

Titre: Etude des bruits respiratoires
Title:

Auteurs: Benoît Champagne
Authors:

Date: 1981

Type: Rapport / Report

Référence: Champagne, B. (1981). Etude des bruits respiratoires. (Technical Report n° EP-R-82-03). <https://publications.polymtl.ca/5990/>

Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/5990/>
PolyPublie URL:

Version: Version officielle de l'éditeur / Published version

Conditions d'utilisation: Tous droits réservés / All rights reserved
Terms of Use:

Document publié chez l'éditeur officiel

Document issued by the official publisher

Institution: École Polytechnique de Montréal

Numéro de rapport: EP-R-82-03
Report number:

URL officiel:
Official URL:

Mention légale:
Legal notice:



DÉPARTEMENT DE GÉNIE PHYSIQUE

Rapport technique EP82-R-3

Classification: Library of Congress no...

ETUDE DES BRUITS RESPIRATOIRES

par

Benoit Champagne

Maurice Amram, ing.

1981

Ecole Polytechnique de Montréal

CA2PQ

UP 5

R82-03

ex.2

Campus de l'Université
de Montréal
Case postale 6079
Succursale 'A'
Montréal, Québec
H3C 3A7

09 MARS 1982

ETUDE DES BRUITS RESPIRATOIRES

par Benoît Champagne

Présenté à M. Amram et M. Nachman

Bm

Ecole Polytechnique de Montréal

4 septembre 1981

CA2PQ
UP 5
R82-03
ex. 2

48-035-092

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
0. INTRODUCTION	1
1. OBJECTIFS DU TRAVAIL	2
2. RETROSPECTIVE	3
2.1 - Classification sommaire des bruits pulmonaires	3
2.2 - Origine des bruits pulmonaires	3
2.3 - Altérations des bruits pulmonaires dans les conditions pathologiques	7
2.4 - Bruits d'origine pathologique	8
3. EXPERIMENTATION	10
3.1 - Description d'un montage permettant de simuler des bruits respiratoires	10
3.2 - Effet du débit de l'air sur l'intensité des bruits . . .	13
3.3 - Etude des bruits pulmonaires ayant lieu lors de l'expiration	31
3.4 - Etude sur le bruit laryngé	43
3.5 - Pour l'obtention d'un modèle théorique	64
4. CONCLUSION	65
BIBLIOGRAPHIE	67

0. INTRODUCTION

Le présent ouvrage est le fruit d'un travail de recherche estival mené à l'Ecole Polytechnique de Montréal. Il s'agit là d'un programme financé par le CRSNG et l'Ecole Polytechnique.

Le travail en question s'insérait dans un projet plus vaste de phonopneumographie. Cette technique consiste à écouter et à enregistrer graphiquement les bruits pulmonaires pour apporter un diagnostique sur l'état du système respiratoire. Une fois mise au point, la méthode facilitera grandement la tâche du spécialiste puisqu'il pourra diagnostiquer une maladie à partir des enregistrements, sans avoir à se déplacer.

Il s'agissait donc premièrement d'en savoir plus long sur les bruits respiratoires, tant normaux que pathologiques. A cette fin il a fallu mener un travail bibliographique et par la suite un travail expérimental. C'est de ce dernier dont il est question dans la plus grande partie de l'ouvrage qui suit.

1. OBJECTIFS DU TRAVAIL

Comme tel, l'objectif principal de ce travail est de formuler certaines hypothèses quant à la genèse des bruits respiratoires et de vérifier expérimentalement leur validité. A cette fin, la section suivante nous sera d'une grande utilité. Elle décrit de façon chronologique les différents modèles, hypothèses et théories des bruits pulmonaires qu'ont formulé grand nombre de chercheurs jusqu'à ce jour. Cette section, en plus de nous familiariser avec le sujet, servira de base pour l'élaboration d'hypothèses de travail.

2. RETROSPECTIVE

2.1 - Classification sommaire des bruits pulmonaires

Avant de mettre à jour les différentes hypothèses émises jusqu'à présent quant à l'origine des bruits pulmonaires, il semble préférable de passer en revue le mode de classification de ces bruits.

Primo, on se doit à priori de distinguer entre un son produit pendant l'inspiration et un son produit pendant l'expiration. En effet, il est fort possible que les mécanismes responsables de ces sons soient différents.

La seconde distinction vient du fait qu'à l'origine, ces bruits furent qualifiés de "bronchiques" ou de "vésiculaires", selon qu'il s'agissait des bruits entendus près du cou, ou près de la cage thoracique, respectivement. Les termes employés semblent indiquer que ces bruits sont causés par deux sources différentes (bronches et alvéoles): il n'y a pourtant aucune preuve de cela.

Ces distinctions s'appliquent aux bruits pulmonaires normaux qu'on ne doit pas confondre avec les bruits d'origine pathologique.

2.2 - Origine des bruits pulmonaires

Peu de recherches ont été menées dans le but de déterminer l'origine exacte des bruits pulmonaires et par surcroît, une grande partie des résultats obtenus s'avèrent contradictoires.

En 1884, Bullar (1) tente de déterminer l'endroit où sont produits les bruits vésiculaires du poumon. Pour ce faire, il utilise un poumon de mouton qu'il enferme dans une cage thoracique artificielle. A

l'intérieur de celle-ci, le poumon peut se gonfler et se dégonfler. Quand le poumon enflé, Bullar peut entendre des bruits à sa surface, même quand le larynx et une grande partie de la trachée sont absents. Il en conclut que le son est produit à l'intérieur du poumon, soit par la frottement d'air qui pénètre les alvéoles, soit par distension de la parenchyme du poumon. Pour vérifier la dernière possibilité, Bullar provoque la distension du poumon en abaissant la pression dans la cage tout en maintenant bouchés les conduits respiratoires du poumon empêchant ainsi l'écoulement de l'air. Il n'en résulte aucun bruit!

En 1921, Bushnell (2) écoute les sons respiratoires tout en observant la glotte de ses patients. Quand celle-ci est ouverte au maximum durant la respiration, tous les bruits disparaissent. Bushnell en conclut que les bruits vésiculaires prennent naissance au larynx et qu'ils se transmettent à la cage thoracique via les voies respiratoires.

En 1955, McKussik et associés (3) utilisent un spectrographe sonore pour analyser les bruits pulmonaires. Ils acceptent la théorie de Bullar - selon laquelle les bruits vésiculaires de l'inspiration sont produits à l'intérieur des alvéoles et sont le résultat de turbulence suite à l'entrée de l'air dans celles-ci - et en même temps celle de Fahr (4) qui prétend que les bruits vésiculaires de l'expiration prennent naissance dans les conduits respiratoires de diamètre supérieure à 4 mm par un mécanisme similaire à celui responsable de la production du son dans les tuyaux d'orgue. Cette dernière théorie s'appuie entre autres sur les travaux de Martini et Muller (5) qui mettent en évidence l'atténuation des vibrations sonores dans les tubes de 2 à 3 mm de diamètre.

Les travaux plus récents de Leblanc (6) établissent une corrélation entre l'intensité du bruit en un endroit donné de la cage thoracique

et la ventilation pulmonaire de la région sous-jacente. Selon Leblanc, les bruits vésiculaires sont dus uniquement au remplissage des alvéoles.

Tout en poussant de l'avant certains travaux ayant pour but de déterminer si les bruits pulmonaires régionaux peuvent être utilisés comme indice de la ventilation des parties sous-jacentes du poumon, le groupe de Ploy-Song-Sang (7-8-9-10) émet certaines hypothèses quant à l'origine des bruits vésiculaires. Tout d'abord il réfute les travaux de Bullar. Le groupe de Ploy-Song-Sang s'appuie sur des travaux plus récents montrant qu'au niveau des alvéoles, le flot d'air est laminaire avec une vitesse faible. Il n'y a probablement pas assez d'énergie mise en cause pour produire du bruit. D'autre part, leur recherche montre que les bruits vésiculaires ne peuvent provenir d'une source centrale comme le larynx ou la trachée. Ils ont donc de bonnes raisons de croire que les bruits vésiculaires sont produits quelque part dans le poumon entre les bronchioles de 3 mm de diamètre et les alvéoles et qu'ils ne font pas intervenir la turbulence.

Le groupe de Kraman (11) semble adopter les conclusions du groupe de Ploy-Song-Sang quant aux bruits vésiculaires de l'inspiration. Il propose toutefois un mécanisme différent pour l'expiration: le bruit est généré soit à la glotte, résultant du passage de l'air au travers des cordes vocales, soit dans les conduits de grandes dimensions (trachée, bronche) résultant de la convergence du flot d'air. Il prétend en plus que ces composantes "centralisées" sont présentes lors de l'inspiration mais qu'elles sont masquées par des sources se situant en périphérie de la cage thoracique.

Bohadana (12) partage aussi l'idée qu'il existe deux sources de bruits (l'une centralisée, l'autre périphérique) mais selon lui, seule la

source périphérique est audible sur la cage thoracique. En plus, il ne fait pas de distinction entre l'inspiration et l'expiration.

Les groupes de Capel (13), Banasyak (14), Mori (15) et Forgues (16) ne font pas eux non plus cette distinction. Ils estiment que le son pulmonaire est causé par un écoulement turbulent dans le pharynx, la trachée et les bronches. Ce mécanisme est à la fois responsable des bruits bronchiques et des bruits vésiculaires par transmission à travers le poumon. Dans ce cas le poumon agit comme un filtre passe-bande, responsable de l'atténuation de certaines fréquences.

Le groupe de Forgues explicite le phénomène de transmission: le son produit au niveau du larynx et de la trachée se propage d'abord dans le gaz contenu dans les bronches les plus grandes; en périphérie du poumon, où les conduits de petites tailles ne permettent pas la conduction du son, la transmission continue à travers le tissu pulmonaire et les vibrations atteignent enfin la cage thoracique.

Finalement, une étude récente du groupe de Patterson (17) attribue la cause des bruits pulmonaires sans distinction, à des tourbillons laminaires qui prennent naissance dans la trachée, les bronches et les bronchioles de diamètre suffisant. Selon eux la turbulence et le son laryngé jouent un rôle minimal dans la genèse des bruits pulmonaires.

Dans l'ensemble on s'aperçoit du manque de concensus entre les résultats obtenus et en particulier, du manque de sérieux de certaines études en ce sens qu'elles lancent des affirmations gratuites. Ceci est dû en grande partie au fait que plusieurs de ces études ont été menées par des non-spécialistes; des médecins plutôt que des acousticiens. De plus, au début des recherches, on manquait de données sur l'écoulement des gaz dans le poumon. On pouvait alors facilement affirmer qu'à un

endroit donné du poumon l'écoulement est turbulent alors qu'il ne l'est pas en réalité!

Quant au manque de consensus, il provient en partie du fait qu'il n'existe probablement pas une source unique de bruits pulmonaires. Partant de là, beaucoup de travaux pourraient se compléter l'un l'autre puisque chacun dévoile possiblement une part de la vérité.

On peut espérer que l'origine des bruits pulmonaires ne posera plus de secret d'ici quelque temps. Ces dernières années, des groupes plus spécialisés (comme celui de Patterson) se sont penchés sur le problème. Plusieurs études concernant les patrons d'écoulement des gaz dans les voies respiratoires et les caractéristiques de ces gaz leur servent d'appui. Connaissant la nature de l'écoulement dans les voies respiratoires, l'acoustique et la mécanique des fluides sont à même de nous renseigner sur les capacités de cet écoulement à produire du bruit.

2.3 - Altérations des bruits pulmonaires dans les conditions pathologiques

Dans de nombreux cas, les altérations des bruits pulmonaires peuvent être rapportées à des modifications physiques des propriétés de conduction et de filtration du poumon et des tissus qui le recouvre. Entre autres, Capel (13) précise que l'intensité des bruits vésiculaires diminue dans le cas d'emphysème (les poumons deviennent alors volumineux, gonflés et mous) et qu'elle augmente dans le cas d'une consolidation des tissus pulmonaires. De plus, dans le cas d'une consolidation, les hautes fréquences se transmettent davantage.

D'autre part, certaines altérations des bruits pulmonaires peuvent être causées directement par des anomalies fonctionnelles au niveau des voies respiratoires. Capel affirme qu'une sténose (rétrécissement

ment d'un conduit) au niveau des bronches ou de la trachée entraîne une augmentation de l'intensité des bruits bronchiques. Quant à Bohadana (12), il croit que la diminution du débit inspiratoire, probablement associée à la diminution du nombre de conduits respiratoires utiles, est un des facteurs déterminant dans la chute d'intensité des bruits pulmonaires mesurés chez les sujets dont les voies respiratoires sont obstruées.

On pourrait sans doute énumérer beaucoup d'autres types d'altérations correspondant à diverses conditions pathologiques. Ce qu'il y a d'important du moins, c'est que ces altérations permettent de savoir comment les bruits normaux de la respiration sont modifiés par un changement structural ou fonctionnel du poumon. Il s'agit là de renseignements précieux pour l'élaboration d'un modèle expliquant la genèse des bruits pulmonaires.

2.4 - Bruits d'origine pathologique

Il y avait autrefois beaucoup de confusion quant à la terminologie employée pour désigner ces bruits. De plus aucun des termes employés n'était défini correctement dans le langage de l'acoustique.

En 1955, Roberston et Coope (18) suggèrent de classer tous ces bruits en deux catégories: les "crackles" et les "wheezes". Dans une publication récente , Forgacs (16) spécifie les propriétés acoustiques des bruits de chaque catégorie. Les "crackles" sont des bruits consécutifs de courte durée dont le spectre s'étend de 200 à 2000 Hertz. Leurs caractéristiques peuvent varier, tel la fréquence, l'intensité et le nombre de bruits consécutifs. Les "wheezes" sont des bruits pulmonaires au caractère musical. Ceci est dû à la présence d'harmoniques prédominantes. Leurs caractéristiques peuvent aussi varier, tel la tonalité, l'intensité, la

durée et la quantité.

Quant à l'origine de ces bruits, Capel (13) et Forgacs s'entendent pour dire que les "wheezes" sont causés par un phénomène de relaxation. Ceci se produit lorsqu'une bronchiole subit un rétrécissement tel que ses parois peuvent presque se toucher. L'écoulement de l'air dans la bronchiole fait alors entrer les parois opposées en vibration. Ceci génère un son dont la tonalité est déterminée uniquement par la masse et les propriétés élastiques des parois en oscillation. D'autre part, on attribue l'origine des "crackles" à l'explosion soudaine qui résulte de l'égalisation de pression entre deux compartiments contenant des gaz de pressions différentes. Par exemple, cela peut provenir d'un conduit respiratoire périphérique qui reste fermé jusqu'à ce que sa résistance ne puisse plus supporter un différentiel de pression.

Ici encore il est intéressant de constater comment des modifications structurales et fonctionnelles du poumon donnent naissance à de nouvelles sources de bruits. Naturellement, ces bruits reflètent l'état pathologique du patient et peuvent être considérés comme un avertisseur sonore offrant un potentiel diagnostique assez élevé.

3. EXPERIMENTATION

Un travail intéressant serait de vérifier expérimentalement certaines hypothèses émises par d'autres chercheurs quant à la genèse des bruits pulmonaires. Dans certains cas, cela nécessite des moyens coûteux et sophistiqués. Par contre, d'autres hypothèses se vérifient assez facilement avec des moyens relativement restreints. C'est sur celles-ci que portera le reste de l'ouvrage.

Dans ce qui suit, les expériences sont décrites dans l'ordre de leur réalisation. Le tout débute avec la description d'un montage permettant de générer des bruits respiratoires.

3.1 - Description d'un montage permettant de simuler des bruits respiratoires (Schémas pages suivantes)

MONTAGE:

principe: Il s'agit de simuler l'inspiration en faisant passer de l'air sous pression dans un moule des voies respiratoires.

Pour ce faire, on dispose d'un coulage en plastique creux des voies respiratoires supérieures d'un chien. Il nous a été prêté par un groupe de chercheurs de l'Université McGill. Ce modèle comprend la trachée et 3 ordres de bronches environ. Pour le compléter, on a introduit à l'entrée de la trachée une pièce de caoutchouc perforée jouant le rôle de la glotte. Naturellement, son rôle est plutôt d'ordre qualitatif que quantitatif. (Fig. 3.1-1 et 3.1-2)

De plus, faute de pouvoir se procurer de l'air, on a dû se con-

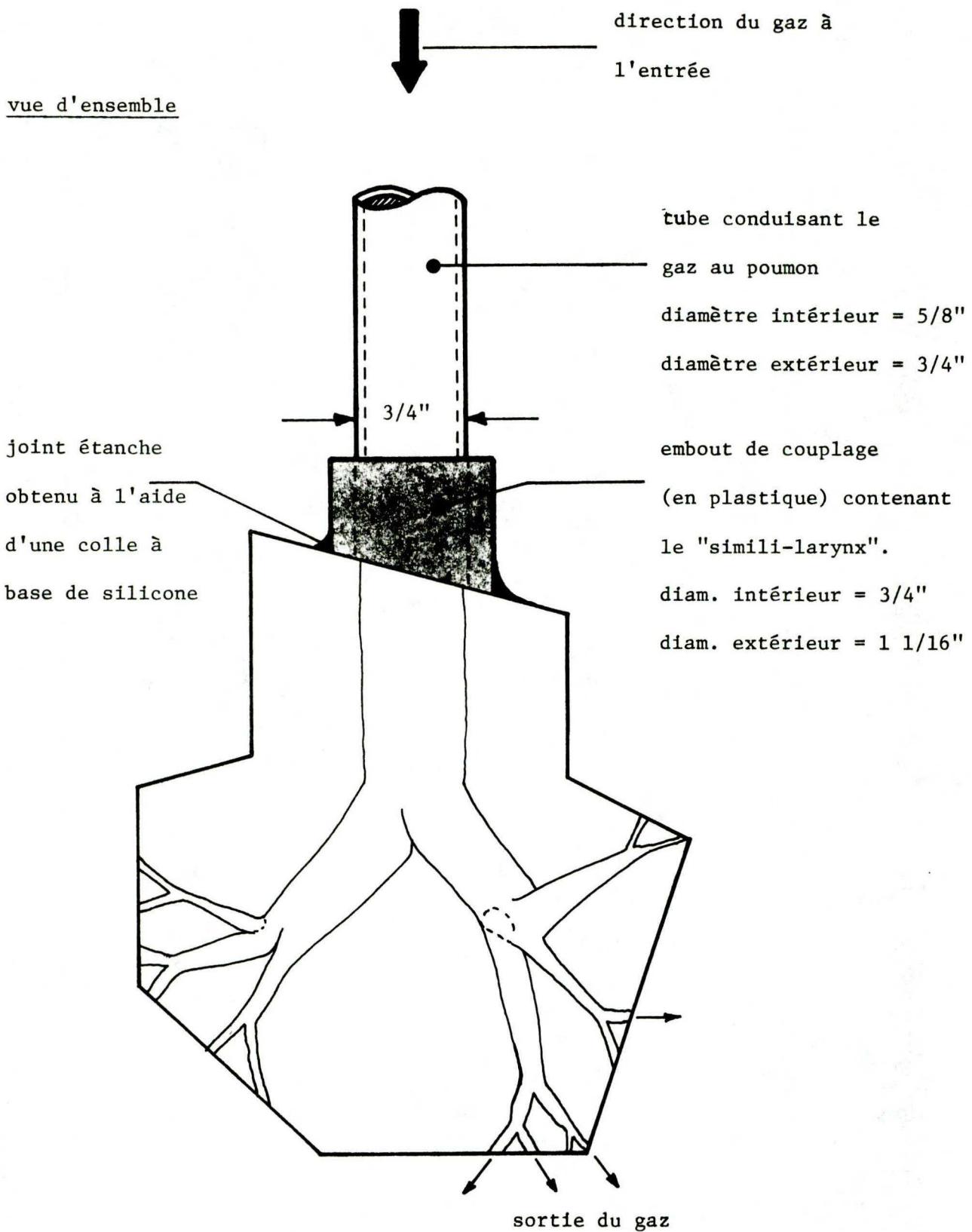
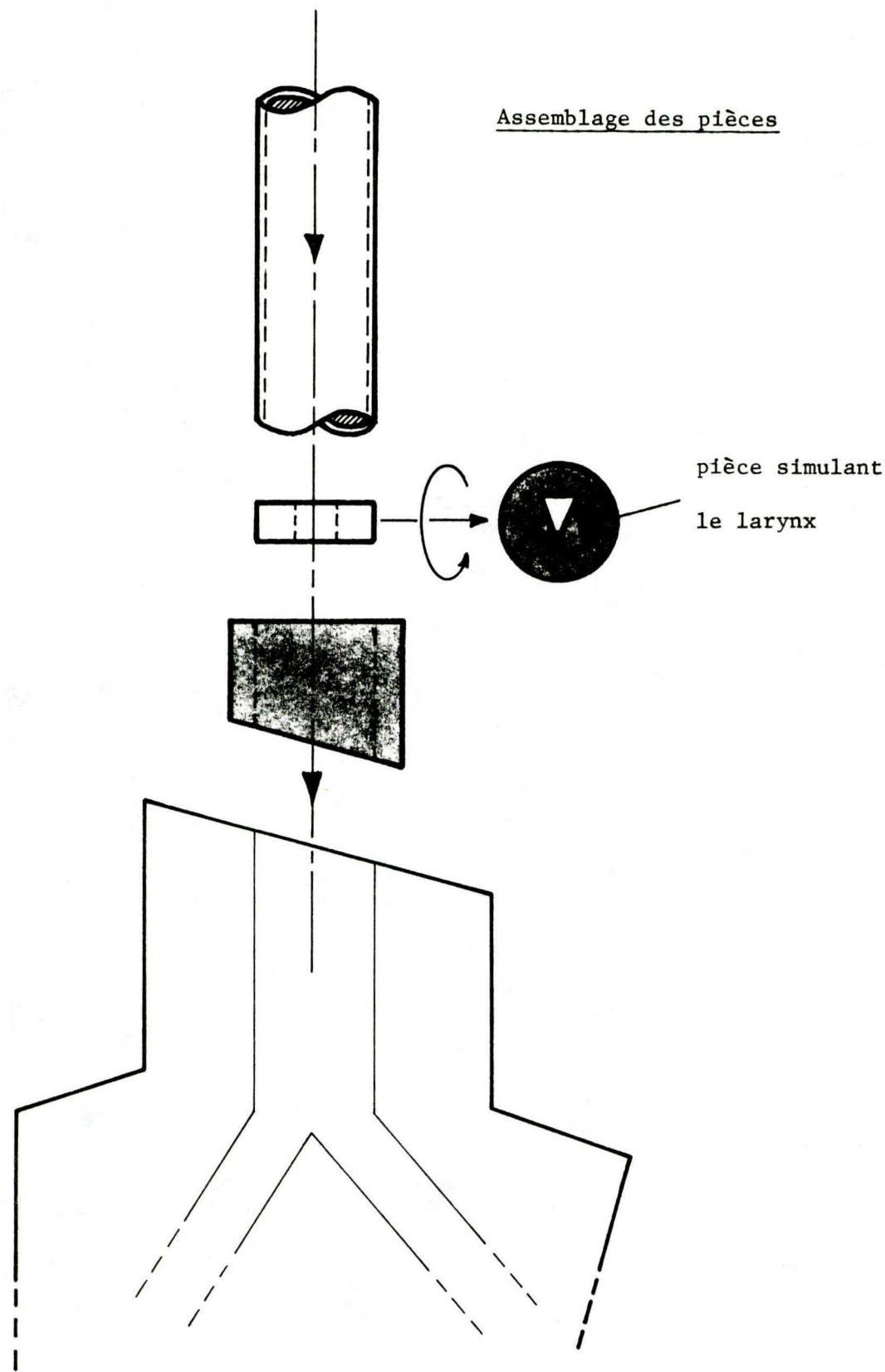
Schéma:

Fig. 3.1-1



tenter d'azote sous pression.

instrumentation

- BRUEL & KJAER

Precision Sound Level Meter

Type 2203

Serial #434817

- BRUEL & KJAER

Octave Filter Set

Type 1613

Serial #417297

- Bonbonne d'azote

- Tubes de raccordement

- Trépied pour le système respiratoire.

3.2 - Effet du débit de l'air sur l'intensité des bruits

BUT: vérifier que l'intensité des bruits respiratoires est proportionnelle au débit de la respiration.

THEORIE:

Tous les chercheurs s'entendent pour dire que l'intensité des bruits respiratoires est proportionnelle au débit de la respiration. Intuitivement, cela semble plausible. On peut toutefois s'appuyer sur les travaux de Lightill (19,20) pour tenter d'expliquer le phénomène.

Partant de là, on obtient la formule suivante qui donne l'intensité approximative d'un bruit d'origine aérodynamique en fonction de

divers paramètres.

$$I = \frac{K \rho_0 A_e \bar{v}_e^8}{x^2 c_0^5} \quad (3.1)$$

où K = constante

ρ_0 = densité du gaz

A_e = section du jet de gaz

\bar{v}_e = vitesse d'échappement du gaz

x = distance entre la source et l'observateur

c_0 = vitesse du son en espace libre

Le débit volumique du gaz (en litre par seconde) passant dans un conduit respiratoire est donné par

$$Q = A_e \bar{v}_e \quad (3.2)$$

On obtient donc

$$I = \left(\frac{K \rho_0}{x^2 c_0^5 A_e} \right) Q^8 \quad (3.3)$$

Le terme entre parenthèses ne contient que des grandeurs constantes. Ceci montre que l'intensité des bruits d'origine aérodynamique est proportionnelle à une puissance élevée du débit.

MONTAGE (fig. 3.2-1)

Le montage utilisé est le même que celui décrit précédemment auquel on a fait deux modifications. Premièrement, on a isolé la bonbonne d'azote de façon à ce que les bruits que produit le gaz à sa sortie n'interfèrent pas avec les bruits respiratoires. Deuxièmement, on a introduit

Vue d'ensemble du montage

(le tout repose dans une enceinte
anéchoïque)

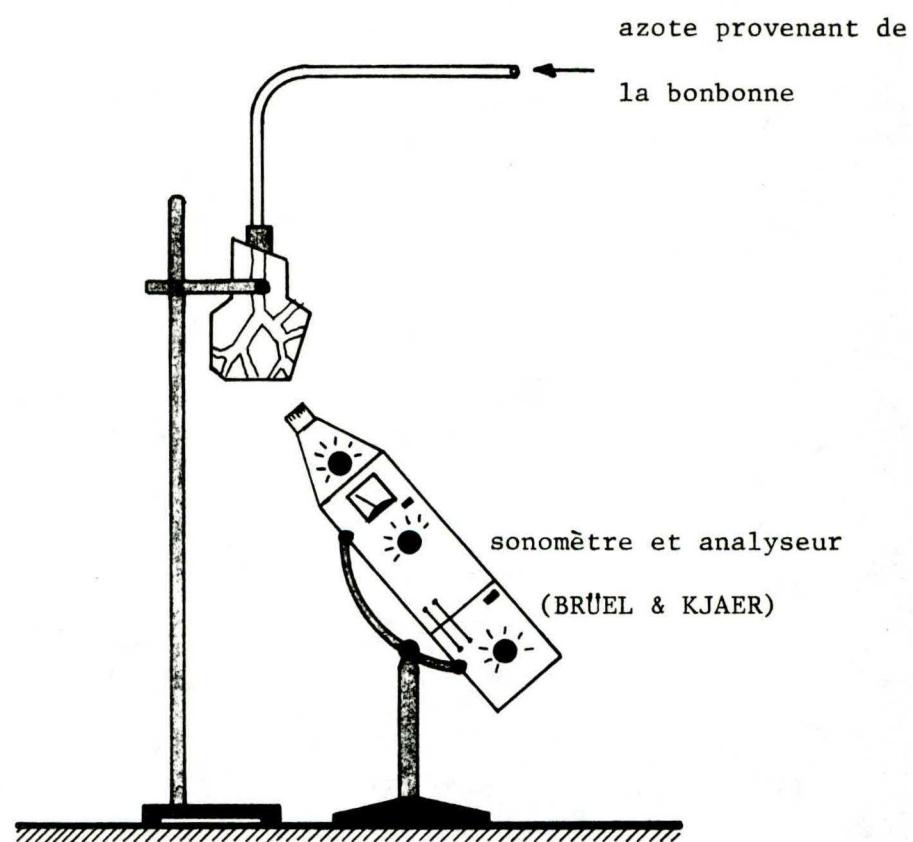


Fig. 3.2-1

entre la bonbonne et les voies respiratoires un dispositif permettant de mesurer le débit de l'azote.

METHODE

- 1° On fait une analyse à l'octave des bruits ambients ainsi qu'une mesure de leur intensité sur tout le spectre.
- 2° On fait de même pour les bruits pulmonaires à différents débits:
0.5 l/s, 1.0 l/s, 1.5 l/sec et 2.0 l/sec.

remarque: - D'après la littérature, il semble que les débits choisis restent dans les normes pour la respiration chez l'humain.

- L'analyse à l'octave permettra par le fait même de voir comment se déplacent les pics d'intensité.
- Pour se débarrasser des bruits de fond, toutes les intensités seront transformées en watts par mètre carré. Une simple soustraction permettra alors d'obtenir l'intensité réelle des bruits de fond en watt/m². Elle pourra être reconvertie en dB au besoin.

Le passage des décibels aux watts par mètre carré s'effectue à l'aide de la formule suivante:

$$\boxed{I = I_0 10^{N/10}}$$

où: I est l'intensité en watts/m²

N est l'intensité en décibels

I₀ est une intensité de référence égale

à 10⁻¹² watts/m²

RESULTATS

Tableau 1 : Analyse à l'octave des bruits de fond et des bruits respiratoires

fréquence (Hz)	bruits de fond (db)	bruits respiratoires + bruits de fonds			
		.5 l/s	1.0 l/s	1.5 l/s	2.0 l/s
31.5	54	55	58	59	60
63	57	58	60	62	59
125	44	45	54	60	57
250	38	39	50	60	56
500	30	39	53	60	57
1000	26	47	60.5	67.5	74
2000	21	45	63	68	75
4000	15	41	62	72	78
8000	12	32.5	54.5	66	76

Tableau 2 : Intensité des bruits sur tout le spectre

bruits de fond	55 db	3.16×10^{-7} watt/m ²
.5 l/sec	68 db	6.31×10^{-6} w/m ²
bruits pulmonaires	81 db	1.26×10^{-4} w/m ²
+ bruits de fond	90 db	1.00×10^{-3} w/m ²
	94 db	2.51×10^{-3} w/m ²

A l'avenir, pour simplifier l'écriture convenons d'utiliser les symboles suivants:

I_1 = intensité des bruits de fond en watts/m

I_2 = intensité des bruits respiratoires

+ bruits de fond en watts/m

$I_3 = I_2 - I_1$ = intensité des bruits respiratoires seuls

Q = débit du gaz

Le tableau suivant donne les valeurs de $\ln Q$, I_3 et $\ln I_3$ en fonction de Q :

Tableau 3:

Q (ℓ/sec)	$\ln Q$	I_3 (watts/ m^2)	$\ln I_3$
.5	- 0.69	5.99×10^{-6}	- 12.02
1.0	0.00	1.26×10^{-4}	- 8.98
1.5	0.41	1.00×10^{-3}	- 6.91
2.0	0.69	2.51×10^{-3}	- 5.99

Description du débitmètre (fig. 3.2-2)

Pour mesurer le débit, on utilise une tuyère et un manomètre.

La tuyère est calibrée de telle façon qu'on peut lire le débit sur le graphe de la page suivante dès qu'on connaît $(p_2 - p_1)$ en pouces d'eau.

Identification des appareils

- tuyère : MERIAM LAMINAR FLOW ELEMENT

MODEL 50 MH 10 - INT

SERIAL No M-5527-1

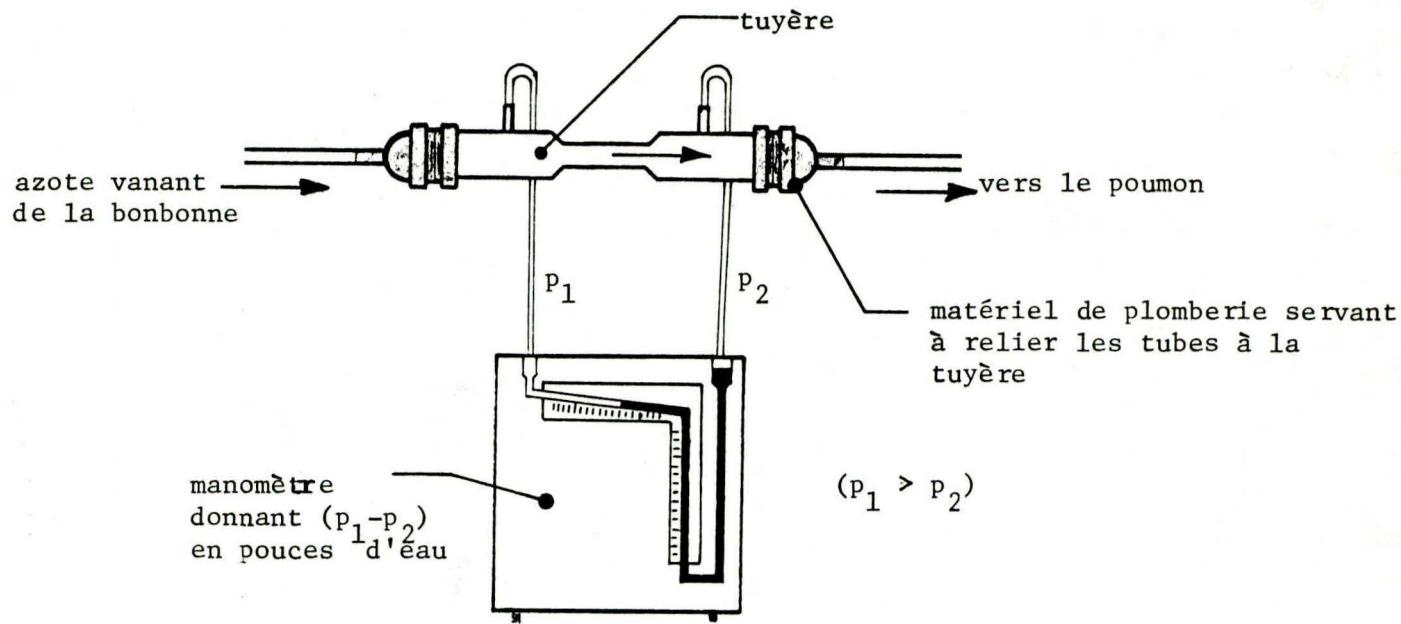


Fig. 3.2-2

Meriam instrument, div. the Scotland Fetzer Co.

Cleveland

- manomètre : DWYER No 400 AIR VELOCITY METER

Pat 1917637

DWYER INSTRUMENTS, INC. MICHIGAN, U.S.A.

Les tableaux (4a, 4b, 4c et 4d) reprennent le tableau 1 en y transformant les données en watts/m². Pour chaque débit et chaque octave, on obtient l'intensité I₃ en watts/m² par différence (I₃ = I₂ - I₁). On transforme ensuite I₃ en db, ce qu'on dénote par N₃.

Par la suite on retrouve le graphe de N₉ en fonction de Q (fig. 3.2-3, 3.2-4) ainsi que les diverses analyses à l'octave (fig. 3.2-5 à 3.2-8).

Tableau 4a :

DEBIT = .5 l/s				
fréquence (Hz)	I ₁ (w/m ²)	I ₂ (w/m ²)	I ₃ (w/m ²)	N ₃ (dB)
31.5	2.51 x 10 ⁻⁷	3.16 x 10 ⁻⁷	6.50 x 10 ⁻⁸	48.1
63	5.01 x 10 ⁻⁷	6.31 x 10 ⁻⁷	1.30 x 10 ⁻⁷	51.1
125	2.51 x 10 ⁻⁸	3.16 x 10 ⁻⁸	6.52 x 10 ⁻⁹	38.4
250	6.31 x 10 ⁻⁹	7.94 x 10 ⁻⁹	1.63 x 10 ⁻⁹	32.2
500	1.00 x 10 ⁻⁹	7.94 x 10 ⁻⁹	6.94 x 10 ⁻⁹	38.4
1000	3.98 x 10 ⁻¹⁰	5.01 x 10 ⁻⁸	4.97 x 10 ⁻⁸	47.0
2000	1.26 x 10 ⁻¹⁰	3.16 x 10 ⁻⁸	3.15 x 10 ⁻⁸	45.0
4000	3.16 x 10 ⁻¹¹	1.26 x 10 ⁻⁸	1.26 x 10 ⁻⁸	41.0
8000	1.58 x 10 ⁻¹¹	1.78 x 10 ⁻⁹	1.76 x 10 ⁻⁹	32.5

Tableau 4b :

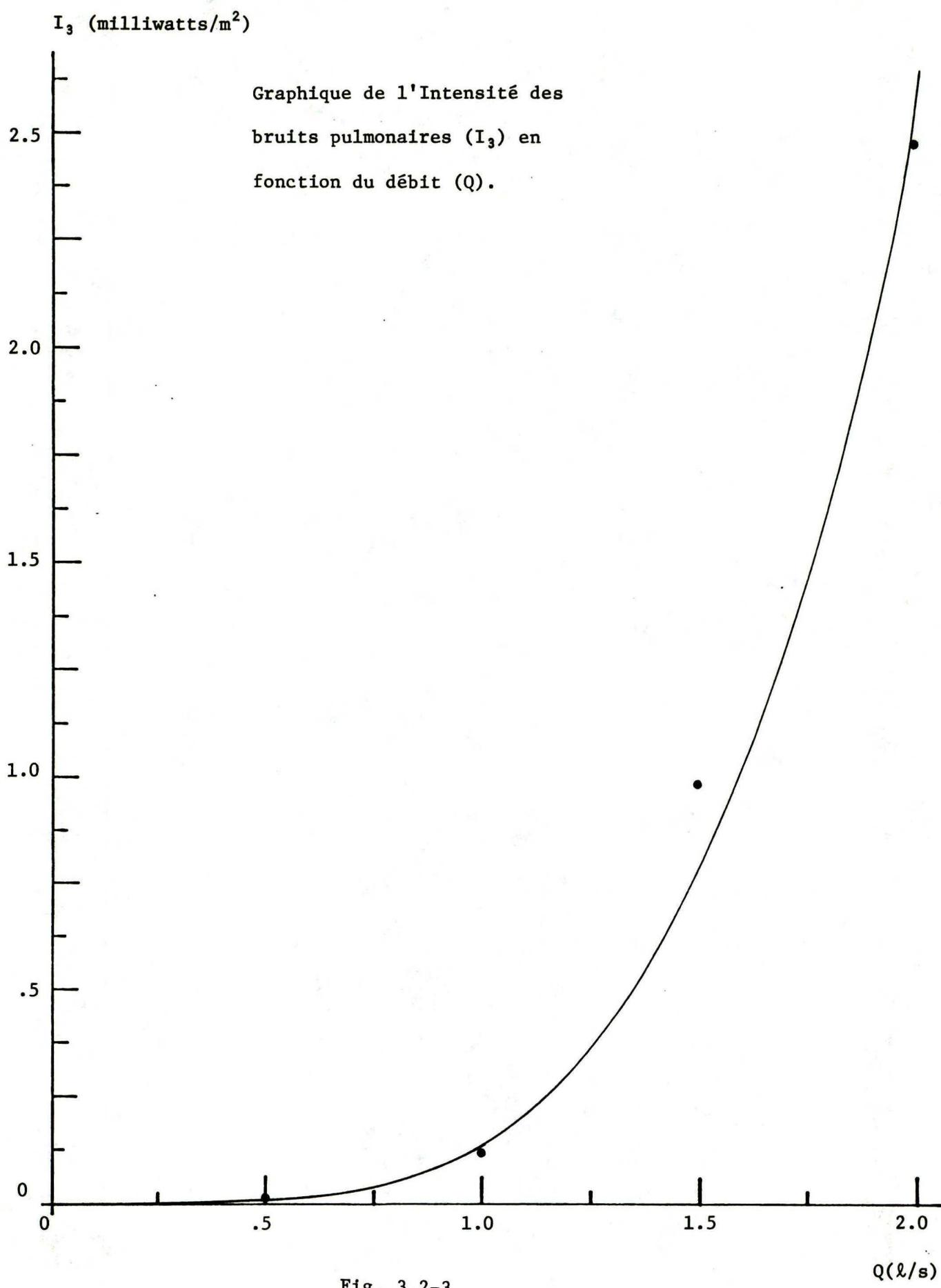
DEBIT = 1.0 l/s				
fréquence (Hz)	I ₁ (w/m ²)	I ₂ (w/m ²)	I ₃ (w/m ²)	N ₃ (dB)
31.5	2.51 x 10 ⁻⁷	6.31 x 10 ⁻⁷	3.80 x 10 ⁻⁷	55.8
63	5.01 x 10 ⁻⁷	1.00 x 10 ⁻⁶	4.99 x 10 ⁻⁷	57.0
125	2.51 x 10 ⁻⁸	2.51 x 10 ⁻⁷	2.26 x 10 ⁻⁷	53.5
250	6.31 x 10 ⁻⁹	1.00 x 10 ⁻⁷	9.37 x 10 ⁻⁸	49.7
500	1.00 x 10 ⁻⁹	2.00 x 10 ⁻⁷	1.99 x 10 ⁻⁷	53.0
1000	3.98 x 10 ⁻¹⁰	1.12 x 10 ⁻⁶	1.12 x 10 ⁻⁶	60.5
2000	1.26 x 10 ⁻¹⁰	2.00 x 10 ⁻⁶	2.00 x 10 ⁻⁶	63.0
4000	3.16 x 10 ⁻¹¹	1.58 x 10 ⁻⁶	1.58 x 10 ⁻⁶	62.0
8000	1.58 x 10 ⁻¹¹	2.82 x 10 ⁻⁷	2.82 x 10 ⁻⁷	54.5

Tableau 4c :

DEBIT = 1.5 l/s				
fréquence (Hz)	I ₁ (w/m ²)	I ₂ (w/m ²)	I ₃ (w/m ²)	N ₃ (dB)
31.5	2.51 x 10 ⁻⁷	7.94 x 10 ⁻⁷	5.43 x 10 ⁻⁷	57.3
63	5.01 x 10 ⁻⁷	1.58 x 10 ⁻⁶	1.08 x 10 ⁻⁷	60.3
125	2.51 x 10 ⁻⁸	1.00 x 10 ⁻⁶	9.75 x 10 ⁻⁷	59.9
250	6.31 x 10 ⁻⁹	1.00 x 10 ⁻⁶	9.94 x 10 ⁻⁷	60.0
500	1.00 x 10 ⁻⁹	1.00 x 10 ⁻⁶	9.99 x 10 ⁻⁶	60.0
1000	3.98 x 10 ⁻¹⁰	5.62 x 10 ⁻⁶	5.62 x 10 ⁻⁶	67.5
2000	1.26 x 10 ⁻¹⁰	6.31 x 10 ⁻⁶	6.31 x 10 ⁻⁶	68.0
4000	3.16 x 10 ⁻¹¹	1.58 x 10 ⁻⁵	1.58 x 10 ⁻⁵	72.0
8000	1.58 x 10 ⁻¹¹	3.98 x 10 ⁻⁶	3.98 x 10 ⁻⁶	66.0

Tableau 4d :

DEBIT = 2.0 l/s				
fréquence (Hz)	I ₁ (w/m ²)	I ₂ (w/m ²)	I ₃ (w/m ²)	N ₃ (dB)
31.5	2.51 x 10 ⁻⁷	1 x 10 ⁻⁶	7.49 x 10 ⁻⁷	58.7
63	5.01 x 10 ⁻⁷	7.94 x 10 ⁻⁷	2.93 x 10 ⁻⁷	54.7
125	2.51 x 10 ⁻⁸	5.01 x 10 ⁻⁷	4.76 x 10 ⁻⁷	56.8
250	6.31 x 10 ⁻⁹	3.98 x 10 ⁻⁷	3.92 x 10 ⁻⁷	55.9
500	1.00 x 10 ⁻⁹	5.01 x 10 ⁻⁷	5.00 x 10 ⁻⁷	57.0
1000	3.98 x 10 ⁻⁹	2.51 x 10 ⁻⁵	2.51 x 10 ⁻⁷	74.0
2000	1.26 x 10 ⁻¹⁰	----	----	75.0
4000	3.16 x 10 ⁻¹¹	----	----	78.0
8000	1.58 x 10 ⁻¹¹	----	----	76.0



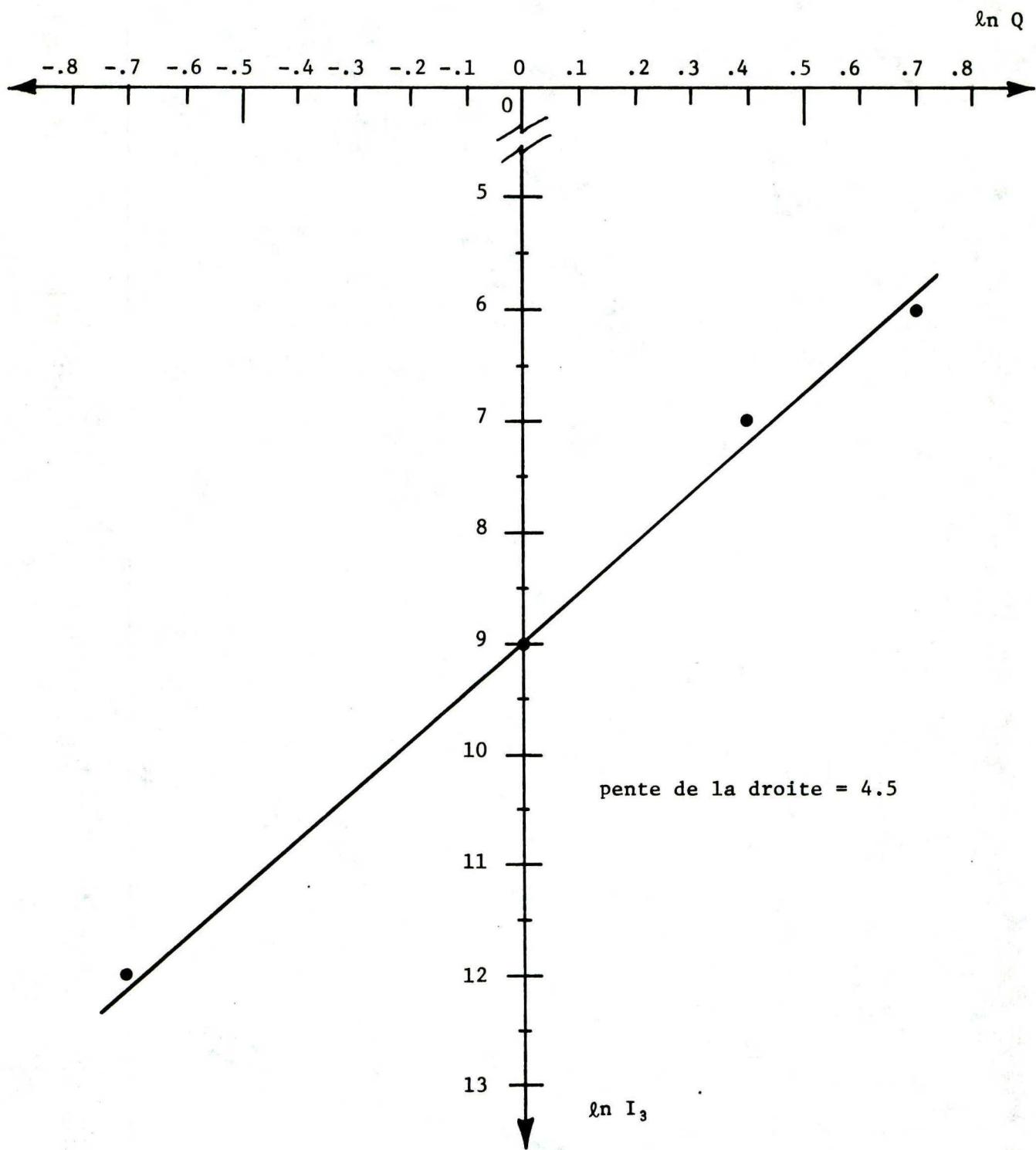
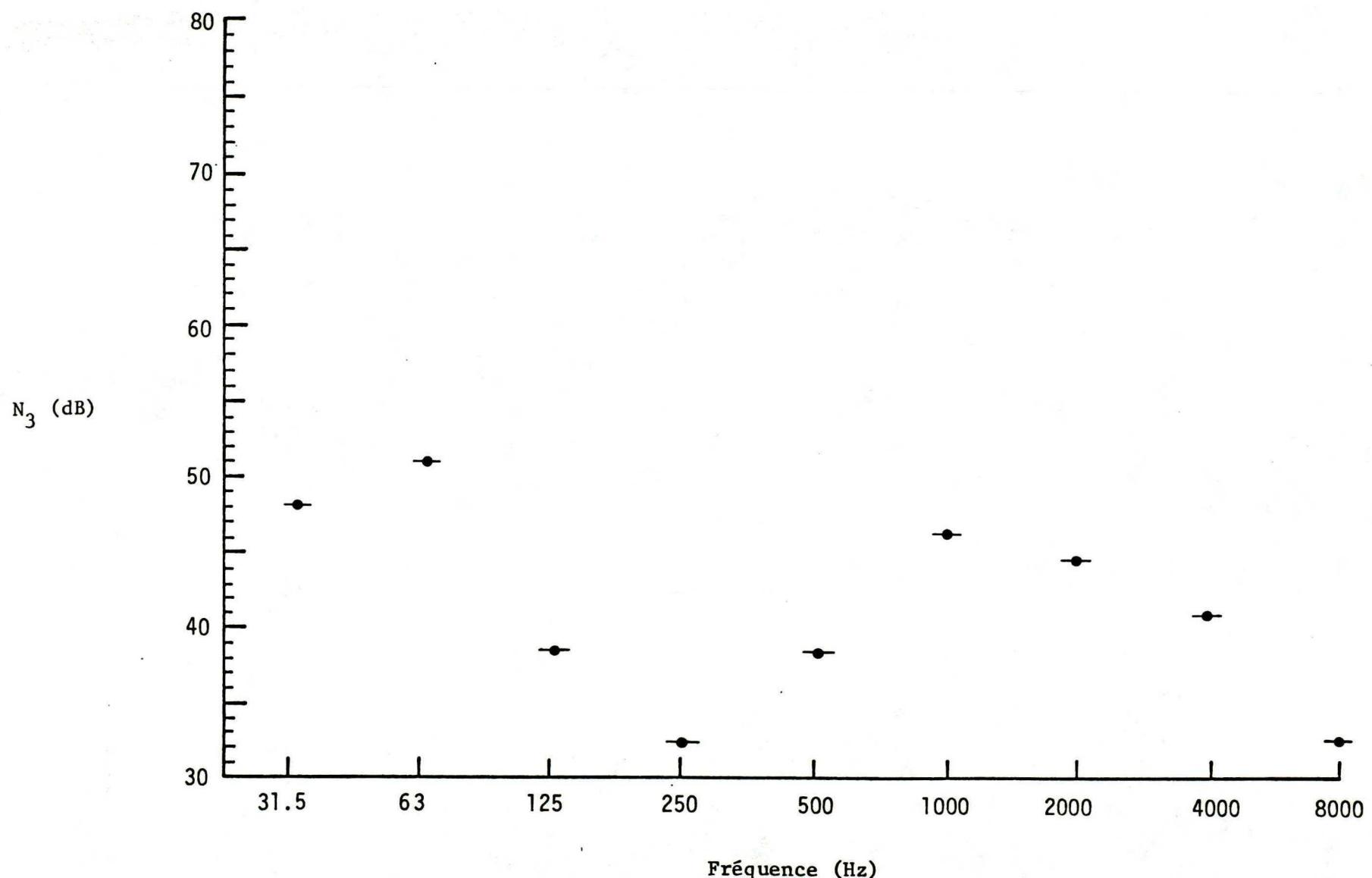
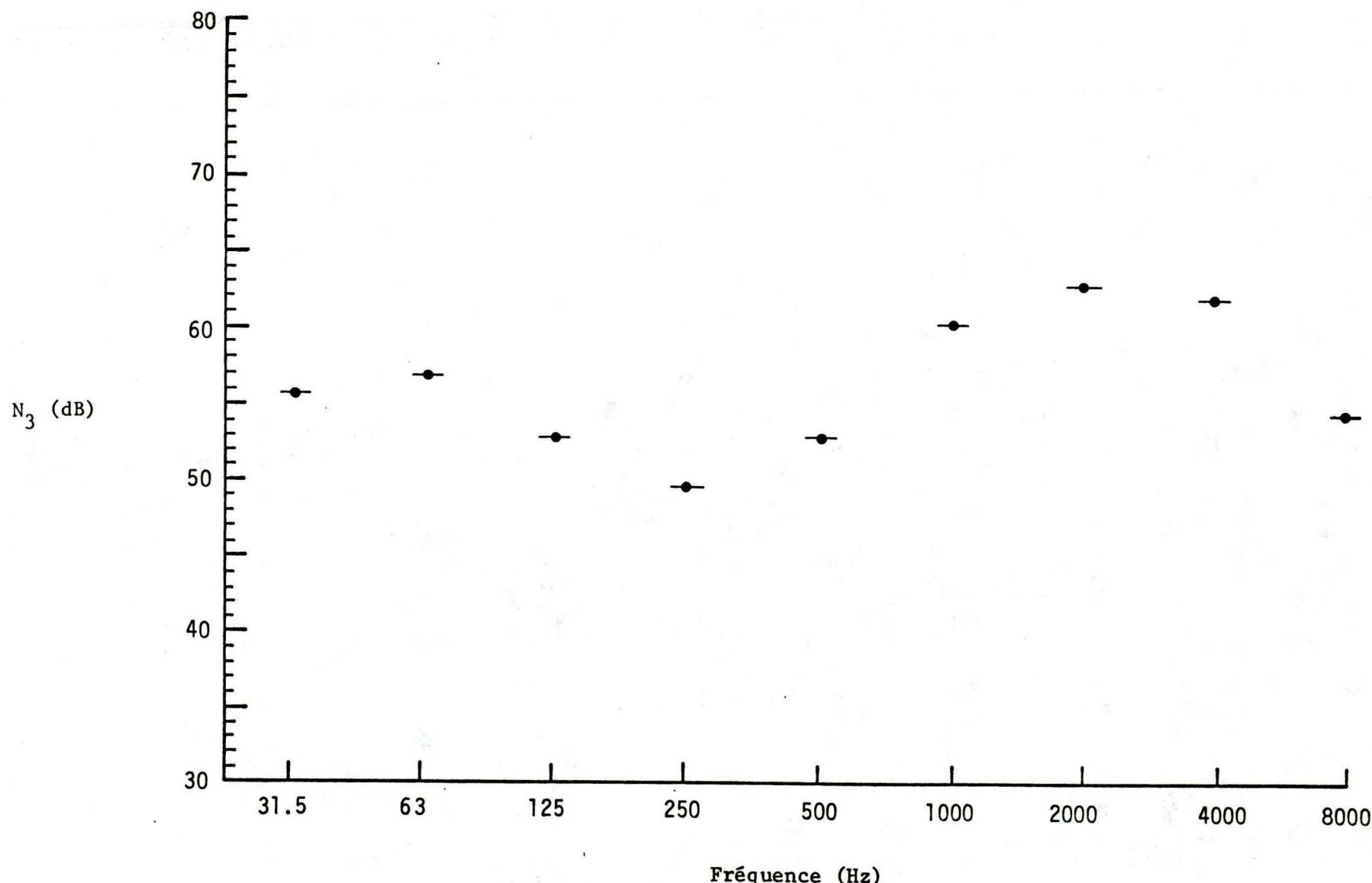
Graphique de $\ln I_3$ en fonction de $\ln Q$.

Fig. 3.2-4



ANALYSE A L'OCTAVE DES BRUITS RESPIRATOIRES
POUR UN DEBIT DE .5 l/s

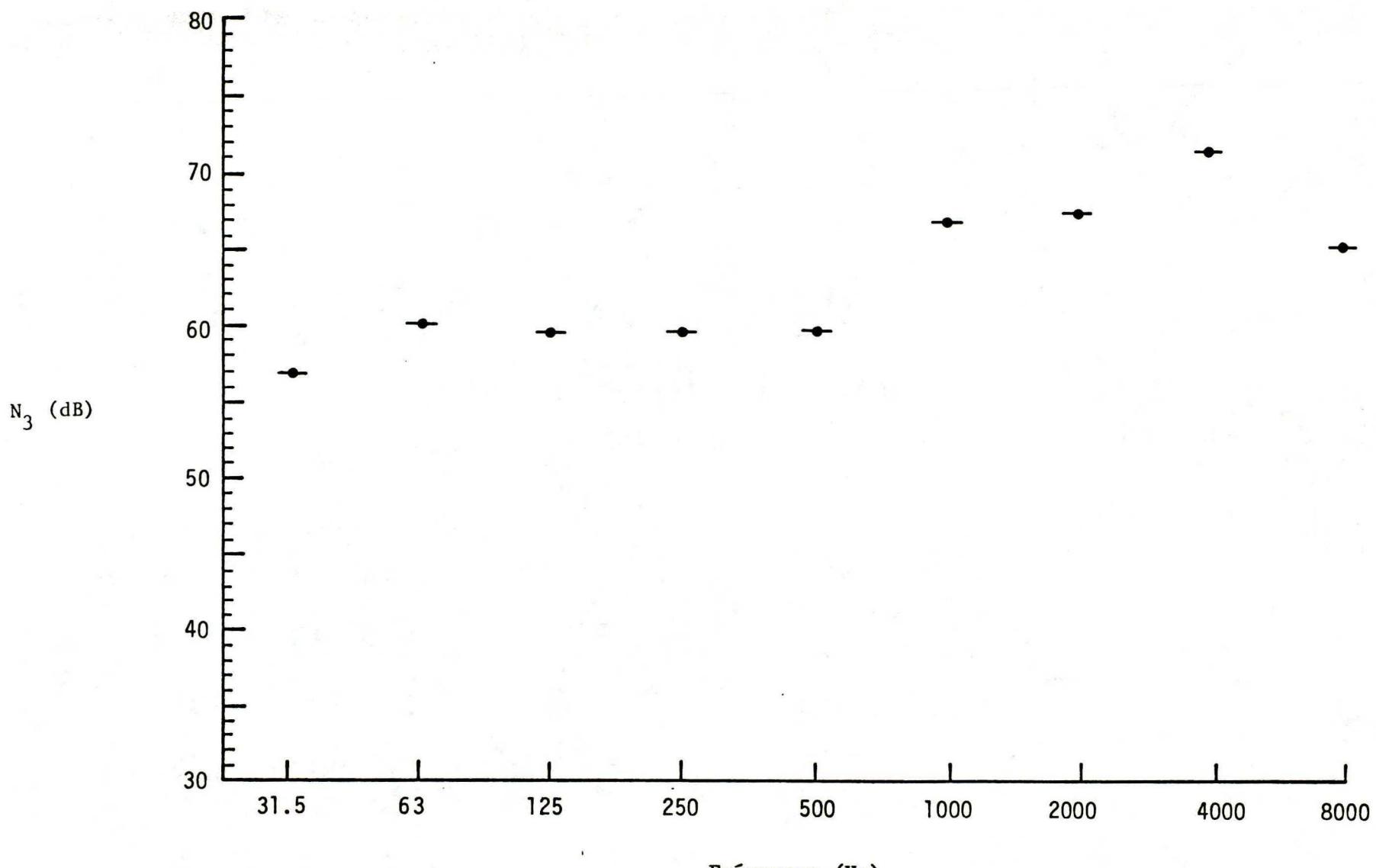
Fig. 3.2-5



ANALYSE A L'OCTAVE DES BRUITS RESPIRATOIRES

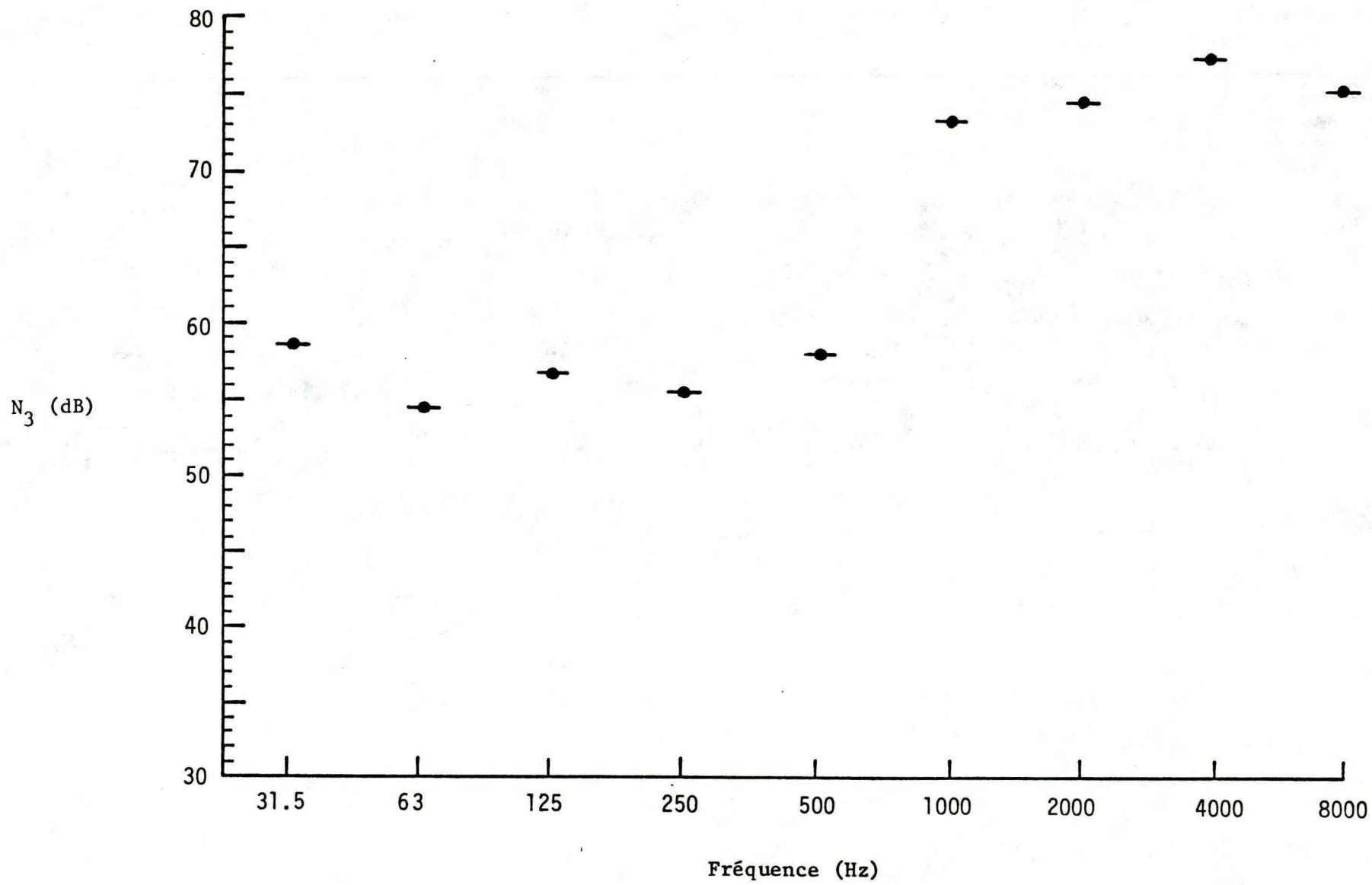
POUR UN DEBIT DE 1.0 l/s

Fig. 3.2-6



ANALYSE A L'OCTAVE DES BRUITS RESPIRATOIRES
POUR UN DEBIT DE 1.5 l/s

Fig. 3.2-7



ANALYSE A L'OCTAVE DES BRUITS RESPIRATOIRES

POUR UN DEBIT DE 2.0 l/s

Fig. 3.2-8

ANALYSE DES RESULTATS

Le graphique de I_3 en fonction de Q (fig. 3.2-3) confirme le fait que I_3 est proportionnel à une puissance élevée de Q ce qu'on écrit

$$I = k Q^m$$

Afin d'obtenir la valeur de m , on a tracé le graphe de $\ln I$ en fonction de $\ln Q$ (fig. 3.2-4). On a obtenu une droite de pente $m = 4.5$:

$$\ln I = 4.5 \ln Q + k \quad (k \text{ est l'ordonnée à l'origine})$$

Par conséquent

$I = K Q^{4.5}$

L'intensité des bruits respiratoires est donc proportionnelle à $Q^{4.5}$.
(Q étant le débit).

L'analyse à l'octave permet elle aussi de constater que I est proportionnelle à une puissance de Q . En effet, l'aire entre les points d'un graphe et son abscisse augmente avec le débit. D'autre part l'analyse à l'octave nous laisse voir qu'une augmentation de débit favorise

* A toute fin pratique $I_3 = I_2$ car $I_2 \gg I_1$

le déplacement des spectres vers les hautes fréquences. Cela s'explique assez facilement. L'analyse dimensionnelle montre que la fréquence prédominante des bruits d'origine aérodynamique est donnée par $\nu = k \bar{v}/d$

ν est la fréquence

où k est une constante

\bar{v} est la vitesse du jet

d est le diamètre

D'autre part le débit est donné par

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \bar{v}$$

On obtient donc

$$\nu = \frac{4k}{\pi d^3} Q .$$

La fréquence prédominante doit être proportionnelle au débit.

Les résultats expérimentaux font bien ressortir cet état de chose. Pour un débit de 0.5 l/s, l'analyse à l'octave révèle la présence d'un pic d'intensité à 1000 Hz. Le tableau suivant donne la position de ce pic en fonction du débit.

Tableau 5:

débit	position du pic
0.5 l/s	1000 Hz
1.0 l/s	2000 Hz
2.0 l/s	4000 Hz

La fréquence prédominante est bel et bien proportionnelle au débit.

Finalement, remarquons sur les spectres la présence d'au moins deux pics d'intensité, l'un en basse fréquence et l'autre en haute fréquence. Cela est sans doute dû au fait que le bruit est produit par plusieurs sources. Dans la formule

$$\nu = \frac{4 k}{\pi} \cdot \frac{Q}{d^3} ,$$

une variation de débit ou de diamètre produit une variation de fréquence. Or, dans le système respiratoire, les diamètres des tubes et les débits sont variables.

SOURCES D'ERREURS

- Principalement les mêmes que pour l'expérience précédente sauf que la bonbonne d'azote était isolée du montage avec de la laine minérale pour minimiser les bruits de fond.
- Les débits sont erronés. La tuyère était calibrée pour l'air et non pas pour l'azote.

CONCLUSION

L'expérience a permis de vérifier que l'intensité des bruits inspiratoires est proportionnelle à une puissance élevée du débit. L'analyse à l'octave a permis de déceler différents pics d'intensité dû possiblement à la présence de différentes sources de bruits. Finalement l'expérience a montré que la fréquence des pics est proportionnelle au débit de l'inspiration.

Les résultats de cette expérience ne sont valables que pour l'inspiration. Il serait donc souhaitable de refaire la même expérience mais

cette fois en simulant l'expiration.

3.3 - Etude des bruits pulmonaires ayant lieu lors de l'expiration

BUT: - concevoir un montage qui permet de simuler l'expiration
- vérifier la validité des conclusions de l'expérience 3.2 dans le cas de l'expiration.

MONTAGE: (fig. 3.3-1)

On utilise le même montage que pour l'expérience 3.2. On doit toutefois faire quelques modifications:

- remplacer la bonbonne d'azote par une pompe à vide
- renverser la tuyère de façon à ce que l'air y passe dans le bon sens (voir figure page suivante).

METHODE:

Même chose que pour l'expérience 3.2. Seuls les débits sont changés. On utilisera des débits de 0.5 l/s, 0.75 l/s et 1.0 l/s. (Ceci est dû à la puissance limitée de la pompe à vide).

RESULTATS

Montage de l'expérience 3.3

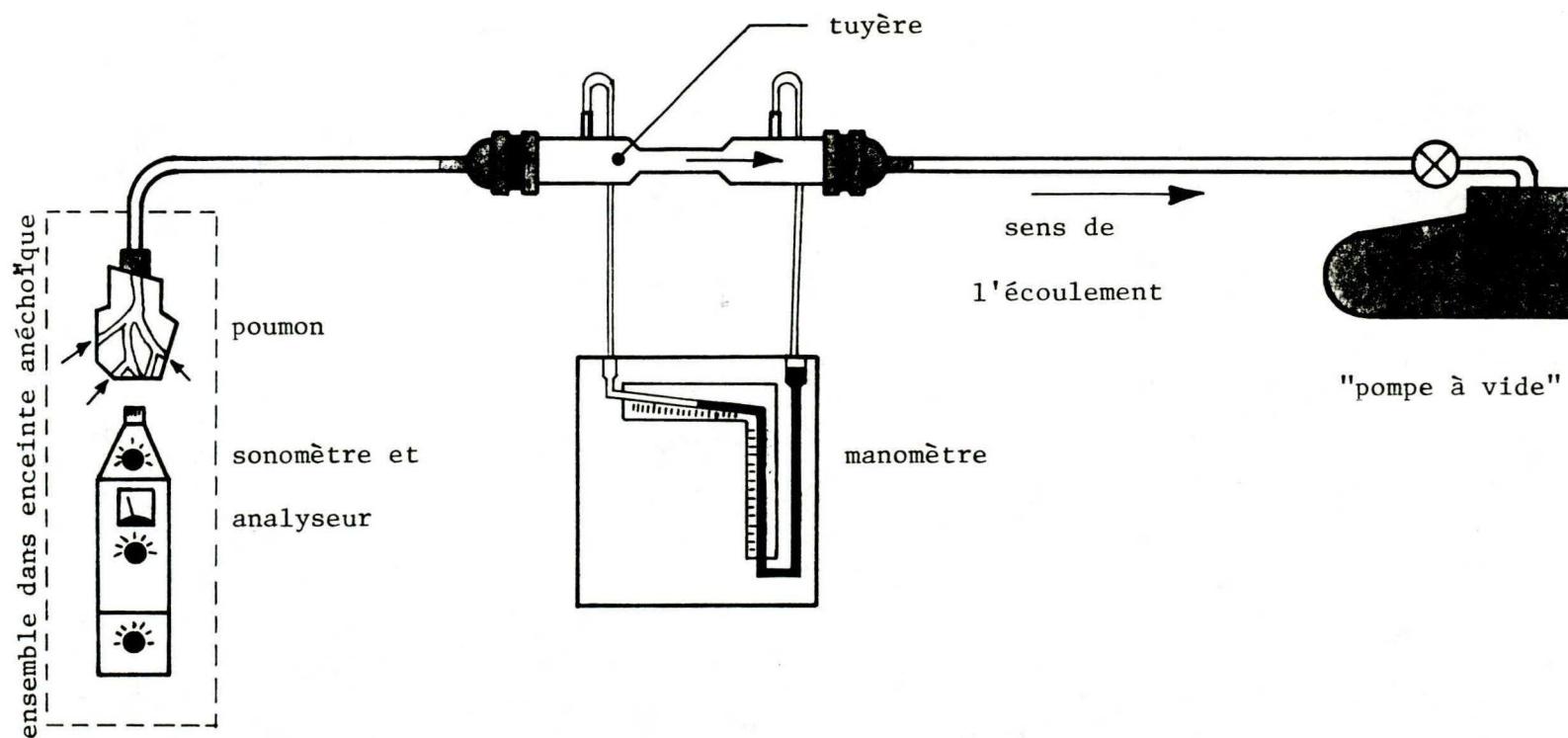


Fig. 3.3-1

Tableau 1 : analyse à l'octave

fréquence (Hz)	bruits de fond (db)	bruits expiratoires + bruits de fond		
		.50 l/s	.75 l/s	1.0 l/s
31.5	39	40	41	41
63	46	47	48	48
125	38	38.5	39	41
250	32	39	41	42
500	25	41	46	49
1000	20	41.5	40.5	53.5
2000	19	35.5	46	53
4000	14	27.5	40	48.5
8000	10	24	36	46.5

Tableau 2 : intensité des bruits sur tout le spectre

	intensité (db)	*intensité w/m ²
<u>bruits de fond</u>	52	1.58×10^{-7}
bruits de fond .5 l/s	55	3.16×10^{-7}
+ bruits ex- .75 l/s	56.5	4.47×10^{-7}
piratoires 1.0 l/s	60	1.00×10^{-6}

* obtenues par conversion

Pour simplifier l'écriture, on utilise les symboles suivants:

I_1 = intensité des bruits de fond en w/m²

I_2 = intensité des bruits expiratoires

+ bruits de fond en w/m²

$I_3 = I_2 - I_1$ = intensité des bruits expiratoires seules
en w/m^2

N_3 est obtenu par la conversion de I_3 en décibel

Q = débit de l'air

Le tableau suivant est obtenu à l'aide du tableau 2

Tableau 3:

$Q(\ell/\text{s})$	$\ln Q$	$I_3 \text{ w/m}^2$	$\ln I_3$
.5	- .69	1.58×10^{-7}	- 15.66
.75	- .29	2.89×10^{-7}	- 15.06
1.0	0	8.42×10^{-7}	- 13.99

Les tableaux qui suivent reprennent le tableau 1 en y transformant en w/m^2 . Pour chaque débit et chaque octave, on a calculé l'intensité I_3 ($I_3 = I_2 - I_1$). Par la suite on convertit I_3 en dB pour obtenir N_3 .

Tableau 4a :

DEBIT = .5 l/s				
fréquence (Hz)	I ₁ (w/m ²)	I ₂ (w/m ²)	I ₃ (w/m ²)	N ₃ (dB)
31.5	7.94 x 10 ⁻⁹	1.00 x 10 ⁻⁸	2.06 x 10 ⁻⁹	33.1
63	3.98 x 10 ⁻⁸	5.01 x 10 ⁻⁸	1.03 x 10 ⁻⁸	40.1
125	6.31 x 10 ⁻⁹	7.08 x 10 ⁻⁹	7.70 x 10 ⁻¹⁰	28.9
250	1.58 x 10 ⁻⁹	7.94 x 10 ⁻⁹	6.36 x 10 ⁻⁹	38.0
500	3.16 x 10 ⁻¹⁰	1.26 x 10 ⁻⁸	1.23 x 10 ⁻⁸	40.9
1000	1 x 10 ⁻¹⁰	1.41 x 10 ⁻⁸	1.40 x 10 ⁻¹⁰	41.5
2000	7.94 x 10 ⁻¹¹	3.55 x 10 ⁻⁹	3.47 x 10 ⁻⁹	35.4
4000	2.51 x 10 ⁻¹¹	5.62 x 10 ⁻¹⁰	5.37 x 10 ⁻¹⁰	27.3
8000	1 x 10 ⁻¹¹	2.51 x 10 ⁻¹⁰	2.41 x 10 ⁻¹⁰	23.8

Tableau 4b :

DEBIT = .75 l/s				
fréquence (Hz)	I ₁ (w/m ²)	I ₂ (w/m ²)	I ₃ (w/m ²)	N ₃ (w/m ²)
31.5	7.94 x 10 ⁻⁹	1.26 x 10 ⁻⁸	4.65 x 10 ⁻⁹	36.7
63	3.98 x 10 ⁻⁸	6.31 x 10 ⁻⁸	2.33 x 10 ⁻⁸	43.7
125	6.31 x 10 ⁻⁹	7.94 x 10 ⁻⁹	1.63 x 10 ⁻⁹	32.13
250	1.58 x 10 ⁻⁹	1.26 x 10 ⁻⁸	1.10 x 10 ⁻⁸	40.4
500	3.16 x 10 ⁻¹⁰	3.98 x 10 ⁻⁸	3.95 x 10 ⁻⁸	46.0
1000	1 x 10 ⁻¹²	1.12 x 10 ⁻⁸	1.11 x 10 ⁻⁸	40.5
2000	----	----	----	46
4000	----	----	----	40
8000	----	----	----	36

Tableau 4c :

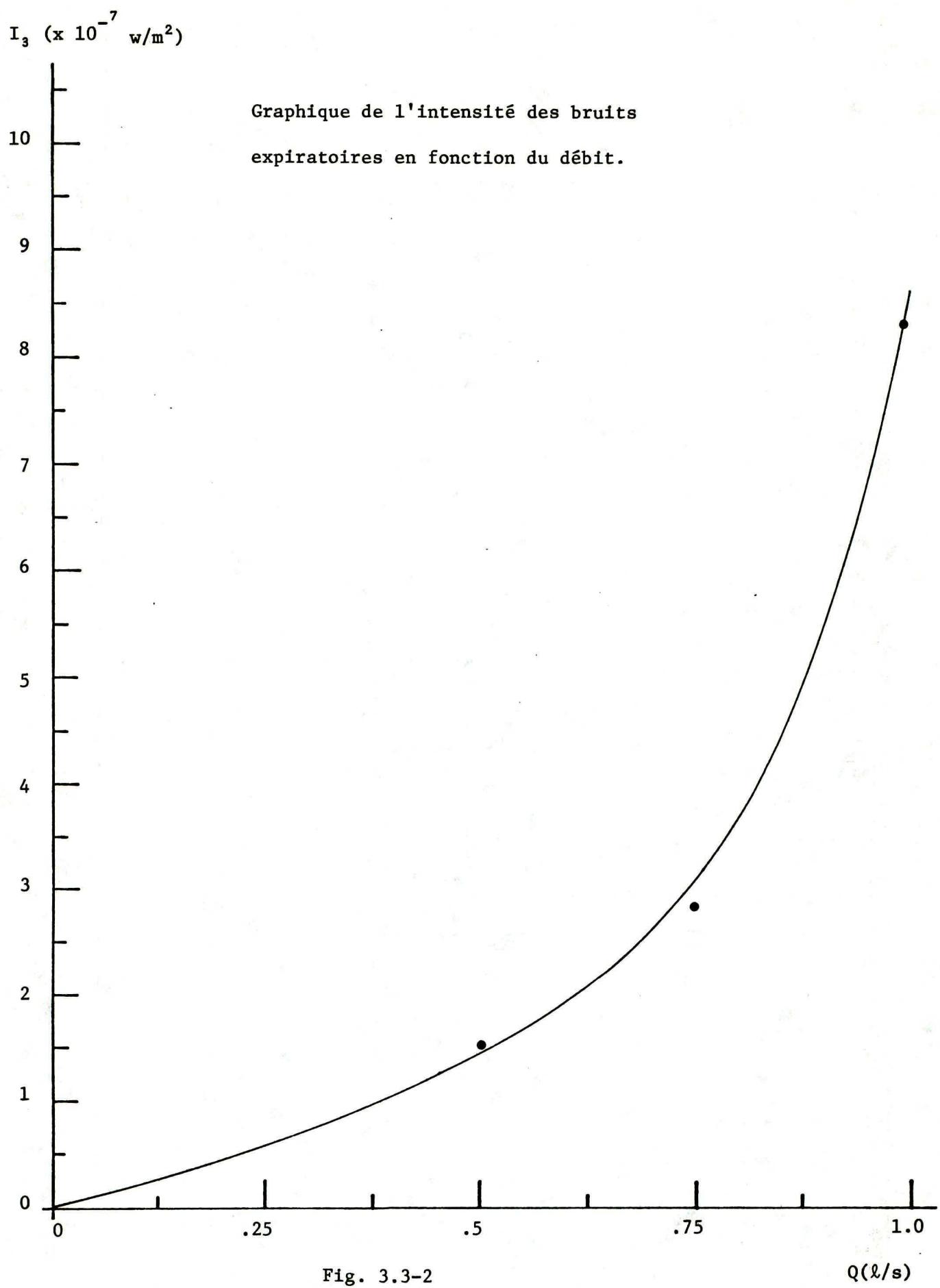
DEBIT = 1.0 l/s				
fréquence (Hz)	I_1 (w/m^2)	I_2 (w/m^2)	I_3 (w/m^2)	N_3 (w/m^2)
31.5	7.94×10^{-9}	1.26×10^{-8}	4.65×10^{-9}	36.7
63	3.98×10^{-8}	6.31×10^{-8}	2.33×10^{-8}	43.7
125	6.31×10^{-9}	1.26×10^{-8}	6.28×10^{-9}	38.0
250	1.58×10^{-9}	1.58×10^{-8}	1.43×10^{-8}	41.5
500	----(*)	----	----	49
1000	----	----	----	53.5
2000	----	----	----	53
4000	----	----	----	48.5
8000	----	----	----	46.5

ANALYSE DES RESULTATS

Le graphique de I_3 en fonction de Q (fig. 3.3-2) confirme le fait que I_3 est proportionnelle à une puissance plus ou moins élevée de Q .
 Le graphique de $\ln I_3$ en fonction de $\ln Q$ (fig. 3.3-3) donne une droite de pente 2.5. Par conséquent

$$\ln I_3 = 2.5 \ln Q + b$$

* A toute fin pratique, la valeur de N_3 est égale à celle des "bruits expiratoires + bruits de fond" donnée dans le tableau 1.



Graphique de $\ln I_3$ en fonction de $\ln Q$.

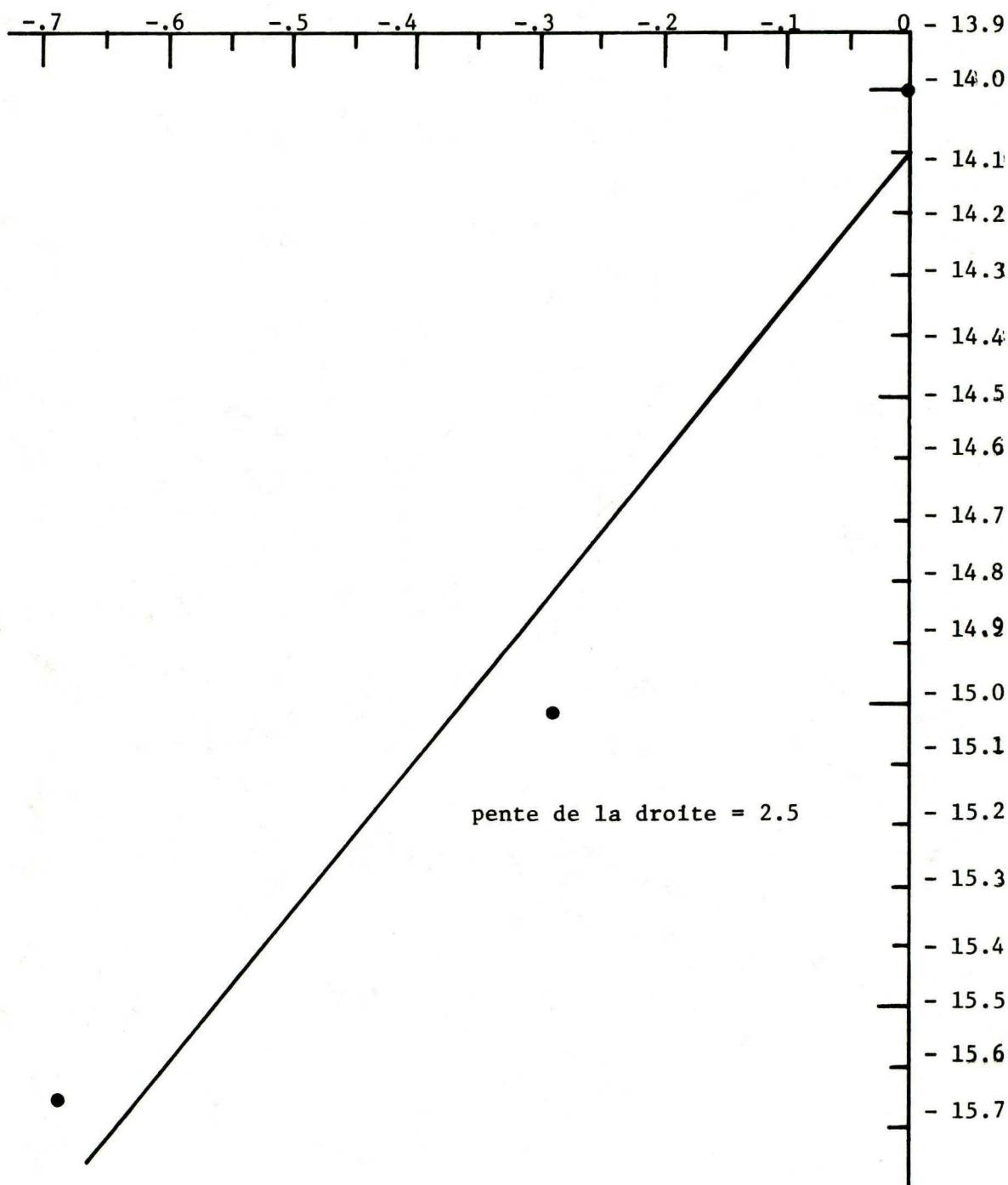
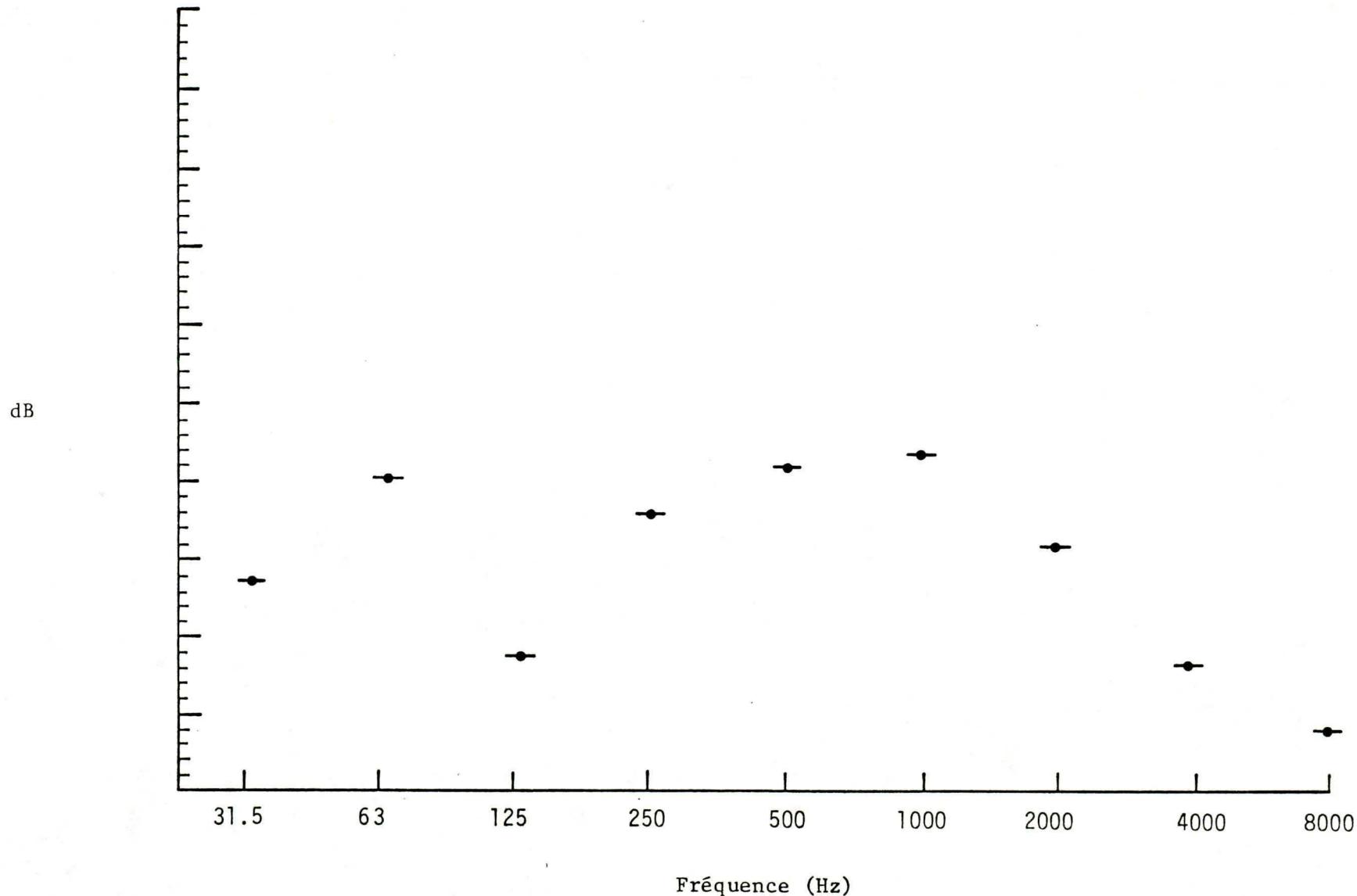
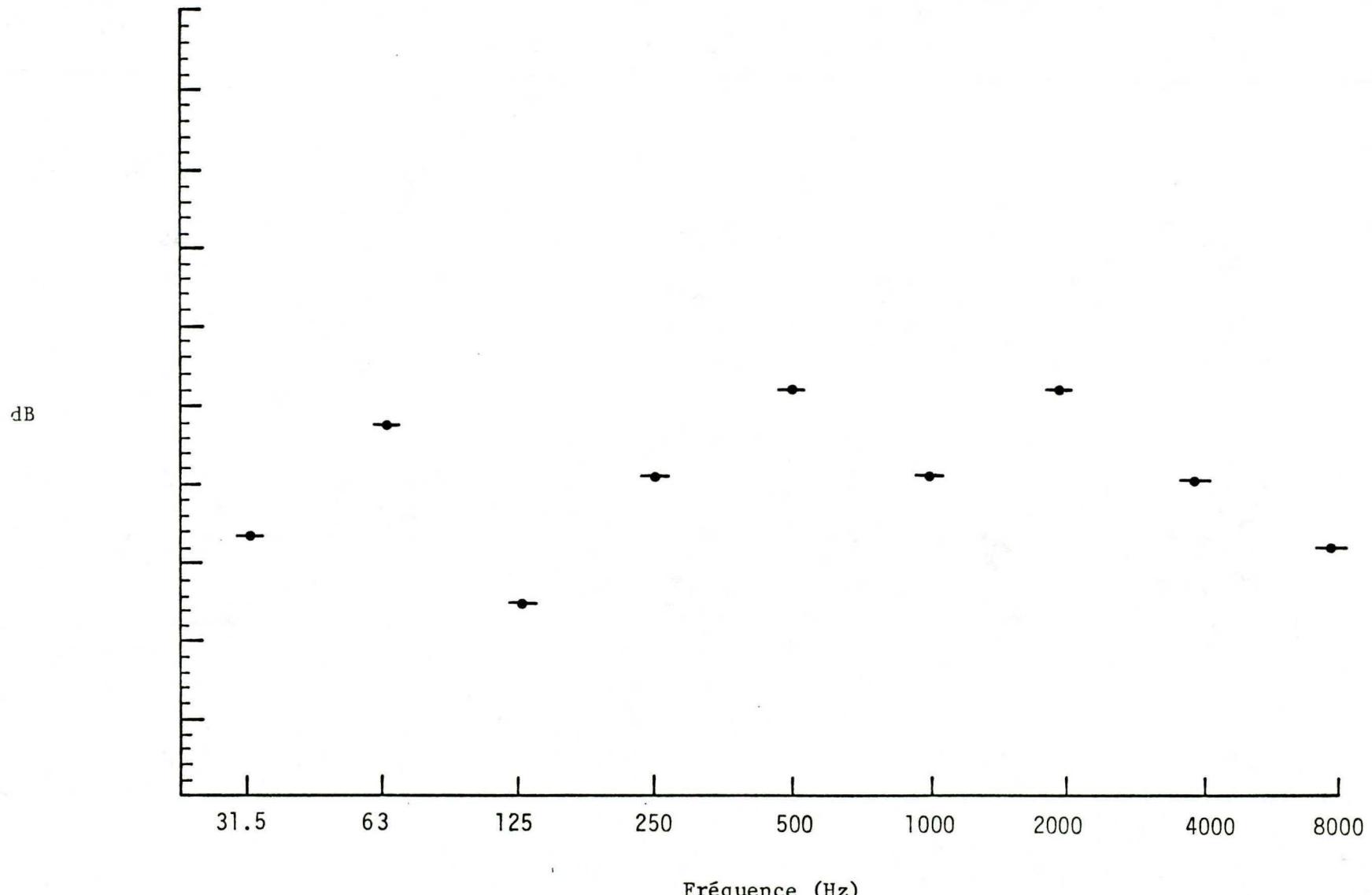


Fig. 3.3-3



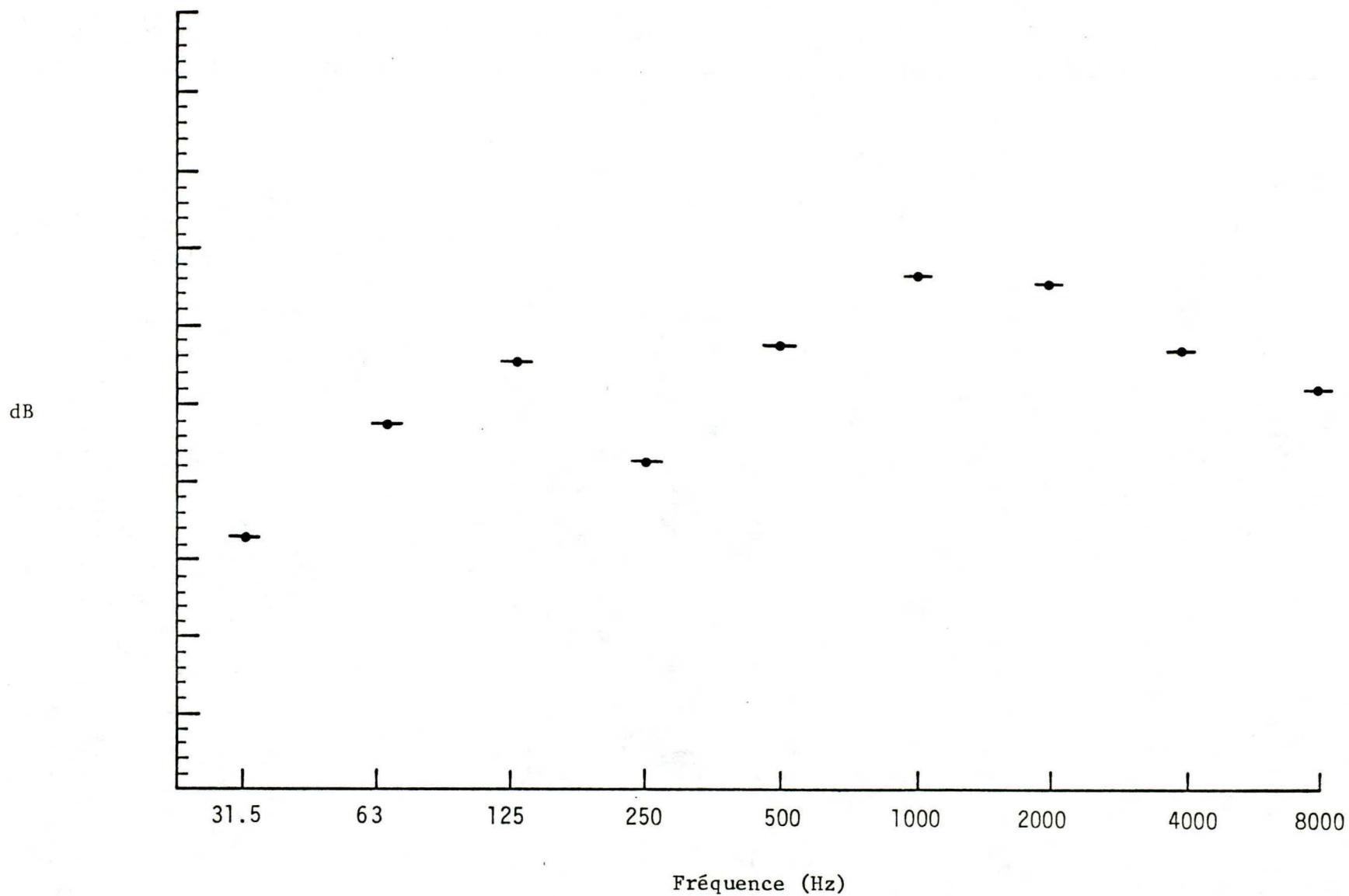
ANALYSE A L'OCTAVE DES BRUITS EXPIRATOIRES
POUR UN DEBIT DE .5 l/s

Fig. 3.3-4



ANALYSE A L'OCTAVE DES BRUITS EXPIRATOIRES
POUR UN DEBIT DE .75 l/s

Fig. 3.3-5



ANALYSE A L'OCTAVE DES BRUITS EXPIRATOIRES
POUR UN DEBIT DE 1 l/s

Fig. 3.3-6

$$I_3 = k Q^{2.5}$$

L'analyse à l'octave nous laisse voir qu'une augmentation de débit favorise le déplacement des spectres vers les hautes fréquences.

Signalons enfin la présence de nombreux pics d'intensité dans les spectres. On peut expliquer le phénomène de deux façons:

- 1^o) Cela est dû soit aux propriétés de filtration du montage en plastique,
- 2^o) Soit au fait qu'il existe plusieurs sources de bruits de caractéristiques différentes (sections différentes, vitesse différente) émettant des sons de fréquences différentes.

SOURCES D'ERREURS

Il y a moins de sources d'erreurs que dans l'expérience 3.2.

- Le bruit de l'air à l'entrée de la pompe à vide est imperceptible
- Pas d'erreur avec le débitmètre puisqu'on utilisait de l'air.

CONCLUSION

On a pu concevoir un montage simulant l'expiration. Avec celui-ci on a vérifié expérimentalement que les conclusions de l'expérience 3.2 restent valides dans le cas de l'expiration.

Il y a néanmoins une différence importante. Pour l'inspiration, $I = K Q^{4.5}$ et pour l'expiration, $I = k Q^{2.5}$. Ainsi, une augmentation de débit favorise beaucoup plus l'augmentation des bruits inspiratoires que

l'augmentation des bruits expiratoires.

3.4 - Etude sur le bruit laryngé

BUT : Vérifier si le bruit laryngé est une source importante de bruits respiratoires, tant pour l'inspiration que pour l'expiration.

THEORIE

Selon l'expression 3.3 page (19), l'intensité des bruits d'origine aérodynamique est donné par

$$I = \frac{K \rho Q^8}{x^2 c_0^5 A_e^7} \quad (3.3)$$

On voit que $I \propto 1/A_e$. On doit donc s'attendre à ce qu'une variation de section du larynx entraîne une très grande variation de l'intensité lorsque les autres facteurs de l'expression 3.3 restent constants. Si ce n'est pas le cas, c'est que le bruit laryngé est masqué par d'autres sources dont l'intensité prédomine. Si par contre on détecte une variation d'intensité en fonction de la section, c'est que le bruit laryngé est une source importante de bruit.

MONTAGE (fig. 3.4-1)

- pour l'inspiration: on utilise le montage de l'expérience 3.2
- pour l'expiration: montage de l'expérience 3.3

Pour faire varier la section du larynx, on a procédé comme suit:

la première section utilisée est celle de
l'embout libre 3/4" φ (voir figure). Par

la suite on insère de petits cylindres de bois de $3/8''$ de hauteur dans l'embout. Le diamètre extérieur des cylindres est de $3/4''$ et le diamètre intérieur est variable (on a utilisé $1/8'' \phi$, $1/4'' \phi$ et $1/2'' \phi$).

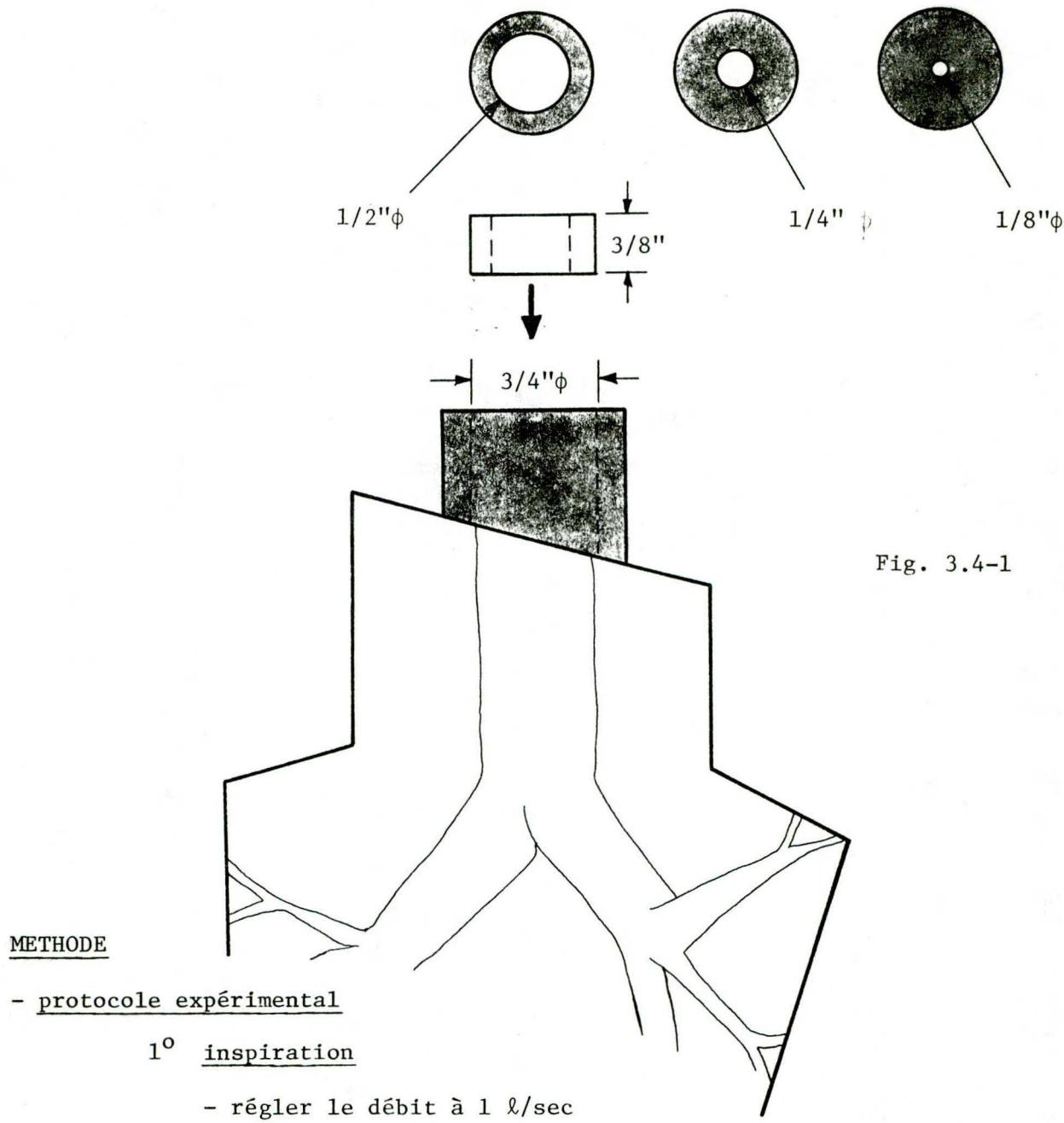


Fig. 3.4-1

- mesurer les bruits respiratoires sur tout le spectre pour chacune des 4 sections
- analyse à l'octave des bruits de fond
- analyse à l'octave des bruits respiratoires pour chacune des 4 sections.

2° expiration

- changer de montage et refaire la même procédure.
- analyse des données

Désormais, on ne soustraira l'intensité des bruits de fond de celles des bruits respiratoires que lorsque leur différence sera inférieure à 20 dB*. La soustraction sera faite comme à l'habitude:

1° conversion de l'intensité des bruits de fond en w/m^2

(ce qu'on note I_1)

2° conversion de l'intensité des bruits respiratoires en w/m^2 (ce qu'on note I_2)

3° soustraction des bruits de fond: on obtient $I_3 = I_2 - I_1$ en w/m^2

4° conversion de I_3 en dB (ce qu'on note N_3).

RESULTATS

1° inspiration

Mesure de bruit sur tout le spectre (on utilise D pour représenter le diamètre de l'ouverture du larynx).

* Une différence de plus de 20 dB correspond à une erreur de moins 1/100.

Tableau 1

		Intensité dB	Intensité en w/m ² *
<u>bruits de fond</u>		57.0	5.01×10^{-7}
	D = 3/4"	59.5	8.91×10^{-7}
bruits	D = 1/2"	60.0	1.00×10^{-6}
inspiratoires	D = 1/4"	63.5	2.24×10^{-6}
	D = 1/8"	72.0	1.58×10^{-5}

- Analyse à l'octave

Tableau 2

fréquence (Hz)	bruit de fond (dB)	bruits inspiratoires (dB)			
		D=3/4"	D=1/2"	D=1/4"	D=1/8"
31.5	40	42	32	50	56
63	56	56.5	57	58	62
125	38	42	43	55.5	64
250	30	42	42	55	64
500	22	43	42.5	50	60.5
1000	19	48.5	49	52	69.5
2000	16	41	41	50	65.5
4000	11	46	45.5	53	71
8000	7	43	40.5	44	70

* obtenue par conversion de l'intensité précédente

2^o expirationTableau 3

		Intensité (dB)	Intensité (w/m ²)
<u>bruits de fond</u>		57.0	5.01×10^{-7}
	D = 3/4"	58.5	7.08×10^{-7}
<u>bruits</u>	D = 1/2"	59.0	7.94×10^{-7}
<u>expiratoires</u>	D = 1/4"	59.5	8.91×10^{-7}
	D = 1/8"	61.5	1.41×10^{-6}

Tableau 4

fréquence (Hz)	bruits de fond (dB)	bruits expiratoires (dB)			
		D=3/4"	D=1/2"	D=1/4"	D=1/8"
31.5	41	42	43	42	42
63	56	57	57	57	56.5
125	38	41	41	41	40
250	30	49	43	41	38
500	22	49.5	50	46	42
1000	19.5	51	51.5	52	53
2000	17	41	41	44.5	46
4000	11	40.5	39	49.5	40.5
8000	7	34	33	48	52.5

ANALYSE DES RESULTATS1^o Variation de l'intensité (sur tout le spectre) en fonction de la section

La section A est obtenue à l'aide de la formule

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

On obtient l'intensité $I_{3\text{ins}}$ (en w/m^2) des bruits inspiratoires et l'intensité $I_{3\text{exp}}$ des bruits expiratoires (la méthode a déjà été exposée).

exemple de calcul pour obtenir $I_{3\text{ins}}$ lorsque $D = 3/4"$ (voir tableau 1)

$$\begin{aligned} I_{3\text{ins}} &= I_2 - I_1 \\ &= 8.91 \times 10^{-7} - 5.01 \times 10^{-7} \\ &= 3.90 \times 10^{-7} \text{ w/m}^2 \end{aligned}$$

Tableau 5

A (po^2)	$\ln A$	$I_{3\text{ins}}$ (w/m^2)	$\ln (I_{3\text{ins}})$	$I_{3\text{exp}}$ (w/m^2)	$\ln (I_{3\text{exp}})$
.44	- 0.82	3.90×10^{-7}	- 14.76	2.07×10^{-7}	- 15.39
.20	- 1.63	4.99×10^{-7}	- 14.51	2.93×10^{-7}	- 15.04
.049	- 3.01	1.74×10^{-6}	- 13.26	3.90×10^{-7}	- 14.76
.0123	- 4.40	1.53×10^{-5}	- 11.29	9.09×10^{-7}	- 13.91

Graphique de l'intensité des bruits inspiratoires
en fonction de la section du larynx.

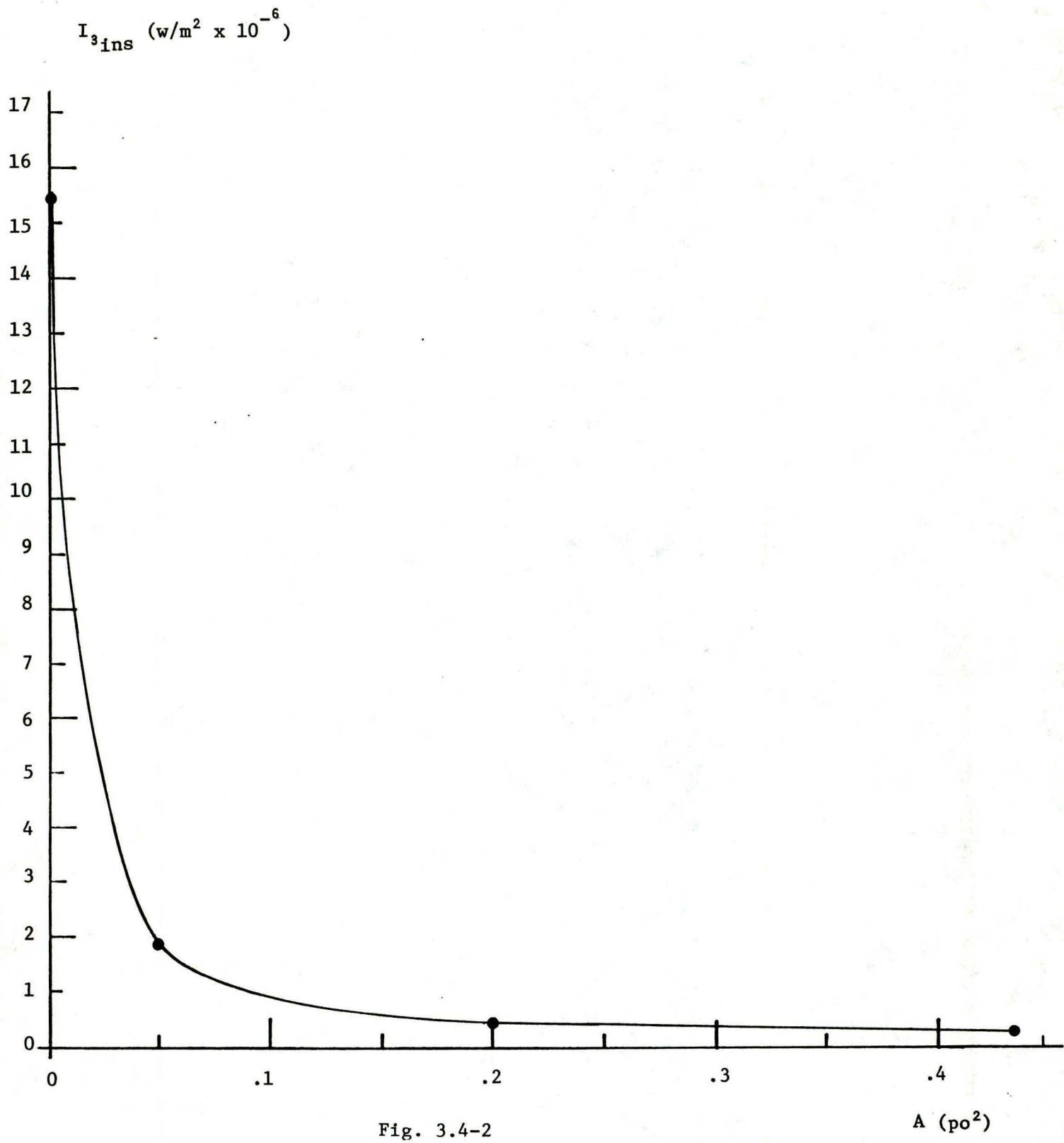


Fig. 3.4-2

A (po^2)

Graphique de $\ln (I_{3\text{ins}})$ en fonction de $\ln A$

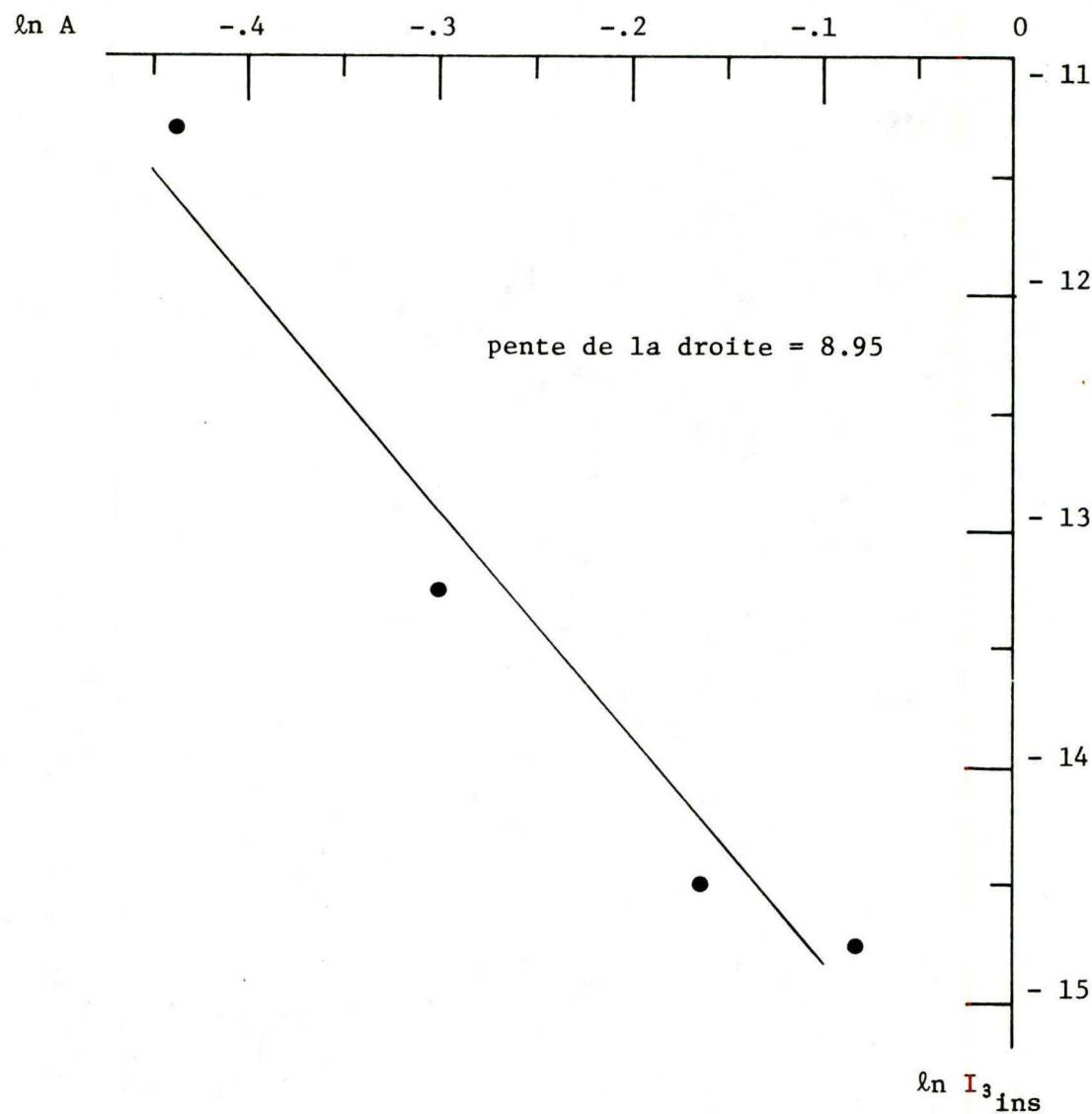
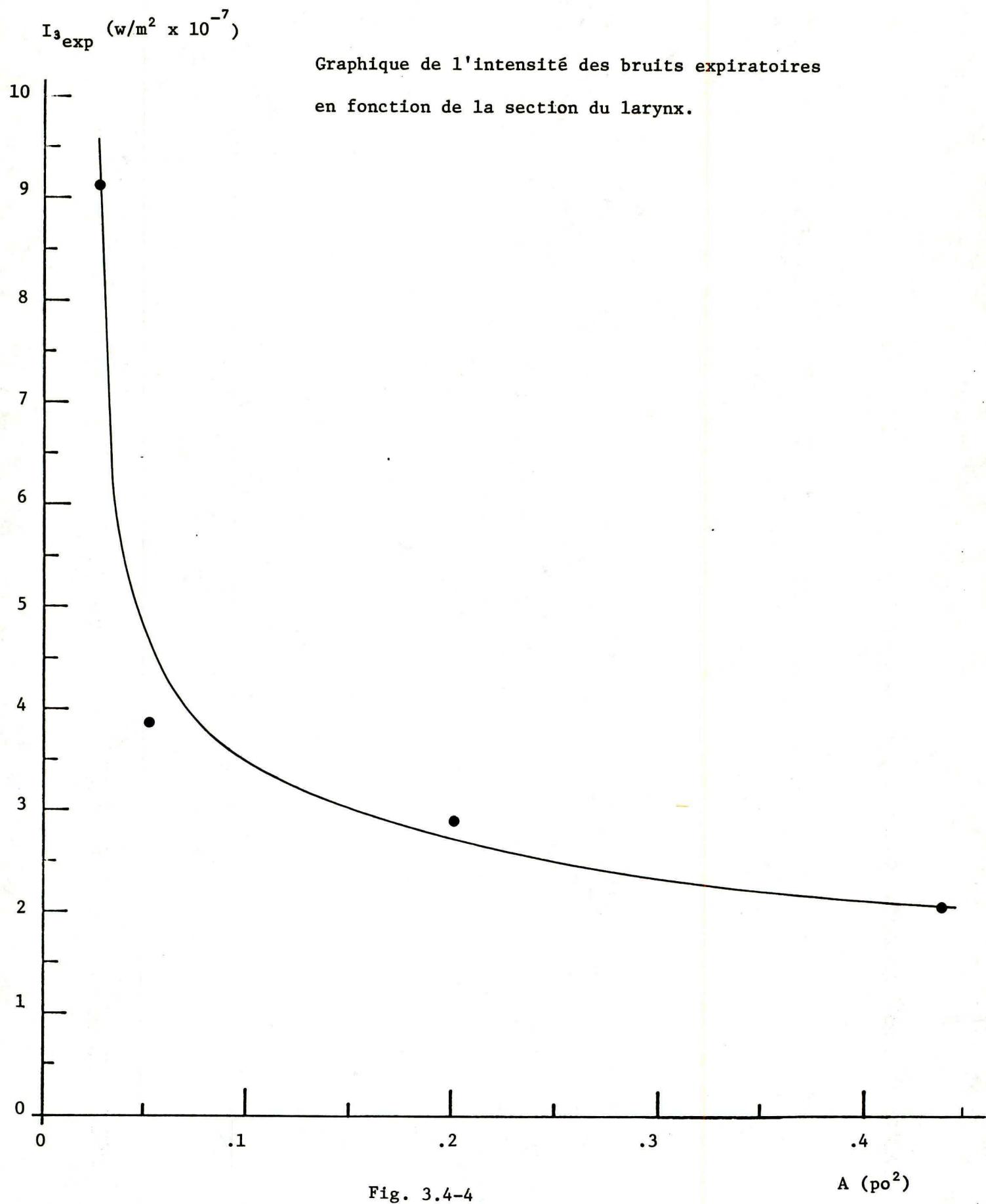


Fig. 3.4-3



Graphique de $\ln (I_3 \text{exp})$ en fonction de $\ln A$

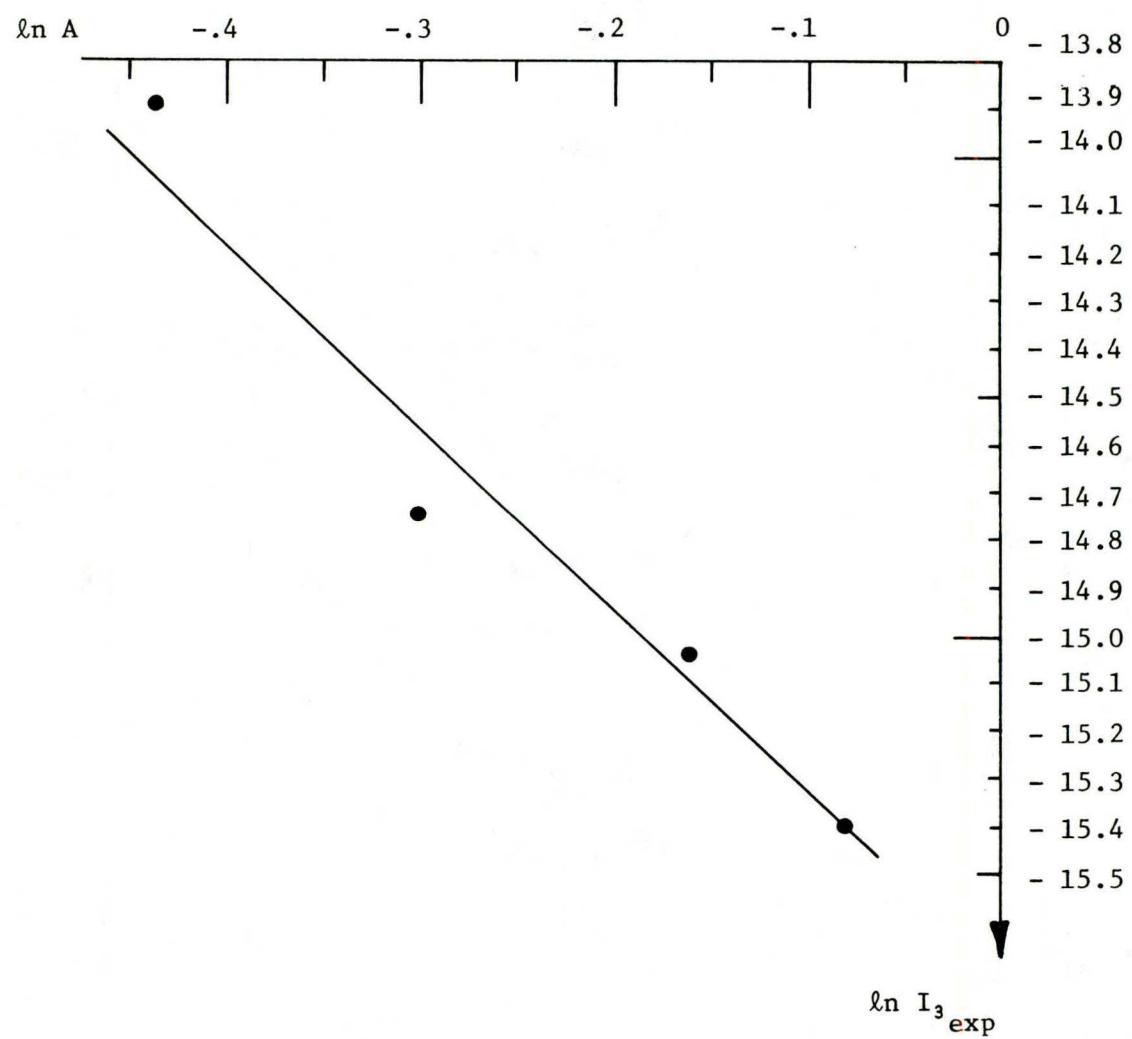


Fig. 3.4-5

Les graphiques de I_3_{insp} et I_3_{exp} en fonction de A (fig. 3.4-2 et 3.4-4) laisse bien voir la relation de proportionnalité inverse qui existe entre I_3 et A.

A l'aide des graphiques de $\ln(I_3_{\text{ins}})$ et $\ln(I_3_{\text{exp}})$ en fonction de $\ln A$ (fig. 3.4-3 et 3.4-5), on obtient

$$\boxed{\begin{aligned} I_3_{\text{ins}} &\propto \frac{1}{A^{8.95}} \\ I_3_{\text{exp}} &\propto \frac{1}{A^{3.67}} \end{aligned}}$$

Bien que ces résultats soient approximatifs, ils indiquent que l'intensité des bruits respiratoires peut varier fortement selon l'ouverture du Larynx. L'expérience démontre donc l'importance des bruits laryngés puisque les autres sources de bruit n'ont pas réussi à masquer les variations d'intensité des bruits laryngés causés par des variations de section.

2^o Analyse à l'octave des bruits laryngés

Il s'agit, comme dans les expériences précédentes, de soustraire les bruits de fond des bruits respiratoires. Le procédé utilisé a été décrit à la section METHODE de cette expérience.

Tableau 6

fréquence (Hz)	INSPIRATION			
	N ₃ en dB			
	D=3/4"	D=1/2"	D=1/4"	D=1/8"
31.5	37.7	40.0	49.5	55.9
63	46.9	50.1	53.7	60.7
125	39.8	41.3	55.4	64
250	41.7	41.7	55	64
500	43	42.5	50	60.5
1000	48.5	49	52	69.5
2000	41	41	50	65.5
4000	46	45.5	53	71
8000	43	40.5	44	70

Tableau 7

fréquence (Hz)	EXPIRATION			
	N ₃ en dB			
	D=3/4"	D=1/2"	D=1/4"	D=1/8"
31.5	35.1	38.7	35.1	35.1
63	50.1	50.1	46.9	50.1
125	38	38	38.0	35.7
250	48.9	42.8	40.6	37.3
500	49.5	50	46	42
1000	51	51.5	52	53
2000	41	41	44.5	46
4000	40.5	39	49.5	40.5
8000	34	33	48	52.5

Dans les pages qui suivent, on retrouve les résultats des tableaux 6 et 7 transcrits sur graphique.

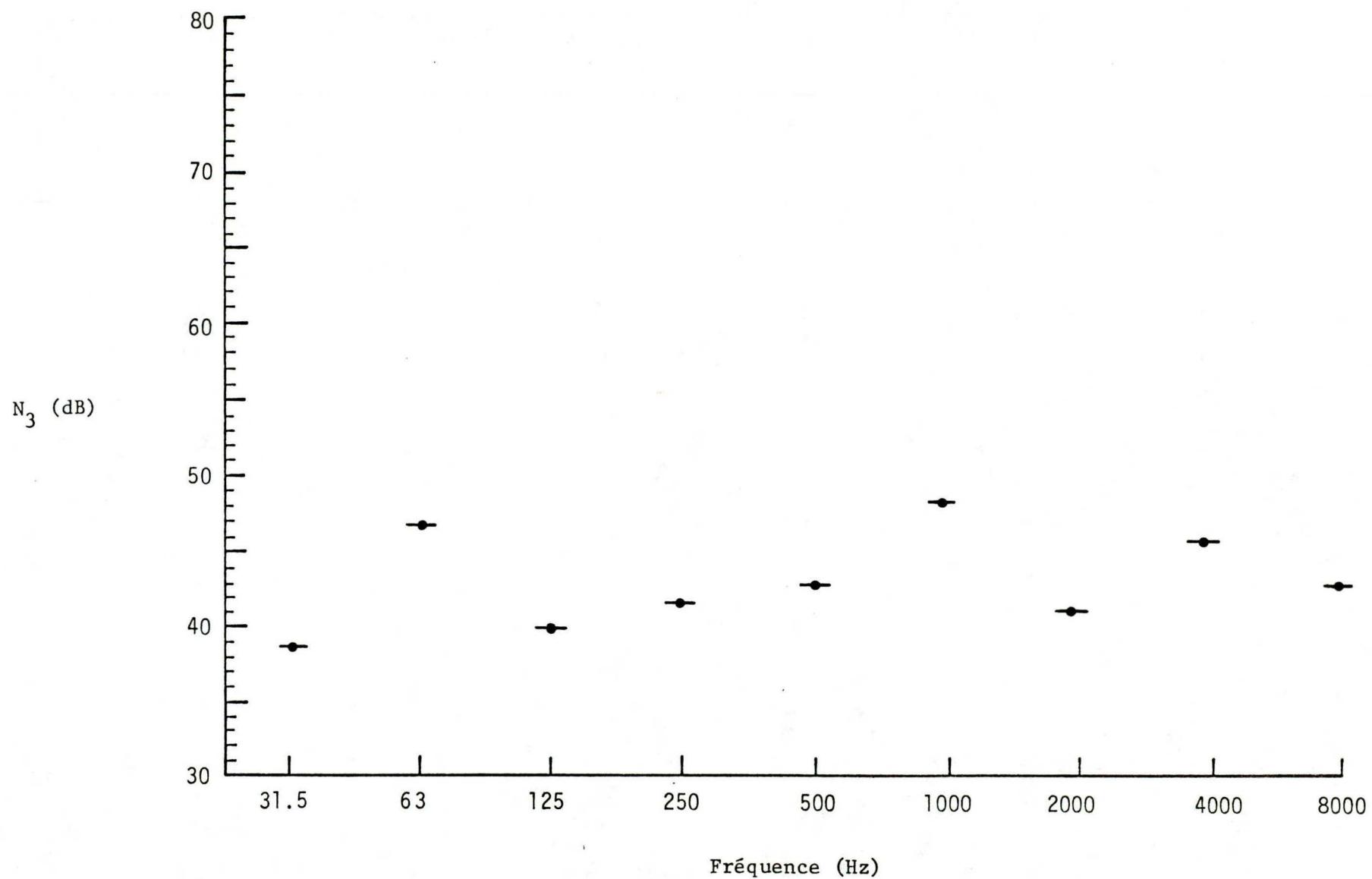
Pour l'inspiration, l'analyse à 1'octave permet de voir qu'un rétrécissement de l'ouverture du larynx favorise la production de bruits de hautes fréquences. On n'a qu'à regarder le spectre "INSPIRATION; D = 1/8"" (fig. 3.4-9) pour s'en convaincre. D'autre part on constate que le pic initiallement à 63 Hz pour D = 3/4" (fig. 3.4-6) se déplace à 125 Hz pour D = 1/4" (fig. 3.4-8) et finalement à 250 Hz lorsque D = 1/8" (fig. 3.4-9). Le bruit laryngé inspiratoire serait donc en partie responsable de certains bruits de basse fréquence.

Pour l'expiration, on s'aperçoit que l'énergie sonore se déplace vers les hautes fréquences lorsque D diminue. Pour D = 3/4" (fig. 3.4-10), on a un genre de palier à 250 Hz, 500 Hz et 1000 Hz avec peu d'énergie dans les fréquences supérieures. Lorsque D diminue progressivement, on constate que le palier se défait; c'est-à-dire que l'intensité à 250 Hz et 500 Hz diminue beaucoup. Par contre, ce phénomène s'accompagne d'une augmentation d'intensité pour les fréquences supérieures à 1000 Hz. Par exemple, lorsque D = 1/8" (fig. 3.4-13), on a un maximum à 8000 Hz.

Signalons finalement que pour l'expiration, on n'observe pas le déplacement du pic de 63 Hz comme c'est le cas pour l'inspiration. Le pic d'intensité à 63 Hz est sans doute causé par une autre source de bruit. Donc, pour l'expiration, le bruit laryngé ne semble pas responsable des très basses fréquences.

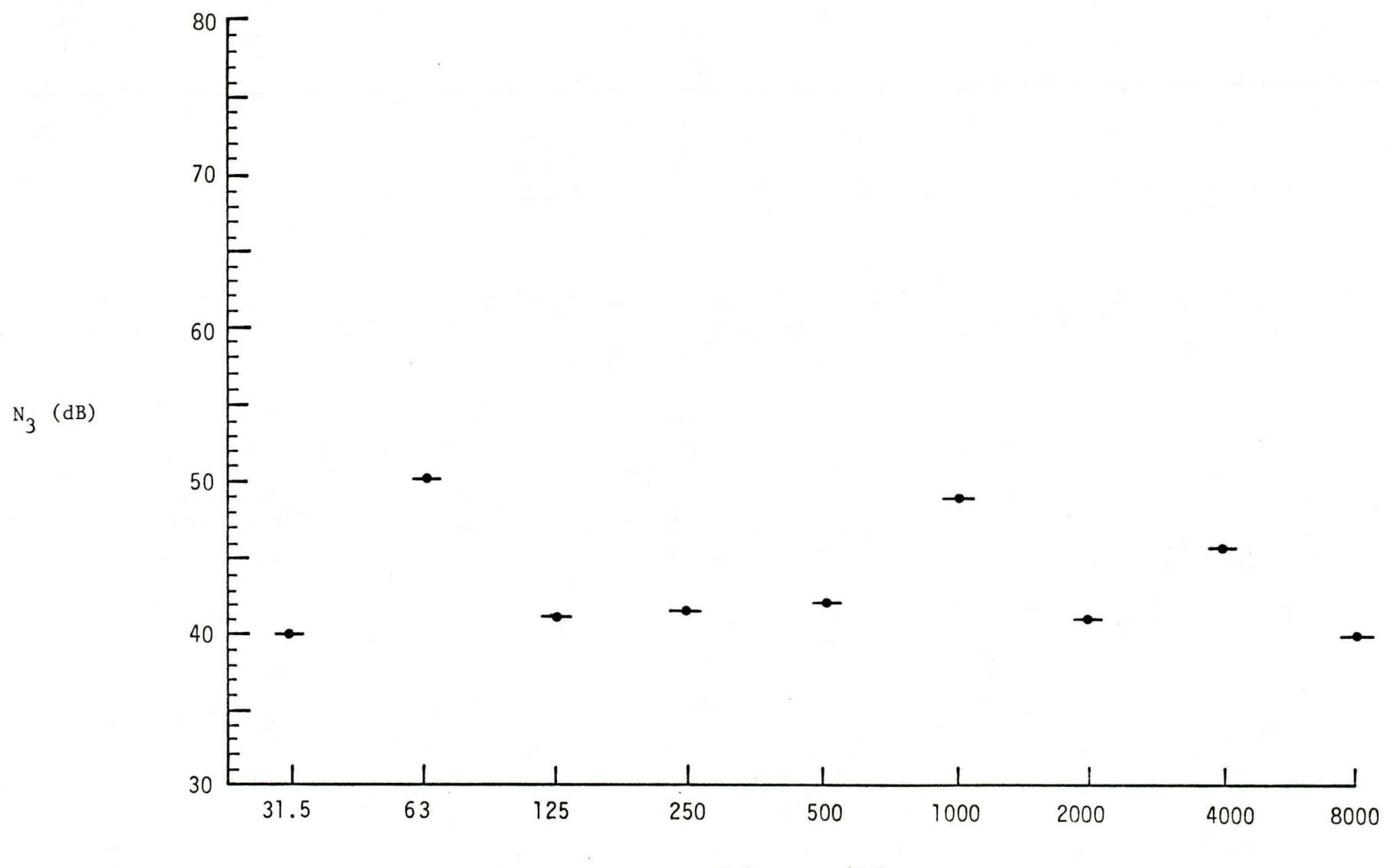
CONCLUSION (de l'expérience 3.4)

A première vue, le bruit laryngé semble jouer un rôle important parmi les autres bruits respiratoires. Son importance est d'autant plus grande que l'ouverture du larynx est faible.



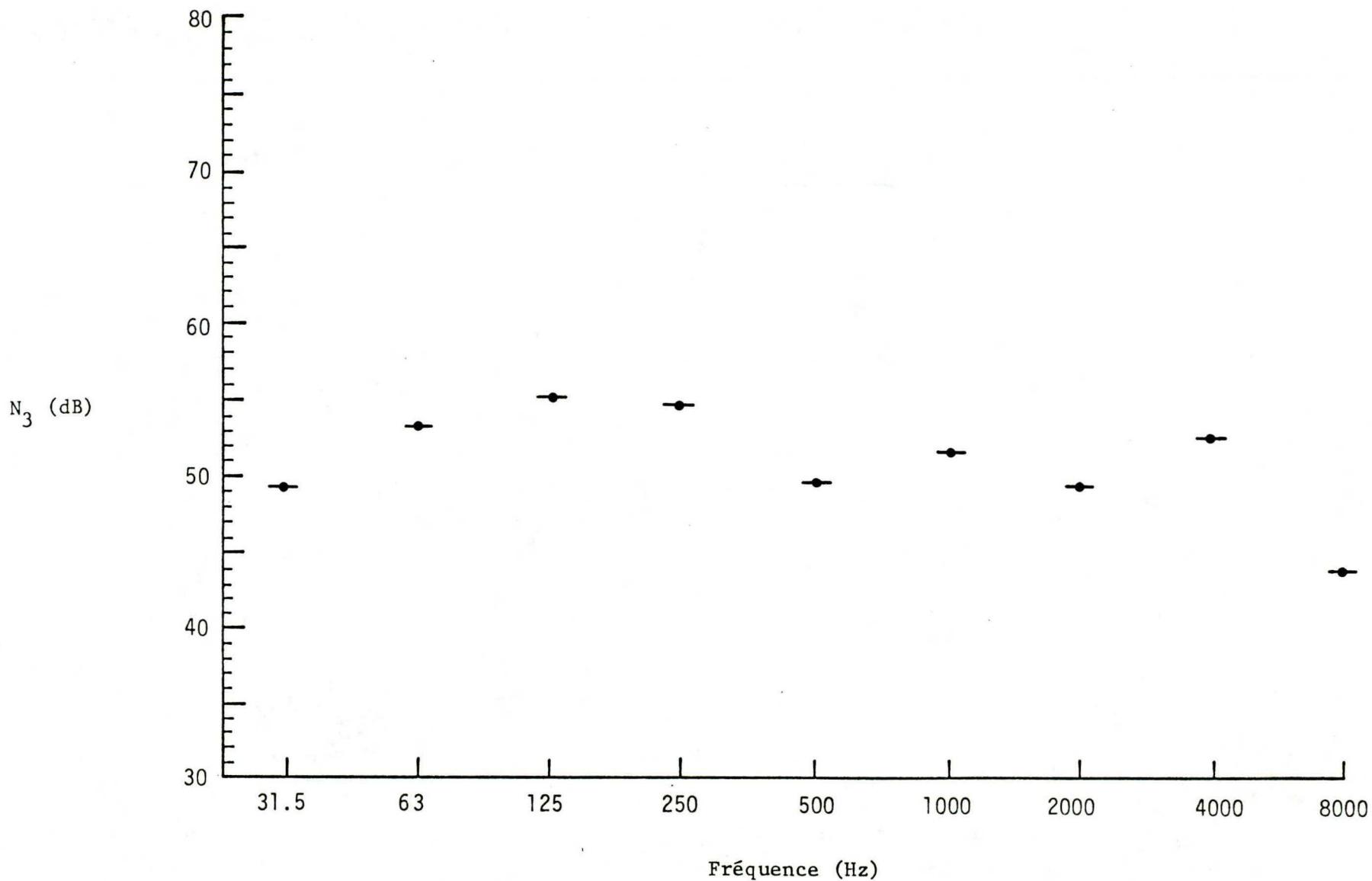
INSPIRATION; D = 3/4"

Fig. 3.4-6



INSPIRATION; D = 1/2"

Fig. 3.4-7



INSPIRATION; D = 1/4"

Fig. 3.4-8

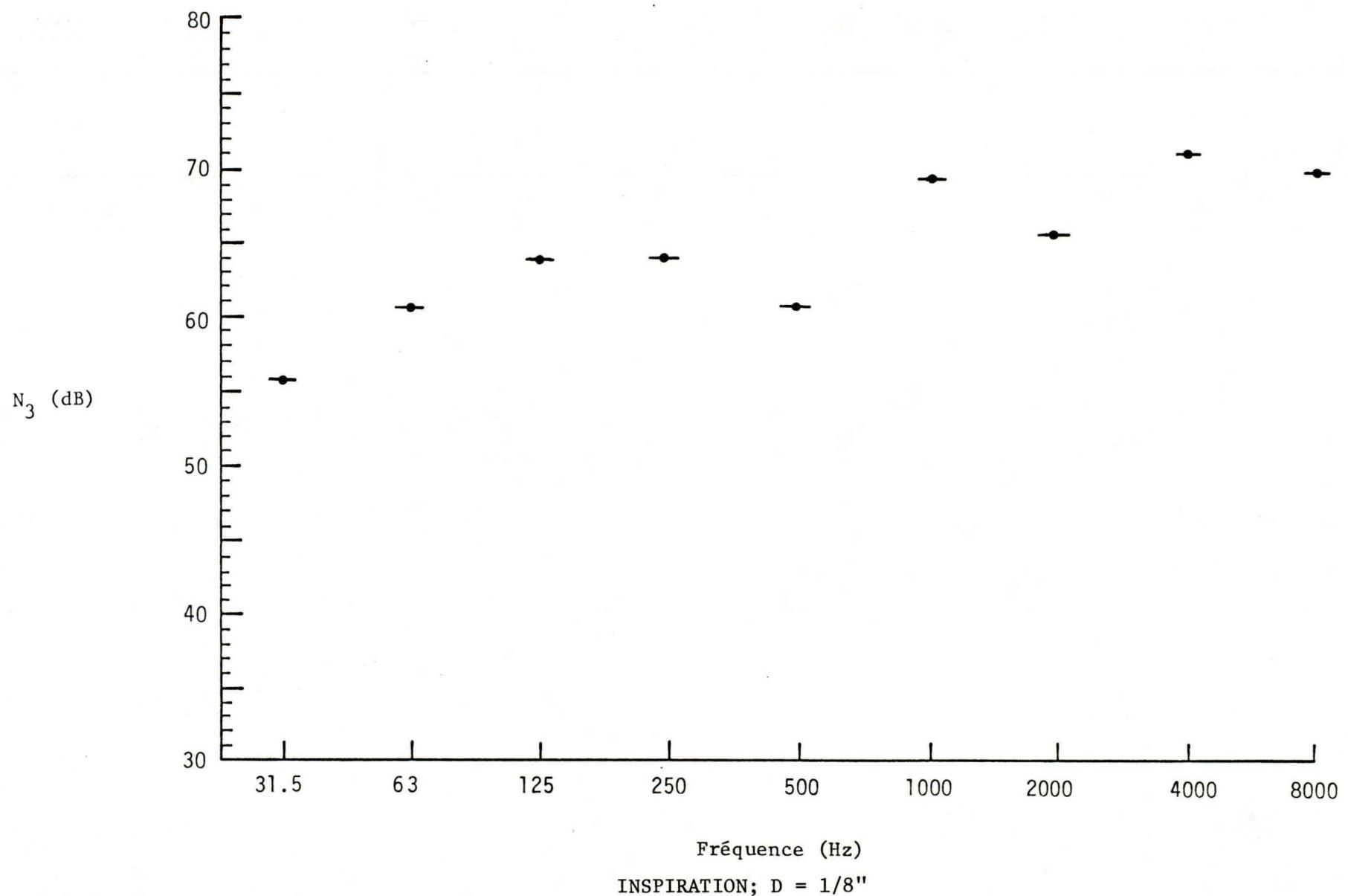
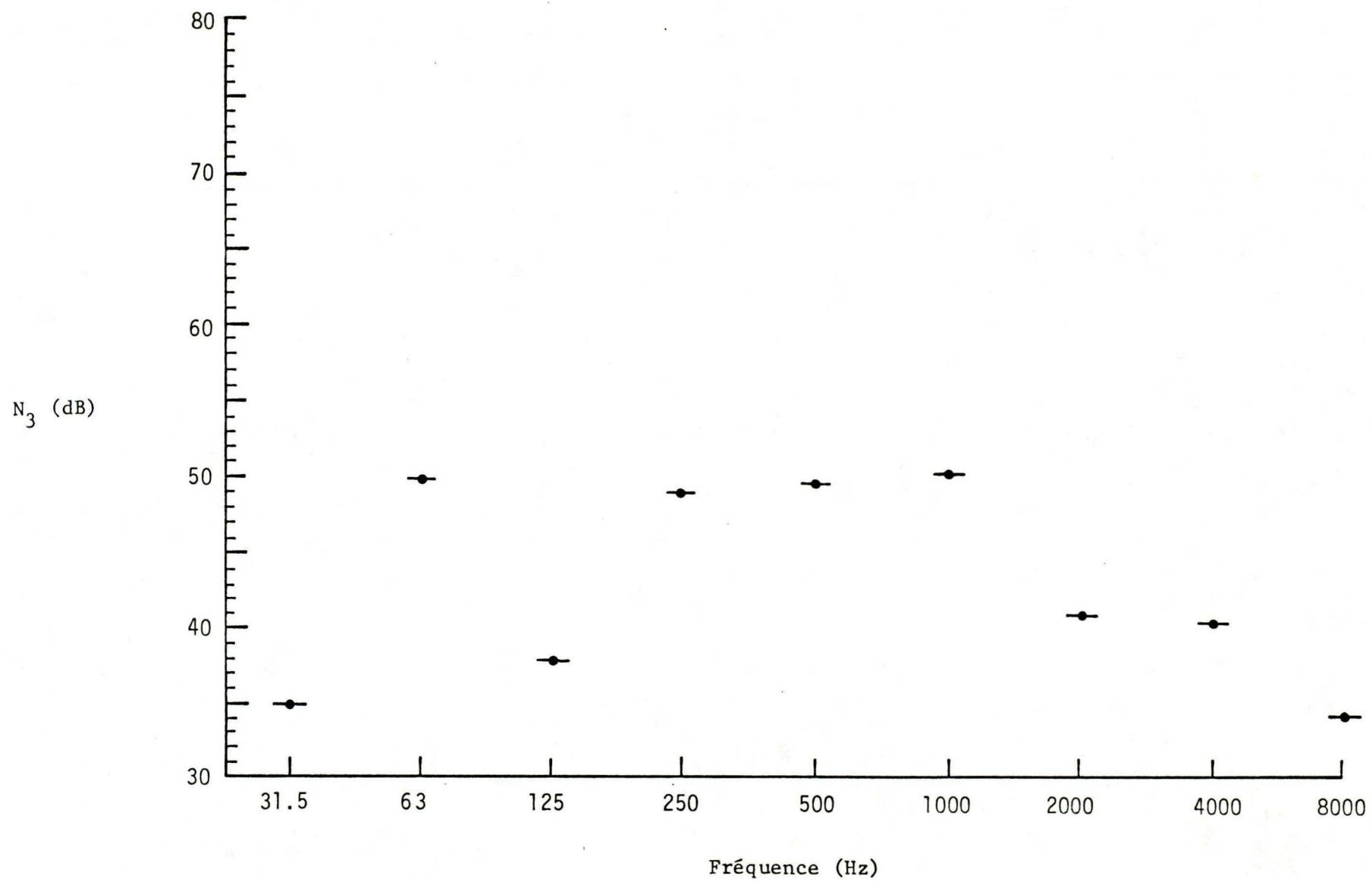


Fig. 3.4-9



EXPIRATION; D = 3/4"

Fig. 3.4-10

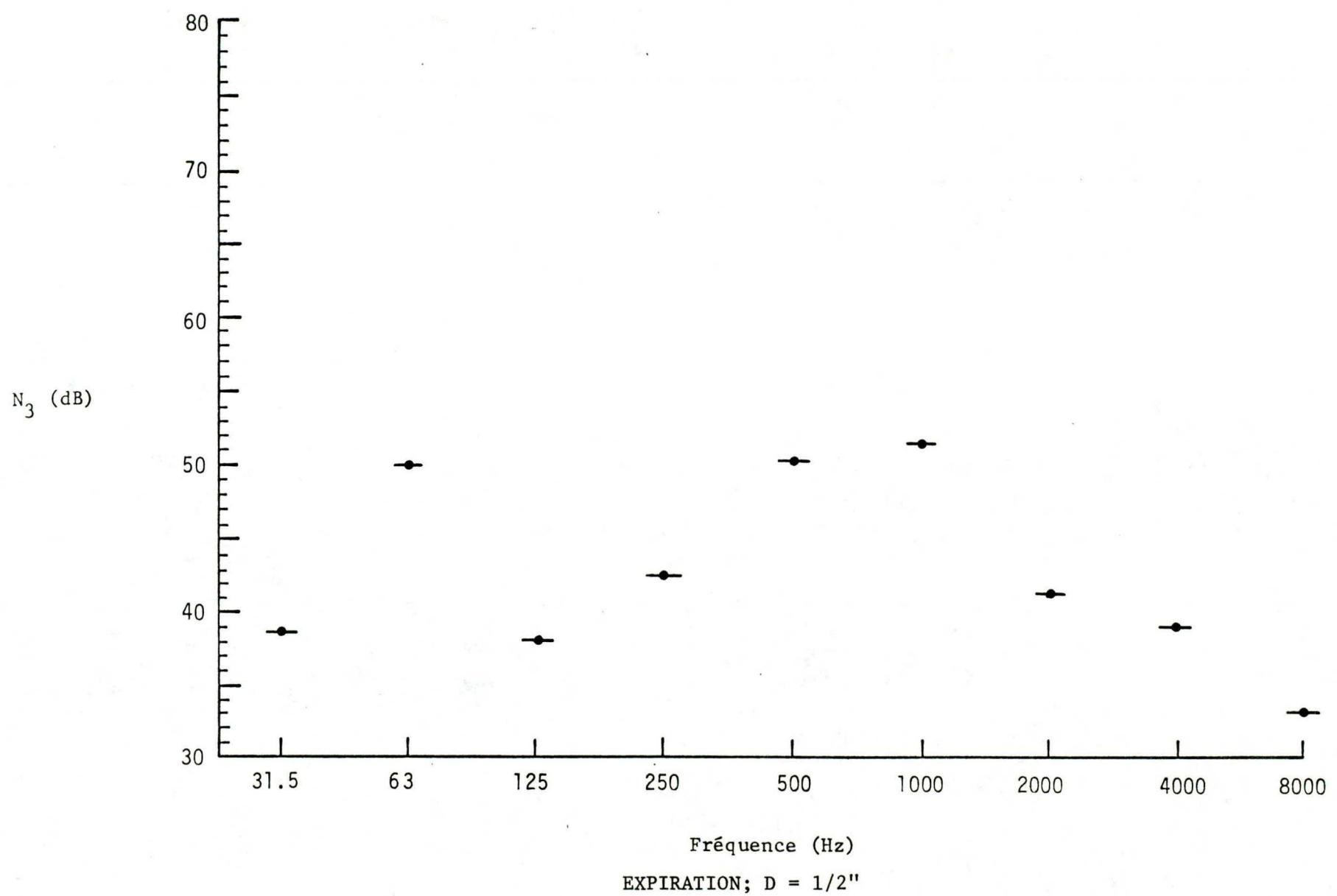
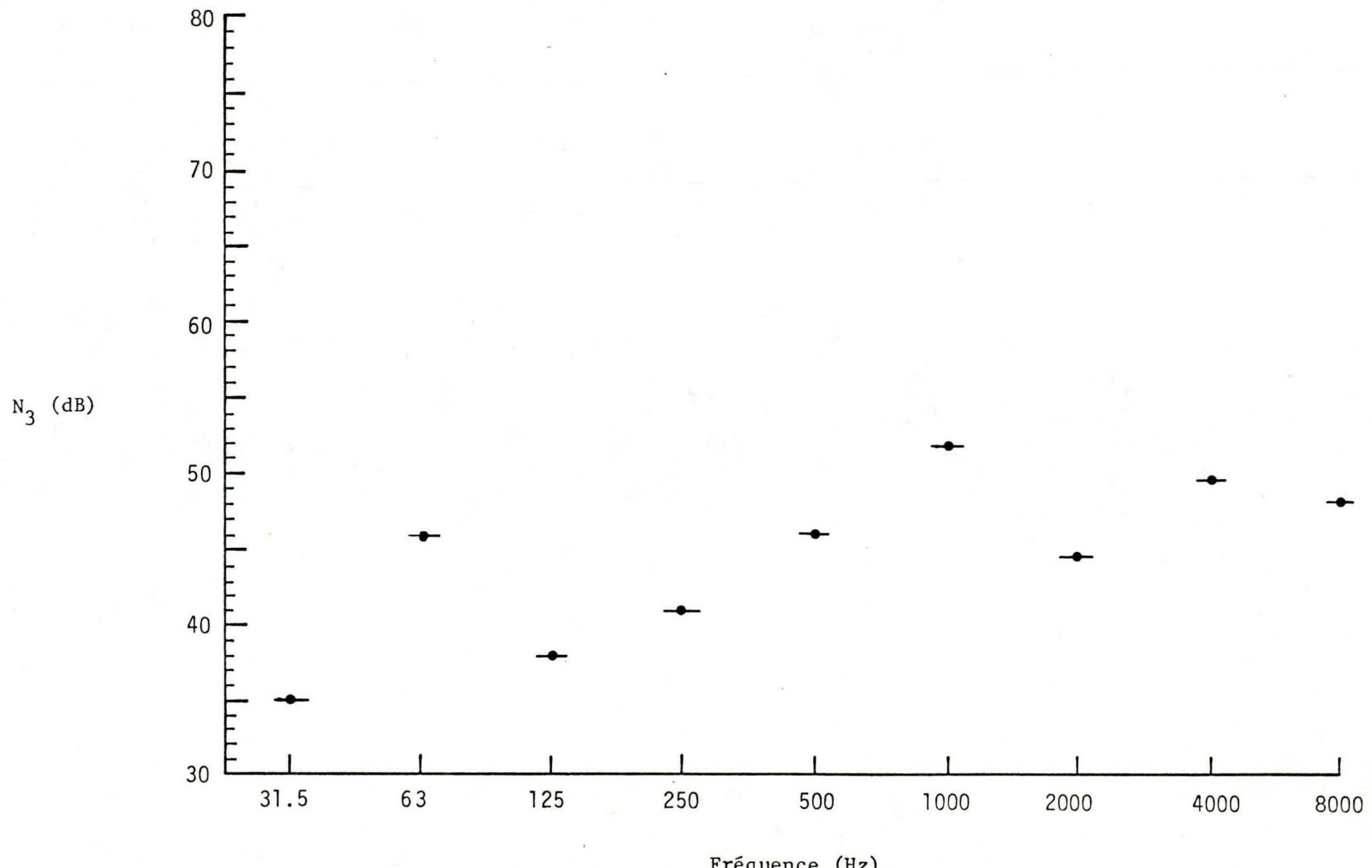
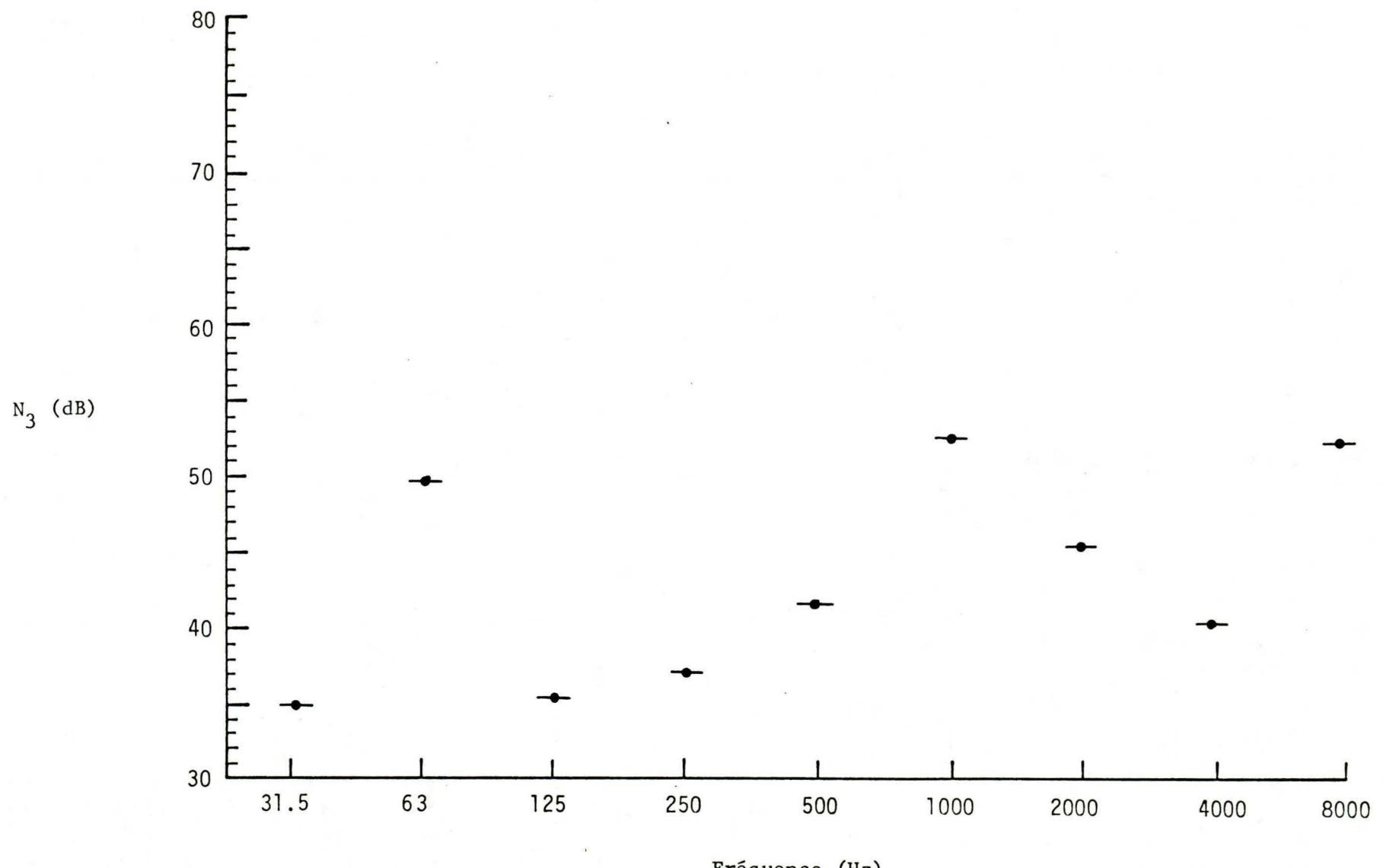


Fig. 3.4-11



EXPIRATION; D = 1/4"

Fig. 3.4-12



EXPIRATION; D = 1/8"

Fig. 3.4-13

D'autre part, il semble que le bruit laryngé inspiratoire soit responsable d'une composante de basse fréquence (50 Hz à 250 Hz). Cette constatation ne s'applique pas au bruit laryngé expiratoire.

Finalement, on remarque qu'un rétrécissement de l'ouverture du larynx favorise le déplacement du spectre vers les hautes fréquences.

3.5 - Pour l'obtention d'un modèle théorique

L'utilisation de la formule 3.1 tout au long des expériences n'est pas tout à fait justifiée. Cette dernière, valide pour l'écoulement dans l'air libre d'un gaz provenant d'un seul tube, n'est certes pas applicable lorsqu'on a affaire à un réseau de tubes dont quelques-uns seulement débouchent sur l'air ambiant.

Pour élaborer un modèle théorique plus correct, il faudrait déterminer le patron d'écoulement du gaz à travers les tubes du système respiratoire et à partir de là - en utilisant entre autre la théorie des bruits d'origine aérodynamique - on pourrait avoir à quels endroits des vibrations non négligeables ont le plus de chances de prendre naissance et de se transmettre jusqu'à l'extérieur du poumon.

Finalement, en ce qui concerne l'écoulement des gaz dans le système respiratoire, beaucoup d'études ont été faites et certaines permettent de donner les distributions vectorielles de vitesses pour différentes sections de tubes respiratoires. Pour de plus amples renseignements on pourra consulter Marie-Josée Montpetit (présentement étudiante à Polytechnique). Celle-ci possède de nombreuses références sur le sujet.

4. CONCLUSION

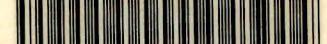
On peut dire que les objectifs des expériences individuelles de la section 3 ont été atteints. On a obtenu des résultats très généraux. Ceux-ci permettent quand même de mieux comprendre les phénomènes en cause et faciliteront (possiblement) la conception d'un modèle s'y rapportant.

BIBLIOGRAPHIE

1. BULLAR, J.F.: "Experiments to determine the origin of the respiratory sounds" PROC. ROY. SOC. IMED. 1884, 37, 411-22
2. BUSHNELL, G.E.: "The mode of production of the so-called vesicular-murmurum of respiration" JAMA 1921, 77, 2104
3. MCKUSSICK, V.A.: "The acoustic basis of the chest examination" AM. REV. OF TUBERCULOSIS 1955, 72, 12
4. FAHR: "The acoustics of bronchial breath sounds" ARCH. INTER. MED. (Chicago) 1925, 39, 286
5. MARTINI, P. and MULLER: "Tubular respiration" DEUTSH ARC KLIN. MED. 1923, 32, 313
6. LEBLANC, P.T. et al.: "Breath sounds and distribution of pulmonary ventilation" AM. REV. of RESP. DISEASES 1970, 102 no 1, 10
7. PLOY SONG SANG, Y. et al.: "Breath sounds and regional ventilation" AM. REV. of RESP. DISEASE 1977, 116, 187
8. PLOY SONG SANG, Y. et al.: "Correlation between regional breath sounds and regional ventilation" AM. REV. RESP. DIS. 1976, 113, 187
9. PLOY SONG SANG, Y.: "Distribution of regional ventilation measured by breath sounds" AM. REV. RESP. DIS. 1978, 117, 657
10. PLOY SONG SANG: "Demonstration of regional phase difference in ventilation by breath sounds" J. APPL. PHYSIOL. 1979, 46, 361
11. KRAMAN, S.S.: "Determination of the site of production of respiratory sounds by subtraction phonopneumography" AM. REV. RESPIR. DIS. 1980, 122, 303
12. BOHADANA, A.B.: "Breaths sounds in the clinical assessment of airflow obstruction" THORAX 1978, 33, 345

13. CAPEL, L.H.: "Lungs sounds: a new approach" PRACTITIONER 1977, 219, 633.
14. BANASZAK, E.F. et al.: "Phonopneumography" AM. REV. RESP. DISEASE 1973, 107, 449
15. MORI, M. et al.: "Spectral analysis of breath sounds" JPN JOURNAL of THORACIC DIS. 1978, 16 no 7, 503.
16. FORGACS, P.: "The functional basis of pulmonary sounds" CHEST, 1978, 73, 399.
17. PATTERSON, J.L. Jr. et al.: "The genesis of respiratory sound" CLIN. RES., 1977, 25, 503a
18. ROBERSTON and COOPE: "Rales, rhonchic and Laennec" LANCET, 1957, 2, 417
19. LIGHTILL, M.J. On Sound Generated Aerodynamically
 - i . General Theory, PROC. ROY. SOC., A. 211, 566, 1952
 - ii. Turbulence as a source of sound, PROC. ROY. SOC., A.222, 1954
20. LIGHTILL, M.J.: The Bakerian Lecture, Sound Generated Aerodynamically, PROC. ROY. SOC., A.267, 1329, 1962

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL



3 9334 00289169 3