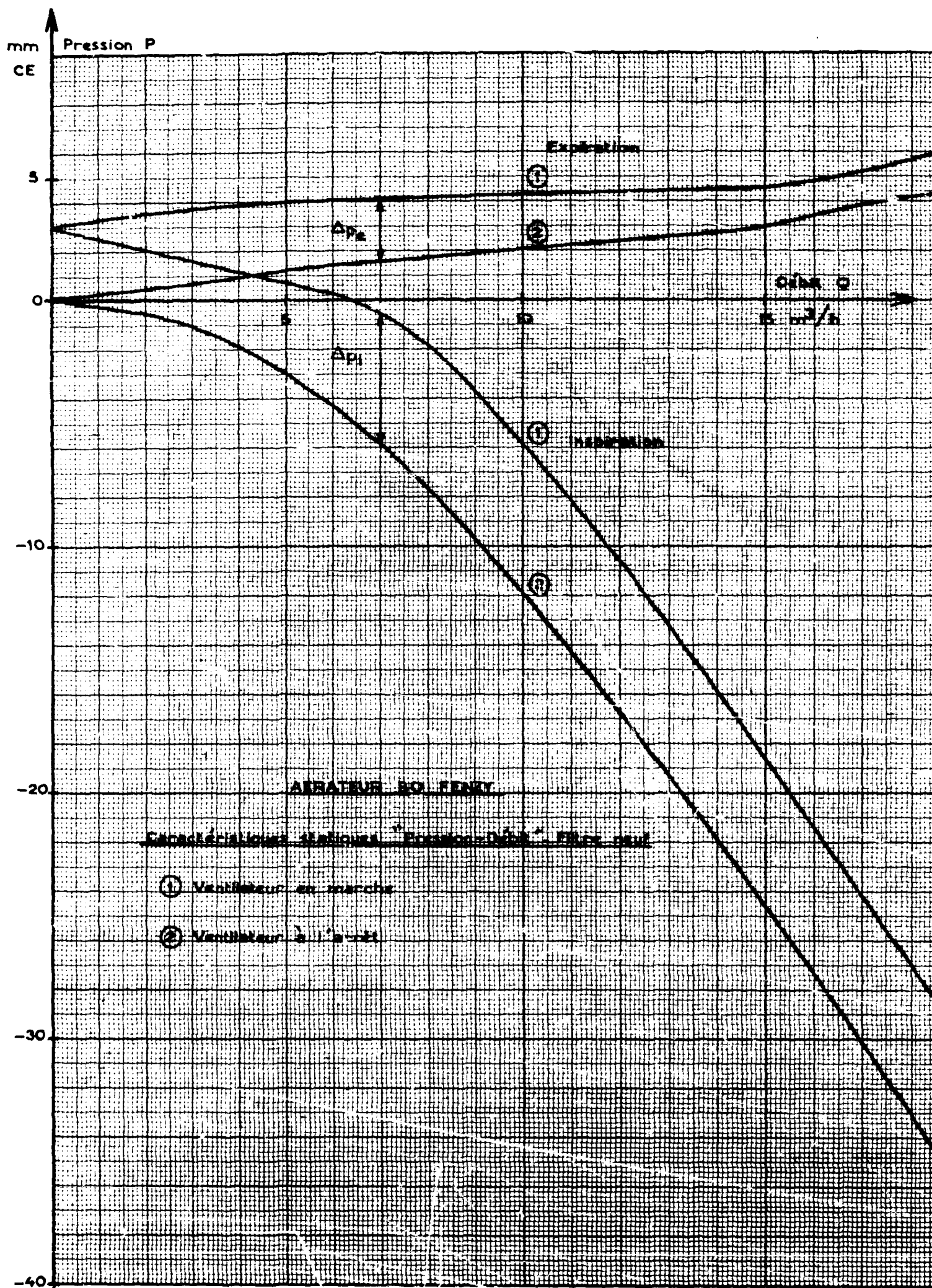
T A B L E A U II

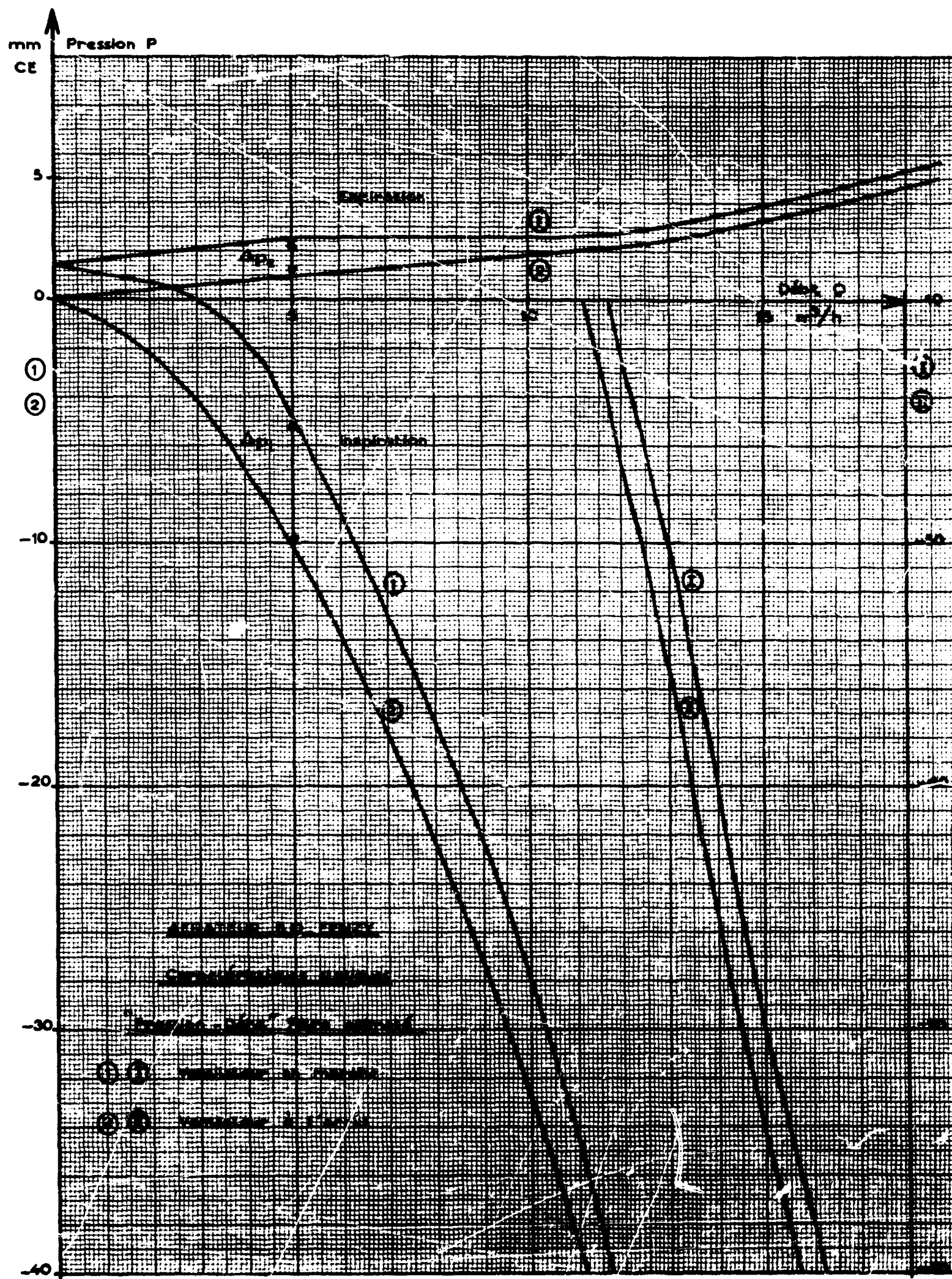
Puissances respiratoires mesurées avec la machine alternative (filtre neuf)

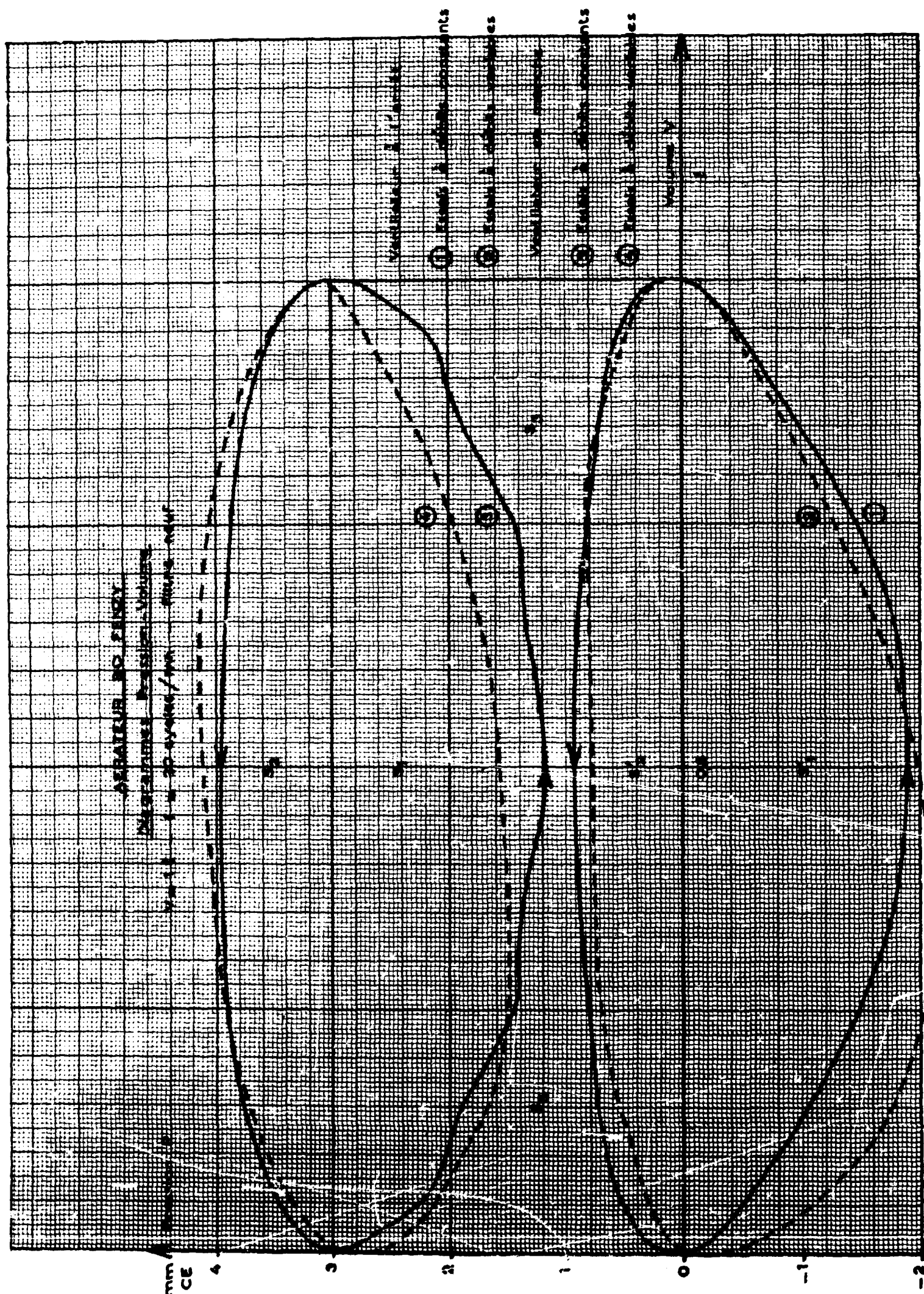
V = 1 l f = 20 cycle/mn			
W (mW)	Insp.	Exp.	Total
Aérateur FENZY	0	12,35	12,35
Masque filtrant	4,60	2,05	6,65

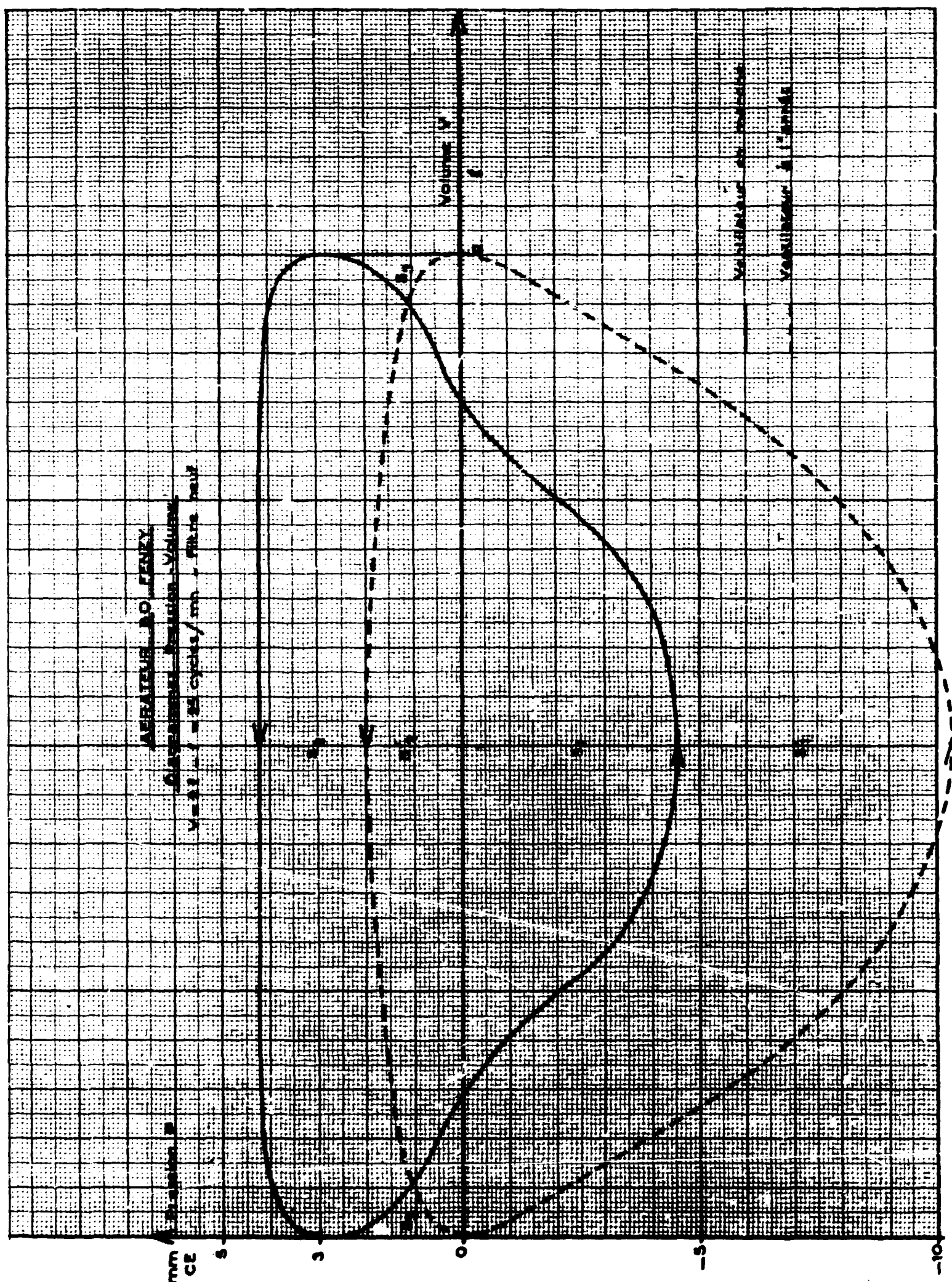


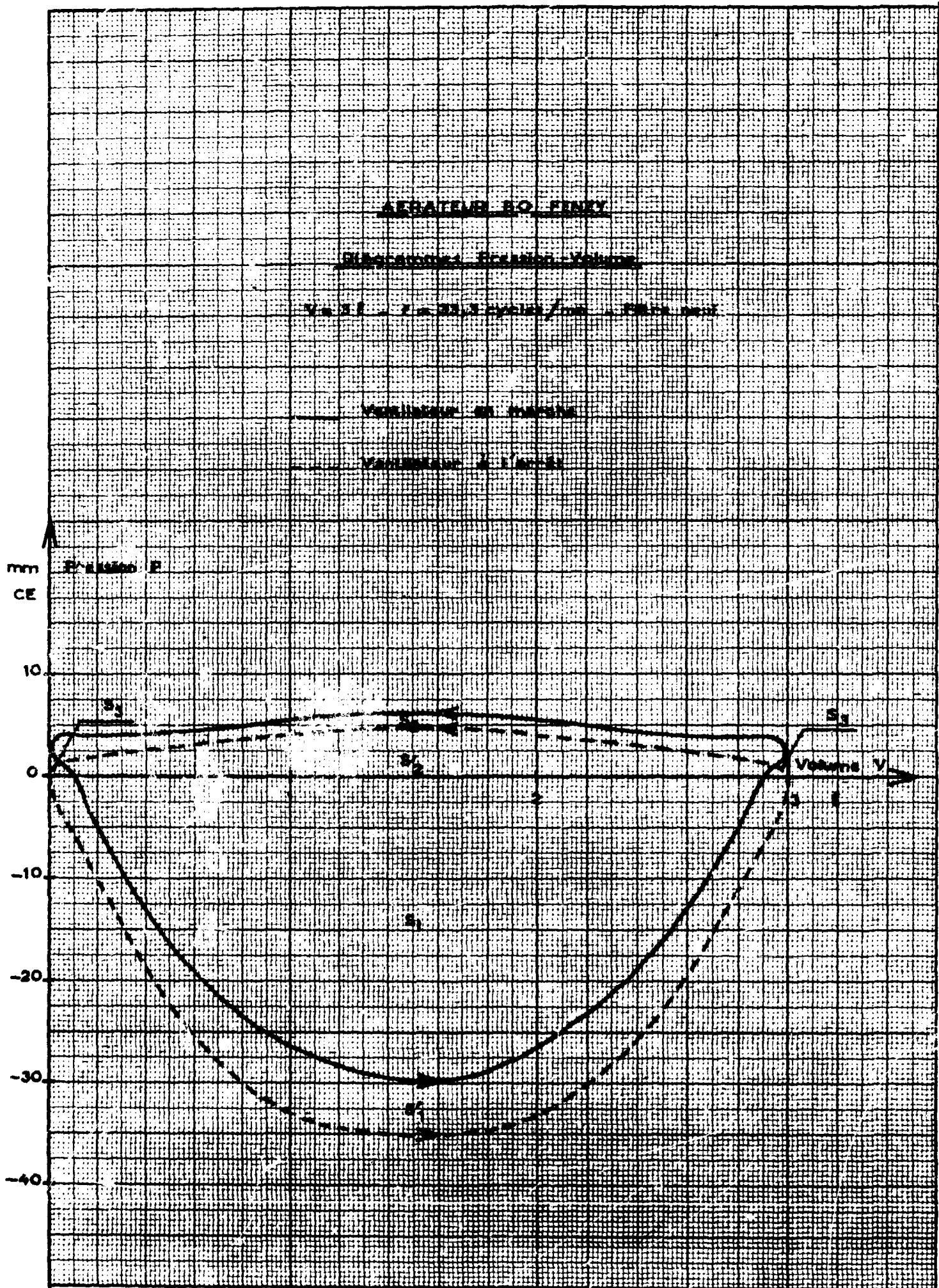
SCHEMA DE LA TETE ANATOMIQUE



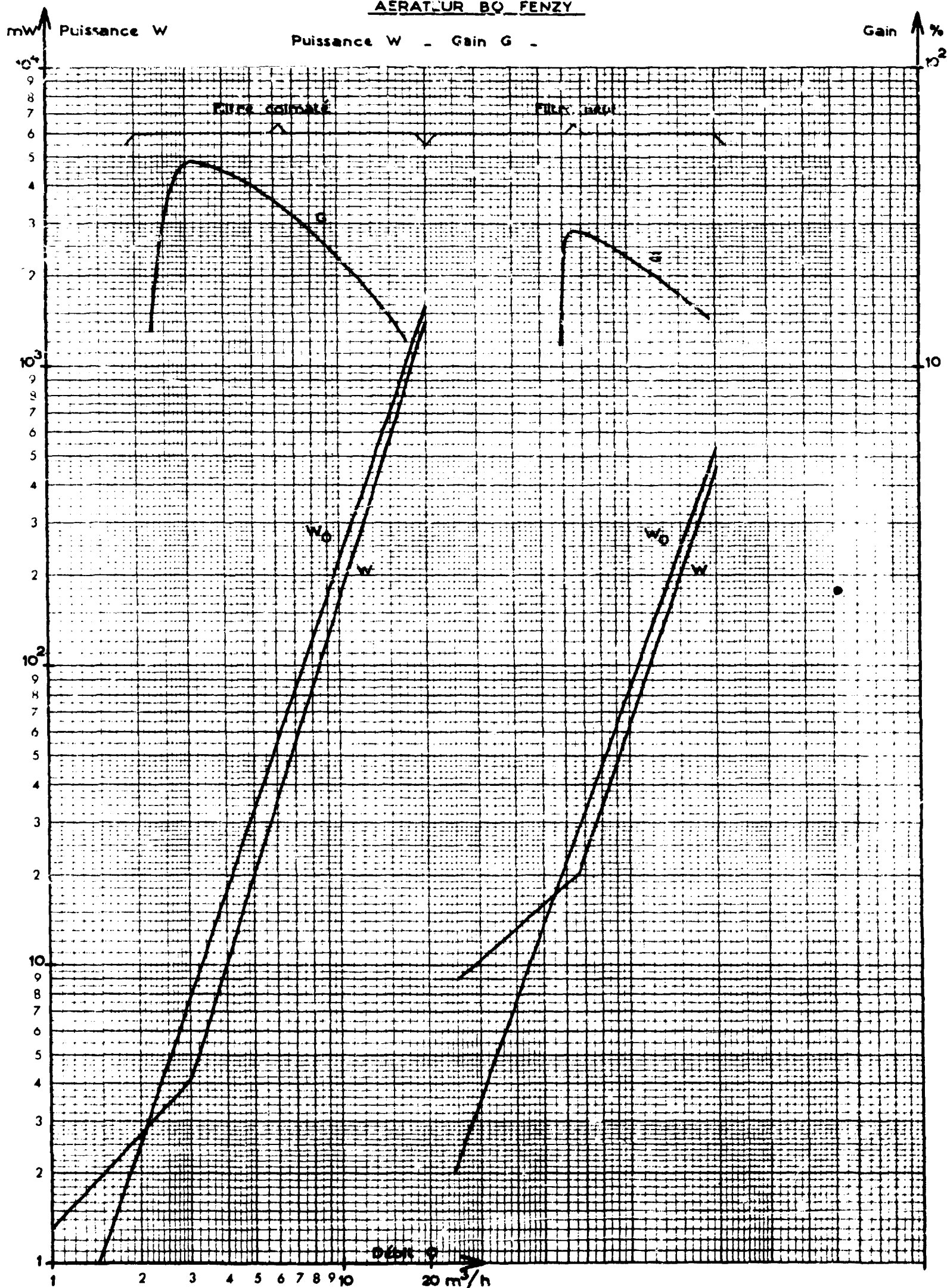








AERATEUR BO FENZY



Edité par
le Service Central de Documentation du C.E.A.
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Boîte Postale n° 2
91 - GIF-sur-YVETTE (France)