

Nomenclature stéthacoustique pulmonaire : pourquoi pas un consensus mondial ?

G. POSTIAUX (1, 2), E. LENS (1, 2)

(1) Groupe d'Etude Pluridisciplinaire Stéthacoustique, rue de Miaucourt, 43, B-6180 Courcelles.

(2) Centre Hospitalier Notre-Dame et Reine Fabiola, Service de Médecine Interne, 73, avenue du Centenaire, B-6061 Montignies-sur-Sambre.

SUMMARY

Stethacoustic nomenclature of lung sounds: towards a worldwide consensus.

In order to found the stethacoustic nomenclature on objective facts, we suggest to express lung sounds in a way taking first into account acoustical physics. Indeed the physicoacoustical definition of lung sounds has to take place before its psychoacoustical definition. Acoustical physics identifies only four kinds of vibrations: simple and complex periodical vibrations, transient and continuous non periodical vibrations. Lung sounds are bound to fall into one of those four categories. Phonopneumograms in time and frequency domain allow an objective classification of breath and adventitious lung sounds and introduce a simplification into the nomenclature which recognizes only four sorts of

lung sounds, all of them included in these two categories : 1° breath sounds include normal and bronchial breath sounds, 2° adventitious sounds include crackles (for every discontinuous sound) and wheezes (for every continuous sound). Objective parameters add their specific characteristics in terms of pitch, complexity, Hz-frequency, timing in the respiratory cycle and duration. The proposal of a new nomenclature is justified because it is supported by measurable physical phenomena.

The solution of semantic problems should enable clinicians to progress toward a worldwide consensus.

Key-words : Respiratory sounds. Phonopneumography. Normal breath sound. Bronchial breath sound. Crackle. Wheeze.

RÉSUMÉ

Pour faire progresser la nomenclature d'auscultation pulmonaire sur des bases objectives, la définition physico-acoustique du bruit respiratoire doit précéder sa définition psycho-acoustique. Le répertoire physique des signaux acoustiques n'identifie que 4 types de vibrations: des vibrations périodiques simples et complexes, et des vibrations a périodiques impulsionnelles et continues auxquelles doivent nécessairement correspondre tous les bruits ventilatoires. Les phonopneumographies temporelles et spectrales autorisent une classification objective des bruits res-

piratoires et des bruits adventices et une simplification au sein de la nomenclature qui comporte 4 sortes de bruits repris dans ces 2 catégories : 1) les bruits respiratoires comprennent les bruits respiratoires normaux et les bruits respiratoires bronchiques ; 2) les bruits adventices comprennent les craquements (pour tout bruit discontinu) et les sibilances (pour tout bruit continu). Des paramètres objectifs viennent ensuite préciser leurs caractéristiques propres en termes de timbre, de complexité, de fréquence hertzienne, de situation dans le cycle respiratoire et de durée.

La proposition d'une nouvelle nomenclature est justifiée parce qu'elle se fonde sur des phénomènes physiques mesurables. La résolution des problèmes sémantiques devrait permettre de progresser vers un consensus mondial.

Tirés à part : G. POSTIAUX, à l'adresse ci-dessus (2).

E-mail: postiaux.guy@CHNDRF.be

Reçu en forme originale: 24.08.98.

Reçu en dernière version révisée: 09.04.99.

Mots-clés : Phonopneumographie temporelle. Phonopneumographie spectrale. Bruit respiratoire normal. Bruit respiratoire bronchique. Craquement. Sibilance.

Introduction

En dépit des progrès réalisés au niveau du recueil de paramètres objectifs capables de standardiser les nomenclatures d'auscultation pulmonaire, on doit malheureusement constater que des problèmes sémantiques subsistent et que la révision de la terminologie n'a pas encore fait l'objet d'un consensus. Jusqu'en 1957 [1], la terminologie de Laennec reste d'usage et les traductions qu'elle a subies dans différentes langues créent la confusion. De ce fait, l'existence de plusieurs dizaines de nomenclatures différentes rend leur apprentissage difficile et justifie la recherche d'une uniformisation. La proposition francophone la plus récente [2], tout en constituant un progrès certain, nous paraît encore entachée d'appellations non pertinentes. Des termes inadaptes subsistent dans toutes les nomenclatures tels « murmure vésiculaire, rhonchus, sifflements, crépitants, crépitements, crépitations », voire l'emploi encore assez répandu du terme « râle » issu de la nomenclature allégorique de Laennec [3] ou encore les *squeak* et *squawk* chez les Anglo-Saxons. De plus, on sait que les qualificatifs donnés par Laennec aux différents bruits respiratoires et plus particulièrement aux bruits adventices (râles), sont sans fondement étiologique. Robertson fut le premier à procéder à une première approche de définition physico-acoustique des bruits adventices en proposant une classification fondée sur les notions de bruit continu et de bruit discontinu [1]. Cette classification ignore les bruits respiratoires normaux et bronchiques. Forgacs a proposé des définitions stéthacoustiques, plus précisément psycho-acoustiques, précisant notamment le caractère monophonique ou polyphonique des sibilances. [4, 5] Les travaux de ces auteurs ont jeté les bases de la stéthacoustique moderne et de la nomenclature proposée par l'American Thoracic Society (ATS) en 1975 [6] qui comporte 2 catégories de bruits : les bruits respiratoires et les bruits adventices comme Laennec l'avait établi. Il convient également de faire observer que les définitions et, partant, les diverses nomenclatures ne prennent pas en compte les particularités des bruits respiratoires des enfants. Les publications traitant des bruits respiratoires de l'adulte sont en fait très nombreuses comme en témoigne un récent « état de la question » [7]. A l'opposé, on trouve beaucoup moins de publications qui concernent les bruits respiratoires du petit enfant. La description par Laennec lui-même des bruits respiratoires de l'enfant ne comportait que quelques lignes. Quant au rapport de l'ATS [6] il n'a pas tenu compte des caractéristiques des bruits respiratoires du jeune enfant que nos études stéthacoustiques nous ont permis de préciser [8]. Le présent travail a pour but de présenter une proposition de nomenclature fondée sur un mode d'expression des bruits respiratoires qui tienne compte en premier lieu de la phy-

sique acoustique. En effet la définition physico-acoustique du bruit respiratoire en question devrait précéder sa définition psycho-acoustique. Autrement dit, pour définir objectivement le bruit respiratoire, ce que l'on voit sur l'écran de l'analyseur prévaut sur les qualités perceptives, et donc subjectives de l'oreille. Seule cette manière autorise une classification objective des bruits respiratoires et des bruits adventices rendant possible un langage universel.

Méthodes

PHÉNOMÈNES VIBRATOIRES ET PARAMÈTRES ACOUSTIQUES

Les phénomènes sonores sont de 2 types [9, 10] : les vibrations périodiques qui sont des ondes régulières (les sibilances en font partie), et les vibrations apériodiques moins régulières (bruits respiratoires et craquements). (*tableau 1*).

Vibrations périodiques : amplitude et fréquence

- Les vibrations périodiques simples servent à définir 2 paramètres : amplitude et période :

- 1) L'amplitude (A) caractérise la grandeur du déplacement, la force du phénomène vibratoire ou encore l'énergie mise en jeu pour le produire. L'amplitude se traduit par des variations de pression, exprimées en pascal (pa) ou plus souvent en bels ou en décibels (dB).

- 2) La période (T), c'est-à-dire le temps mis pour effectuer un cycle complet d'oscillation. Le nombre d'oscillations par seconde se définit par la fréquence (F), inverse de la période (1/T). Elle s'exprime en Hertz (hz), c'est-à-dire en cycles par seconde. Les vibrations périodiques simples ne sont pas rencontrées en auscultation pulmonaire. Cependant, le « sifflement » de la sibilance s'en approche dans sa forme temporelle quasi sinusoïdale.

- Les vibrations périodiques complexes sont de forme moins régulière que les premières. Leur onde est complexe, non sinusoïdale, mais répétitive dans leur forme, ce qui crée leur timbre. Le rhonchus en fait partie.

Vibrations apériodiques : spectre et timbre

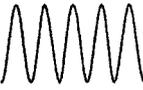
Les vibrations apériodiques ne se répètent pas de manière identique dans le temps.

- Les vibrations apériodiques impulsives sont très brèves, elles sont produites par une explosion, un choc. Un grand nombre de fréquences, non liées par des relations harmoniques, peuvent y être présentes. Les craquements en font partie de cette sorte, de durée brève.

- Les vibrations apériodiques continues sont produites à partir d'un mouvement anarchique dans le temps, sans

TABLEAU I. — Classification physico-acoustique des bruits respiratoires.

A. Signal physique, type de vibration. B. Classification physico-acoustique des termes de la nomenclature. C. Définitions psycho-acoustiques des bruits respiratoires et des bruits adventices.

A. Signal acoustique	B. Nomenclature	C. Définition psycho-acoustique
Vibration périodique		
- simple 	Sibilance monophonique	Les sibilances sont des bruits continus ou sons de tonalité musicale d'une durée supérieure à 30 ms Une sibilance est dite monophonique lorsqu'elle peut être distinguée et isolée parmi d'autres sibilances en un même point d'écoute. Les sibilances monophoniques ne se superposent pas dans le temps.
- complexe 	Sibilances polyphoniques	Les sibilances polyphoniques sont des sibilances de tonalités différentes entendues simultanément au même point d'écoute. Les sibilances polyphoniques se superposent dans le temps.
Vibrations apériodiques		
- continues 	Bruit respiratoire normal	Le bruit respiratoire normal est un bruit de timbre sombre (généralisé au niveau des voies aériennes centrales et moyennes et filtré par le parenchyme pulmonaire aéré)
	Bruit respiratoire bronchique	Le bruit respiratoire bronchique est un bruit de timbre clair (généralisé au niveau des voies aériennes centrales et moyennes et peu ou non filtré par le parenchyme pulmonaire densifié)
- impulsionnelles 	Craquements	Le terme craquement regroupe tous les bruits adventices discontinus d'une durée inférieure à 30 ms

périodicité. Leur fréquence varie donc continuellement. Les bruits respiratoires normaux et bronchiques entrent dans cette catégorie.

En résumé, la physique acoustique ne reconnaît que 4 types de vibrations ce qui implique que les bruits respiratoires ne peuvent être eux-mêmes classés qu'en 4 catégories au plus. Quant aux paramètres qui définissent les caractéristiques physiques et perceptives des phénomènes vibratoires, bruits et sons, ce sont :

- 1) La fréquence (Hz) ou hauteur : une fréquence élevée donne un son aigu, une fréquence basse un son grave.
- 2) L'amplitude (A) ou intensité : un son est faible ou fort suivant l'amplitude du mouvement vibratoire.
- 3) Le timbre caractérise la complexité des bruits et des sons et résulte en partie de leur composition spectrale. L'analyse fréquentielle par transformée rapide de Fourier (Fast Fourier Transform, FFT) fournit un spectre du son ou du bruit, c'est-à-dire sa représentation graphique en mode amplitude-fréquence qui définit son timbre. La perception du timbre implique un phénomène personnel,

c'est-à-dire les particularités psycho-acoustiques de l'auditeur. On distingue timbre sombre et timbre clair suivant que le contenu fréquentiel s'inscrit relativement dans les basses ou hautes fréquences du spectre acoustique. On parle également de bruit blanc lorsque les fréquences composant le spectre sont d'amplitude quasi égale.

4) La durée.

Méthodologie de l'analyse acoustique

Les 2 principales expressions graphiques de l'analyse acoustique des bruits respiratoires sont la phonopneumographie temporelle et la phonopneumographie spectrale [11].

- La phonopneumographie temporelle est le mode de représentation le plus important car c'est l'allure temporelle du bruit qui autorise sa définition, donc sa classification physico-acoustique : vibration périodique simple et complexe, ou apériodique impulsionnelle et continue. La classification des bruits respiratoires proposée ici provient donc en premier lieu de la « lecture » de la morphologie

temporelle de la courbe obtenue après conversion analogique-numérique du signal à une fréquence d'échantillonnage habituellement fixée à 4 kHz, ce qui autorise le détail d'événements temporels inférieurs à la milliseconde (ms).

- La phonopneumographie spectrale permet d'aborder la différenciation interne de bruits respiratoires d'une même catégorie. Elle permet d'affiner l'examen d'ondes complexes, d'opérer en fait le diagnostic différentiel des bruits d'une même catégorie à partir de la transformée de Fourier qui convertit des informations du domaine temporel vers le domaine fréquentiel. Pour comparer les spectres entre eux, nous en retenons quelques informations pertinentes : la fréquence maximale ou fréquence de pic (Fp) du spectre, sa fréquence moyenne (Fm), sa médiane (Fme), la fréquence maximale à 10 % de son amplitude (Fw10) qui exprime la largeur ou la bande passante du phénomène en question. La bande passante de l'information pulmonaire pertinente est principalement comprise entre 100 et 2 000 Hz. Nous ne nous intéressons donc ici qu'à la morphologie des différentes courbes des phonopneumographies temporelles et spectrales, les mécanismes de genèse et l'interprétation physiopathologique des bruits respiratoires relevant d'une autre démarche.

PSYCHO-ACOUSTIQUE APPLIQUÉE À L'AUSCULTATION PULMONAIRE

Afin de résoudre certains aspects sémantiques, et puisque nous voulons différencier et faire précéder les définitions physico-acoustiques des bruits respiratoires de leurs définitions psycho-acoustiques, il est nécessaire de définir brièvement le champ d'application de la psycho-acoustique déterminante dans l'interprétation de certains signaux stéthacoustiques. La psycho-acoustique est l'étude des rapports entre les paramètres de la stimulation acoustique, d'une part, et la qualité de la sensation auditive d'autre part [12]. En fait, la transmission du message acoustique nécessite des signes chargés de signification, au nombre de 3 : l'intensité, la fréquence et le temps. L'intensité et ses variations étant d'importance minime, c'est l'association fréquence-temps qui représente le vecteur le plus efficace. La psycho-acoustique fait donc intervenir les qualités perceptives, c'est-à-dire subjectives de l'auditeur. Il est par conséquent logique qu'elle suive la définition physico-acoustique, c'est-à-dire objective, du phénomène en question. En auscultation pulmonaire, nous sommes spécialement confrontés à trois difficultés perceptives : la perception de l'intensité sonore à l'origine du masquage temporel, la perception de la hauteur tonale à l'origine du masquage fréquentiel et la détermination des seuils de durée des stimuli et des espaces qui les séparent.

Systématique de l'auscultation pulmonaire

La nomenclature d'auscultation pulmonaire reconnaît 2 catégories de bruits ventilatoires : les bruits respiratoires et les bruits adventices suivant d'ailleurs la proposition de Laennec. Mais c'est au sein même de ces 2 catégories que les appellations doivent évoluer et qu'un consensus devrait s'établir.

Les *bruits respiratoires* comprennent les bruits respiratoires normaux (en anglais *Normal Breath Sounds*) et les bruits respiratoires bronchiques (*Bronchial Breath Sounds*), ce sont le murmure vésiculaire et le souffle tubaire de l'ancienne nomenclature.

Les *bruits adventices* comprennent les *craquements* (*crackles*) et les *sibilances* (*wheezes*). Craquements et sibilances sont les rôles de l'ancienne nomenclature. Le terme « craquement » a été proposé par un membre de notre groupe (EL) pour traduire le terme *crackle* des Anglo-Saxons. [13] Le *tableau I* présente la classification physico-acoustique des termes de la nomenclature d'auscultation pulmonaire en fonction du type de signal acoustique et en tenant compte des interférences possibles de la psycho-acoustique. Le *tableau II* présente la nomenclature qui pourrait être adoptée, non seulement dans le monde francophone mais traduite également à l'usage des autres pays, à partir des définitions physico-acoustiques et psycho-acoustiques des bruits respiratoires.

TABLEAU II. — *Nomenclature stéthacoustique pulmonaire : correspondance entre les termes habituels et la terminologie proposée.*

A. Bruits respiratoires	A. Bruits respiratoires*
Murmure vésiculaire	Bruit respiratoire normal
Bruit laryngotrachéobronchique ou intermédiaire (régions centrales)	
Souffle tubaire	
Respiration puérile	Bruit respiratoire bronchique
Respiration bronchovésiculaire	
B. Bruits adventices	B. Bruits adventices
Gros crépitements	Craquements**
Sous-crépitements	
Crépitements fins	
Sifflements, sibilants, sibilances	Sibilances***
Rhonchus	

* Timbre, amplitude ; ** timbre, situation dans le cycle respiratoire, position-dépendance, nombre, kinésie-dépendance ; *** Taux, complexité (mono-, polyphonique), fréquence (Hz), position-dépendance, amplitude.

BRUITS RESPIRATOIRES : BRUITS RESPIRATOIRES NORMAUX ET BRONCHIQUES

La définition physico-acoustique des bruits respiratoires normaux et bronchiques est confirmée par la phonopneumographie temporelle (fig. 1Aa) : les bruits respiratoires normaux et bronchiques entrent dans la catégorie des vibrations apériodiques continues (tableau I). Leur phonopneumographie spectrale montre que la bande de fréquence des bruits respiratoires s'inscrit dans une plage n'excédant pas 800 ou 1 000 Hz, la plage la plus riche se situant sous 500 Hz (fig. 1B). Le contenu spectral des bruits respiratoires varie en fonction de l'âge du sujet et de la structure pulmonaire. Chez un même sujet, le spectre est relativement stable dans le temps. Bruits respiratoires normaux et bruits respiratoires bronchiques diffèrent donc essentiellement par leur contenu spectral ou timbre (fig. 2).

Définitions psycho-acoustiques des bruits respiratoires normaux et bronchiques : le bruit respiratoire normal est un bruit de timbre sombre (à dominante fréquentielle basse). Le bruit respiratoire bronchique est un bruit de timbre plus clair (à dominante fréquentielle plus élevée) que le bruit respiratoire normal. Bruits respiratoires normaux et bruits respiratoires bronchiques ont, semble-t-il, la

même origine (genèse-phénomène exciteur), seule leur transmission (phénomène résonateur) au travers de milieux différents (poumon aéré et poumon densifié) fait différer leur timbre au lieu d'écoute. Le timbre des bruits respiratoires normaux subit une évolution parallèle à la croissance. [14] Le spectre des bruits respiratoires de l'enfant en dessous de 2 ans s'étend jusqu'à 600-700 Hz [8]. Les bruits respiratoires normaux des prématurés et des nouveau-nés à terme présentent un spectre très large qui s'étend jusqu'à des valeurs de 1 000 Hz et plus avec relativement peu de basses fréquences. On dit que le bruit respiratoire normal des tout-petits est à caractère bronchique (tableau III). Parallèlement à la croissance, le spectre des bruits respiratoires acquiert un caractère plus sombre. Cette évolution est sensible de 0 à 12 ans. Mais c'est surtout à partir de 2 ans que la composition spectrale du bruit respiratoire normal de l'enfant s'appauvrit des hautes vers de plus basses fréquences. Chez l'adolescent et l'adulte, le spectre des bruits respiratoires normaux est surtout compris entre 100 et 300 Hz, avec un maximum voisin de 250 Hz chez l'adulte. Outre les bruits respiratoires normaux et les bruits respiratoires bronchiques, on observe quelques variantes en fonction de leur lieu de captation :

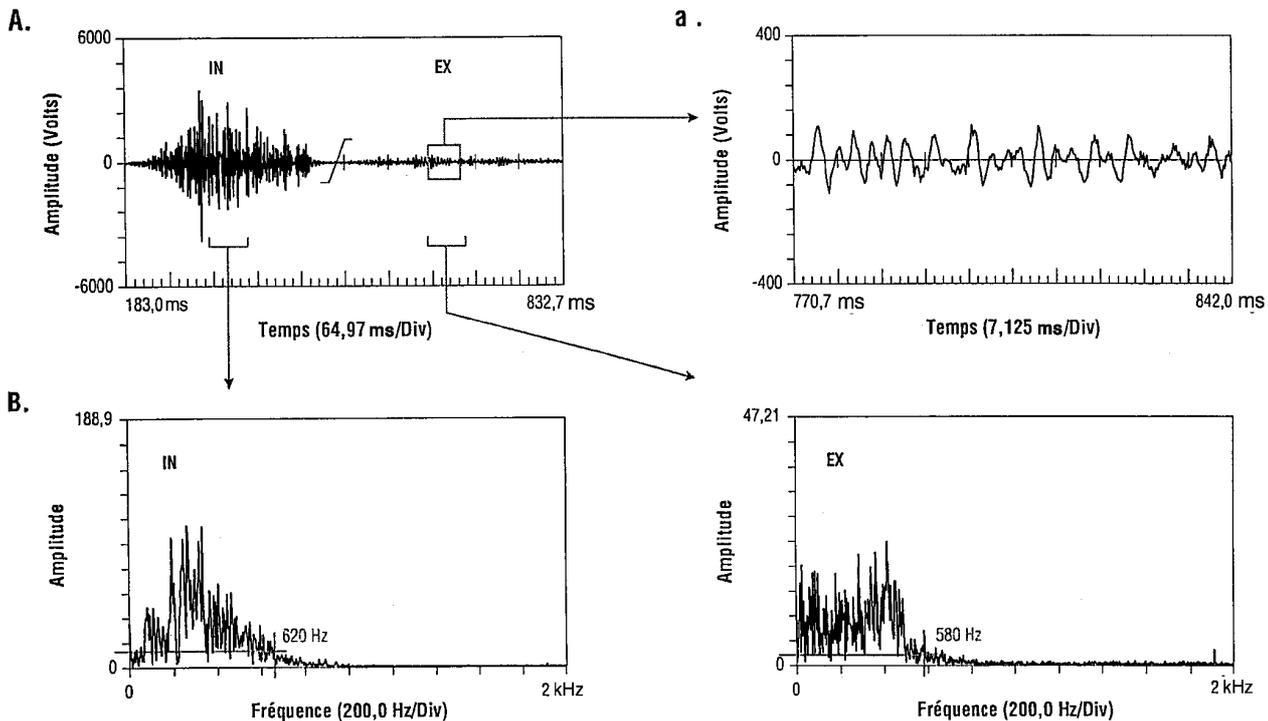


FIG. 1. — Phonopneumographies temporelles et spectrales du bruit respiratoire normal d'un nourrisson de 2,5 mois. A. La phonopneumographie temporelle du bruit respiratoire inscrit une vibration apériodique continue: l'étalement de l'onde en a montre son caractère apériodique continu. B. Les phonopneumographies spectrales des échantillons prélevés dans l'inspiration (IN) et l'expiration (EX) révèlent un spectre dont la bande passante (Fw10%) s'étend jusqu'à 620 Hz en inspiration (IN) et jusqu'à 580 Hz en expiration (EX). Le spectre expiratoire adopte une forme de «bruit blanc». (D'après G. Postiaux [8].)

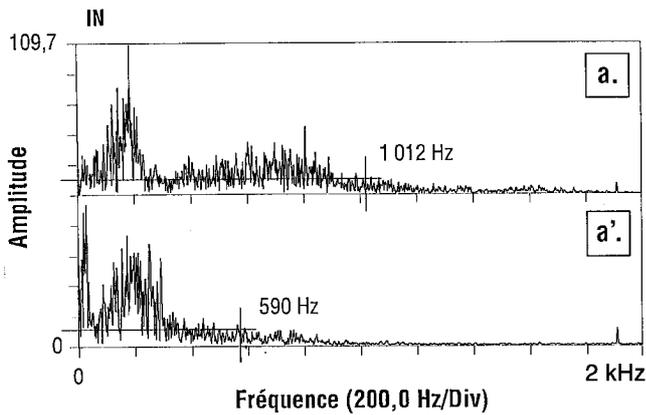


FIG. 2. — Phonopneumographies spectrales comparées du bruit respiratoire normal et du bruit respiratoire bronchique chez un enfant de 5 ans souffrant d'une pneumopathie du lobe inférieur gauche. IN : spectres inspiratoires : a. poumon densifié, a' poumon normal. (Les bruits expiratoires affichent les mêmes différences spectrales, non représentées sur la figure.) (D'après G. Postiaux [8].)

TABLEAU III. — Caractéristiques des bruits respiratoires du petit enfant (nourrisson).

Caractéristiques	Causes
Bruit respiratoire normal à caractère bronchique (timbre clair)	Petites dimension du thorax Distance du stéthoscope au lieu de genèse Densité et nombre des alvéoles Genèse plus distale (?)
Sibilances	
Limite inférieure = 30 ms	Fréquence respiratoire élevée Irrégularité du volume courant
Position-dépendance non exploitable	Petite dimension du thorax
Craquements	
Position-dépendance non exploitable	Petite dimension du thorax
Situation dans les phases du cycle respiratoire non exploitable	Fréquence respiratoire élevée Irrégularité du volume courant
Craquements téléphasiques inspiratoires pas systématiquement perçus	Faible amplitude du volume courant

ainsi lorsque l'on pose le stéthoscope sur le cou, on perçoit le bruit respiratoire trachéal qui n'est autre que la perception du bruit respiratoire normal à sa source, c'est-à-dire au niveau des voies respiratoires proximales où il est principalement généré. Le bruit capté au niveau des régions thoraciques antéro-supérieures (sous-claviculaires)

ou postéro-supérieures (scapulaires) possède également un caractère bronchique parce qu'il est perçu dans les aires de projection des gros troncs bronchiques où le bruit respiratoire normal est produit. Il est alors qualifié de bruit respiratoire intermédiaire. Le terme broncho-vésiculaire lui était auparavant appliqué, mais on reconnaît aujourd'hui le caractère impropre du mot vésiculaire pour les bruits respiratoires ainsi que le terme « murmure vésiculaire ». Au niveau des bronchioles et des alvéoles, où le flux est soit laminaire soit quasi inexistant, l'absence de turbulences s'oppose à la production d'un bruit [15]. Donc les alvéoles jouent un rôle non pas d'excitateur mais de *résonateur* dans la composition du bruit respiratoire capté à la paroi thoracique. On qualifie également le bruit respiratoire normal en terme d'amplitude ou d'intensité lorsque l'on compare des régions thoraciques homologues opposées.

Les termes « bruit respiratoire normal » et « bruit respiratoire bronchique » sont scientifiquement neutres et doivent être préférés comme le recommande d'ailleurs Forgacs [16] et comme l'a retenu l'ATS [6].

BRUITS ADVENTICES : CRAQUEMENTS ET SIBILANCES

Craquements

- Définition physico-acoustique des craquements

Les craquements correspondent à des vibrations apériodiques impulsionnelles comme le confirme leur inscription en phonopneumographie temporelle (fig. 3, tableau 1). Le craquement se démarque par son amplitude du bruit de fond respiratoire. La reconnaissance d'un craquement se fonde sur 3 critères : l'amplitude du craquement doit être au moins double de celle du bruit respiratoire environnant ; les ondes composant le craquement doivent afficher une élévation progressive ; le craquement doit contenir au moins deux cycles complets. La phonopneumographie temporelle peut être affinée pour permettre l'observation détaillée par l'agrandissement d'un craquement. Chaque craquement peut ainsi être isolé, sa durée totale mesurée ainsi que celles des parties d'ondes qui le composent [17]. D'après nos propres mesures, la durée totale d'un craquement n'excède pas 30 ms relativement à sa catégorie fréquentielle : les craquements de basse fréquence relative ont des durées comprises entre 15 et 30 ms, les craquements de moyenne fréquence relative ont des durées comprises entre 8 et 15 msec, les craquements de haute fréquence relative ont des durées inférieures à 8 ms. On retrouve ces 3 catégories de craquements dans la durée moyenne des parties d'ondes qui les composent [18]. Ces formes régulières ne sont pas retrouvées de manière constante dans chaque craquement. Il peut être difficile de les identifier en raison de leur nombre qui les fait se superposer, certains sont de forme irrégulière ou interrompue, ou d'amplitude insuffisante pour être identifiés. Il faut admettre que

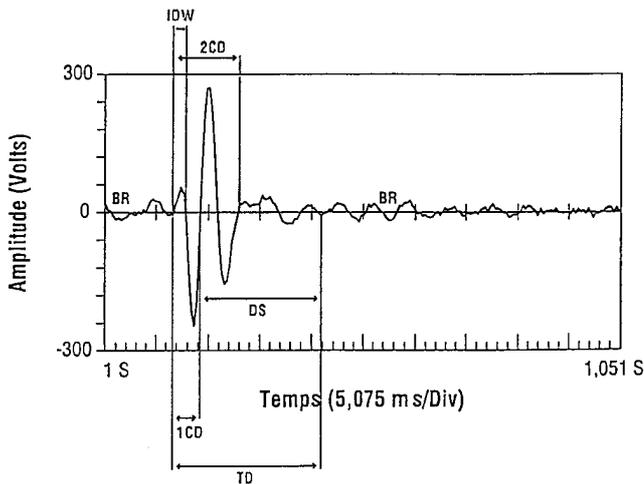


FIG. 3. — Phonopneumographie temporelle du craquement. Le craquement est un accident acoustique impulsif bref, transitoire, qui se démarque du bruit de fond respiratoire par son amplitude. L'onde étalée du craquement laisse apparaître plusieurs segments qui peuvent servir à les individualiser. Un craquement débute par une déflexion initiale abrupte qui le distingue du bruit respiratoire. A ce premier changement de stationnarité du signal succèdent une série d'ondes.

1) La largeur de la déflexion initiale désignée par l'abréviation internationale IDW (*initial deflection width*). C'est l'intervalle compris entre le 1^{er} et le 2^e croisement de la ligne de base. Cette déflexion abrupte peut être négative ou positive. On a décrit la polarité de la première demi-onde comme négative si le craquement est situé en inspiration, positive s'il est situé en expiration. Cette caractéristique n'est pas retrouvée de manière systématique dans nos mesures. 2) La durée du 1^{er} cycle complet, c'est-à-dire de la somme des deux premières demi-ondes après le croisement de la ligne de base par l'onde. Elle est désignée par l'abréviation 1CD (*first cycle duration*). On peut le considérer comme le segment d'attaque du craquement. 3) La durée des deux 1^{ers} cycles complets : 2CD (*two cycles duration*), somme des intervalles compris entre les 4 premiers passages par la ligne de base. 4) La durée du segment d'amortissement : DS (*Decay segment*) correspond à l'ensemble des ondes qui suit 1CD. Son atténuation est exponentielle. 5) On décrit également les intervalles les plus larges entre 2, 3, 4, 5 passages par la ligne de base (ligne zéro). Ils sont désignés par les abréviations LDW 1, 2, 3, 4. 6) TD (*total duration*) désigne la durée totale des ondes composant le craquement. En ordonnée l'amplitude, en abscisse le temps. (D'après J. Hoovers *et coll.* [17].)

plus ou moins 10 % des craquements échappent à toute classification (Murphy RL, communication personnelle).

• La phonopneumographie spectrale confirme les catégories temporelles. L'ATS classe les craquements pulmonaires en deux catégories : de haute ou de basse fréquence hertzienne (*high pitched, low pitched crackles*). En fait, les travaux de notre groupe reconnaissent 3 catégories de craquements ainsi que le présentait déjà Robertson, confirmées par nos analyses temporelles et spectrales (*fig. 4*) [8].

1) Les craquements de basse fréquence relative le plus souvent *protophasiques* inspiratoires (*fig. 4a*), de bande passante étroite.

2) Les craquements de moyenne fréquence relative le plus souvent *mésophasiques* inspiratoires (*fig. 4b*), de bande passante plus large que les précédents.

3) Les craquements de haute fréquence relative : quasiment toujours *téléphasiques* inspiratoires (*fig. 4c*), qui présentent la bande passante la plus large. Plus le craquement est de durée brève, plus son spectre s'étend vers de plus hautes fréquences.

• Définition psycho-acoustique des craquements

Les analyses qui précèdent permettent de proposer la définition suivante du craquement pulmonaire : la dénomination générique de *craquement* regroupe tous les bruits adventices *discontinus*. Cette définition concerne des accidents acoustiques impulsifs et brefs, d'une durée inférieure à 30 ms qui se démarquent des bruits respiratoires.

• Psycho-acoustique et craquements

Il existe quelques difficultés psycho-acoustiques liées à la reconnaissance du timbre des craquements pulmonaires. La reconnaissance du contenu fréquentiel du craquement est leur principal caractère discriminant. Or la durée d'un craquement pulmonaire est inférieure à 30 ms, seuil de durée sous lequel l'oreille humaine peut difficilement qualifier avec précision le timbre de ce stimulus très bref. Cette reconnaissance est d'autant plus difficile en dessous de 500 Hz. D'où vient que nous parvenons cependant à distinguer les 3 catégories de craquements en terme de contenu fréquentiel alors que leur durée n'excède pas 30 ms ?

Deux phénomènes semblent se conjuguer pour résoudre ce problème psycho-acoustique.

1) La sommation des stimuli. Nous nous heurtons ici à une 1^{re} difficulté psycho-acoustique liée à la détermination des seuils de durée des stimuli et des espaces les séparant. Le pouvoir séparateur temporel de l'oreille humaine, ou temps d'intégration, ou encore seuil de durée interstimuli, se situe entre 50 et 25 ms voire 10 ms chez le sujet entraîné, intervalle de temps nécessaire pour que 2 stimuli soient perçus comme successifs et non simultanés [19, 20]. En dessous de ce seuil, l'oreille fusionne les stimuli. La plupart du temps, les signaux acoustiques présentent des formes temporelles très fines : les transitoires ou stimuli impulsifs qui parfois ne dépassent pas quelques millisecondes. C'est le cas des craquements dont la durée est inférieure à 30 ms. Une forme temporelle aussi ténue est traitée et saisie en fonction de la constante de temps du système auditif. Par exemple, si la constante de temps est de 10 ms, le système auditif quantifiera le message en tranches de 10 msec à l'intérieur desquelles il procédera

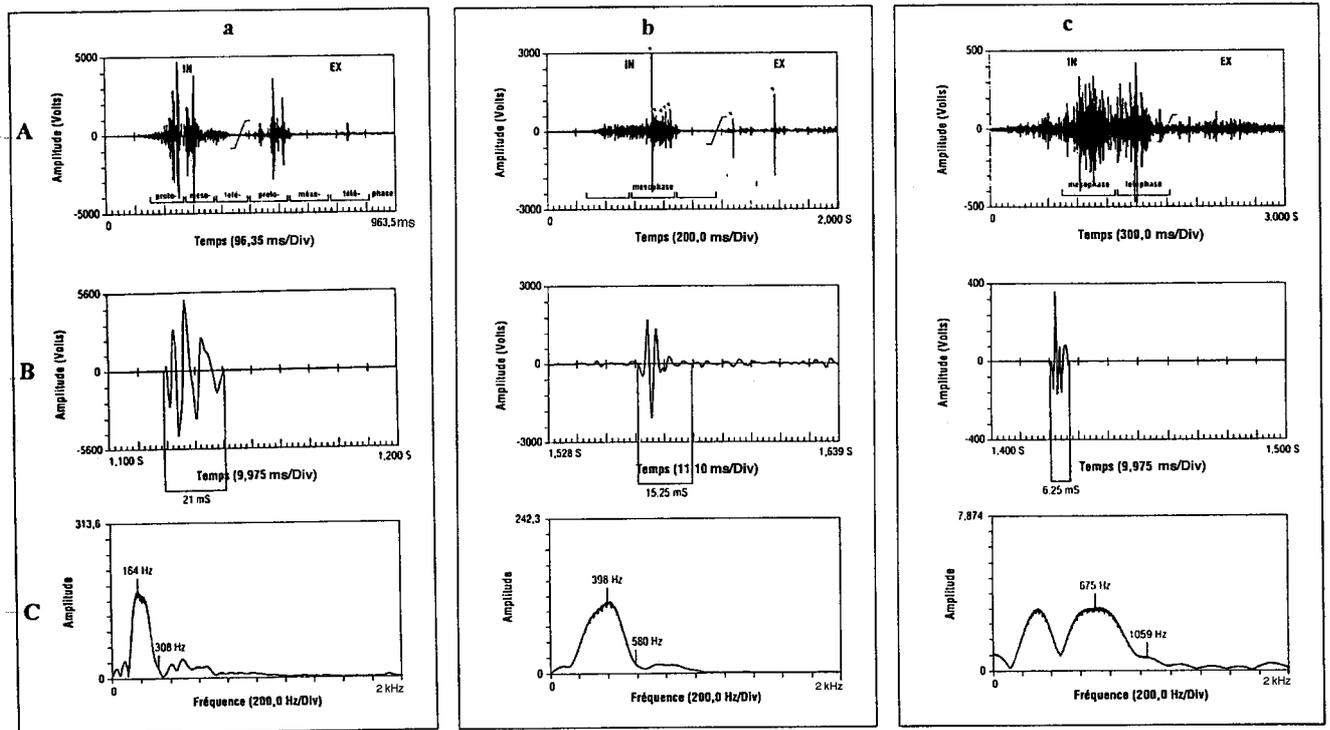


FIG. 4. — Analyse acoustique des craquements.

A. Phonopneumographies temporelles objectivant la situation des craquements dans les phases du cycle respiratoire.

a. Phonopneumogramme temporel d'un cycle respiratoire complet où s'inscrivent des craquements proto- et mésophasiques inspiratoires (IN). Quelques craquements sont retrouvés durant l'expiration (EX). Dans cet exemple, les craquements protophasiques ont des durées comprises entre 15 et 25 ms,

b. Phonopneumogramme temporel d'un cycle respiratoire complet où s'inscrivent des craquements mésophasiques inspiratoires dont les durées sont comprises entre 8 et 15 ms. Quelques craquements sont retrouvés durant l'expiration.

c. Phonopneumogramme temporel d'un cycle respiratoire complet où s'inscrivent des craquements mésophasiques et téléphasiques inspiratoires. Ces derniers ont des durées inférieures à 8 ms.

B. Phonopneumographies temporelles des ondes étalées de 3 craquements proto- (en a), méso- (en b) et téléphasique (en c) inspiratoires isolés du bruit respiratoire. Plus le phénomène impulsif est bref, plus il est de haute fréquence relative. Les durées moyennes respectives des craquements des 3 exemples présentés en A, a, b, et c sont de 20,75, 9,75 et 6,25 ms.

C. Phonopneumographies spectrales des 3 catégories de craquements.

Les craquements peuvent être classés selon leur composition spectrale-timbre suivant qu'ils sont de basse (BF) (en a), de moyenne (MF) (en b) ou de haute (HF) (en c) fréquence hertzienne, c'est-à-dire de bande passante de plus en plus large des basses vers les plus hautes fréquences du spectre acoustique dans une plage fréquentielle ne dépassant habituellement pas 1 500 Hz.

Les pics fréquentiels (Fp) des trois exemples en C, a, b, c. sont respectivement de 308 Hz, 580 Hz et 1 059 Hz. (D'après G. Postiaux [8].)

par intégration, ce qui se passe vraisemblablement lorsque les craquements sont nombreux et rapprochés. La reconnaissance du timbre d'autres signaux brefs telles les courtes sibilances de haute et basse fréquence (*squeaks* et *squawks* des Anglo-Saxons) relève du même phénomène. Ces bruits sont parfois perçus comme des craquements, alors qu'il s'agit d'ondes sinusoïdales très brèves, d'une durée voisine de 30 ou 50 ms. Sur base de nos analyses, notre groupe a d'ailleurs choisi ce seuil de 30 ms comme seuil-limite différenciant les craquements et les sibilances. Ce choix fondé sur la mesure objective des durées des cra-

quements et des sibilances nous oblige donc à reconsidérer la définition de l'ATS de la sibilance fondée sur une durée minimale de 250 ms et même de 80 ms comme proposé récemment ! [7]. La différence entre craquements et sibilances ne réside pas seulement dans leur durée mais aussi et surtout dans la morphologie de l'onde elle-même. Le pouvoir séparateur temporel intervient aussi dans la perception des ronflements ou de la sibilance expiratoire de basse fréquence (« rhonchus ») qui affiche une succession d'ondes périodiques complexes perçue et à considérer comme un son continu [21].

2) La participation du tissu pulmonaire comme résonateur spécifique. Outre la sommation des stimuli décrite plus haut, il existe d'après nous une seconde explication étayée par nos propres mesures : le tissu pulmonaire dans lequel le craquement est généré participe en tant que résonateur spécifique et confère au craquement sa sonorité propre. En effet, lorsque l'on compare le contenu fréquentiel des craquements et de leurs divers composants au bruit respiratoire qui les précède ou les suit, on constate qu'ils ont des caractéristiques similaires [18]. Cette analogie se retrouve dans les 3 catégories de craquements. Autrement dit, ce sont surtout les caractéristiques structurales du tissu pulmonaire environnant qui confèrent au craquement son timbre particulier. On pourrait dire que « le craquement résonne selon les qualités du tissu pulmonaire lui-même ». Le craquement est le phénomène exciteur qui se démarque au sein du résonateur. Le résonateur pulmonaire s'exprime donc d'une part dans l'onde de décroissance du craquement (*DS-decay segment, fig. 3*) et d'autre part dans la qualité du bruit respiratoire lui-même qui « environne » ce craquement. Par conséquent, les analyses temporelles et fréquentielles des craquements individualisent bien 3 catégories de phénomènes : basse, moyenne et haute fréquence relative, mais ce qui différencie le mieux ces 3 catégories en termes de psycho-acoustique est en fait la qualité du tissu pulmonaire environnant qui, plus que le craquement, imprime son timbre propre au bref événement acoustique considéré.

Le masquage temporel est un autre phénomène psycho-acoustique lié à la perception de l'intensité sonore. On constate que certains bruits atténuent d'autres bruits en raison de leur proximité temporelle. On distingue les masquages simultanés, proactif et rétroactif suivant que le signal masquant l'autre lui est simultané ou survient avant ou après le signal masqué. Pour que les masquages proactif et rétroactif s'exercent, l'intervalle temporel entre masquant et masqué doit généralement être inférieur à 100 ms. Lorsque la fréquence respiratoire est élevée comme chez le nourrisson, des bruits adventices de natures différentes, craquements ou sibilances, peuvent se masquer proactivement ou rétroactivement les uns les autres. Un autre masquage fréquent est l'absence de perception d'un ou de plusieurs craquements survenant immédiatement après une sibilance courte ou longue. L'intensité de la sibilance masque la perception d'accidents acoustiques plus faibles qui la suivent. Les bruits dits transmis sont le plus souvent des craquements de basse fréquence produits par l'air traversant les sécrétions naso-pharyngées au rythme de la ventilation (bullage). Ces bruits de basse fréquence perturbent l'auscultation thoracique par effet de masquage simultané ou proactif.

• Paramètres des craquements

En pratique 5 paramètres essentiels devraient être retenus : le timbre, résultant de la composition spectrale, la situation dans les phases du cycle respiratoire, la position-dépendance, la kinésie-dépendance, le nombre de craquements.

1) La composition spectrale ou timbre du craquement : de basse, moyenne ou haute fréquence relative.

2) La situation des craquements dans les phases du cycle respiratoire. Pour désigner le moment d'apparition des craquements dans la phase inspiratoire, la terminologie proto-, méso-, télé-, et holophasique devrait être employée pour situer les craquements respectivement dans le 1^{er}, le 2^e ou le 3^e tiers de la phase inspiratoire et expiratoire, ou encore dans toute la phase. Ainsi, Nath différencie les craquements inspiratoires (*timing*) en « *early, mid and late inspiratory crackles* » [22]. Afin d'éviter la confusion de *early* et *late* qui pourraient désigner le stade « précoce » et « tardif » de la maladie plutôt que la localisation du bruit dans le cycle respiratoire, nous proposons en 1985 une traduction qui permet de localiser le craquement de manière précise en qualifiant de proto-, méso-, télé-, holophasique, termes plus universels et étymologiquement fondés [13]. On pourra alors sans confusion dire par exemple : « craquements téléphasiques inspiratoires (dans le cycle respiratoire) précoces ou tardifs (dans l'évolution de la maladie) ». Les craquements de basse fréquence sont en général de situation aléatoire ou protophasiques dans les phases du cycle respiratoire, les craquements de moyenne fréquence sont le plus souvent situés en méso-phase inspiratoire, les craquements de haute fréquence sont quasiment toujours situés en téléphase inspiratoire ou en protophasique expiratoire. Le paramètre de situation dans les phases du cycle respiratoire est plus difficile à apprécier chez le tout petit enfant en raison de sa fréquence ventilatoire élevée et de l'irrégularité de son volume courant (*tableau III*). Ce paramètre concerne donc surtout le grand enfant, l'adolescent et l'adulte.

3) La position-dépendance des craquements. Lorsque l'écoute des craquements s'avère influencée (apparition-atténuation-disparition) par les positions du corps, notamment au niveau des régions supra et infralatérales du thorax en décubitus latéral, les craquements peuvent être qualifiés de position-dépendants. L'auscultation infralatérale (auscultation du poumon du dessous en décubitus latéral) est la dernière situation qui permet de déceler ces bruits adventices [23, 24]. Le paramètre de position-dépendance ne concerne pas le nourrisson.

4) Le nombre de craquements. Encore appelé densité ou quantité des craquements, le nombre de craquements ne peut être évalué que de manière approximative avec le stéthoscope ; il témoigne de l'importance de l'atteinte.

5) La kinésie-dépendance des craquements. Lorsque les craquements varient (apparition-atténuation-disparition) avec la toux et avec des manœuvres respiratoires profondes, ils peuvent être qualifiés de « kinésie-dépendants ».

En synthèse : les cinq paramètres des craquements sont interdépendants, leur convergence ou divergence aide à identifier le type de craquements de manière précise.

Sibilances

• Définition physico-acoustique des sibilances

Les sibilances sont des vibrations périodiques simples ou complexes comme le confirme leur inscription phonopneumographique temporelle (tableau I, fig. 5AB). La vibration périodique correspondant à la sibilance elle-même paraît parfois amorcée par une oscillation qui la pré-

cède immédiatement et qui est de moindre amplitude que le phénomène principal. Cette « attaque » ou « amorce » est souvent très brève, de l'ordre de quelques millisecondes, mais peut parfois nettement se différencier du phénomène vibratoire (voir *infra* fig. 7).

La phonopneumographie spectrale des sibilances, comme pour tous les phénomènes vibratoires simples ou complexes, montre un spectre qui se distingue nettement de celui des bruits respiratoires ou des craquements par l'apparition d'un ou de plusieurs niveaux abrupts de puissance (fig. 5A'B') [25]. Lorsque la sibilance se présente sous la forme d'une vibration périodique simple, l'analyse fréquentielle fait apparaître un spectre monomodal. Lorsque la sibilance se présente sous la forme d'une vibration périodique complexe, l'analyse fréquentielle fait apparaître un spectre plurimodal. La fréquence hertzienne des

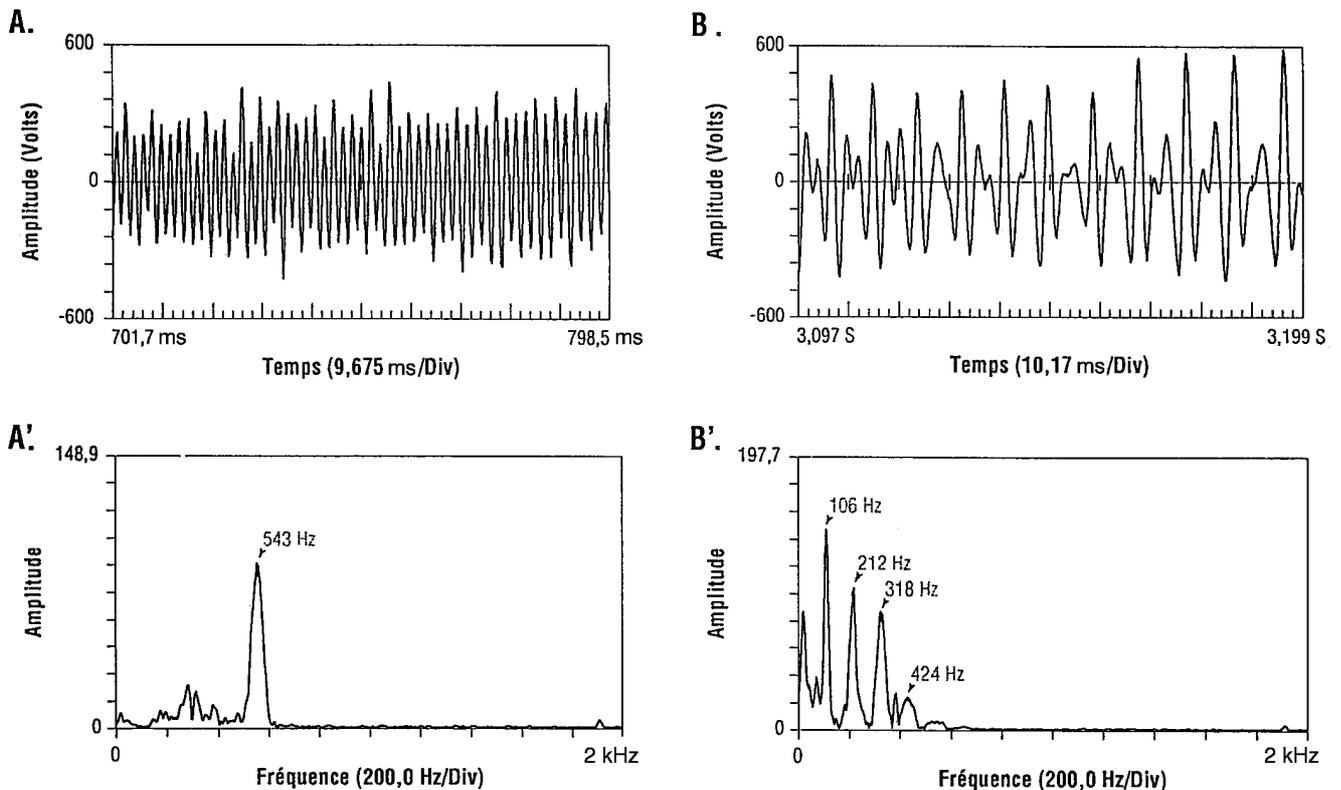


FIG. 5. — Analyse acoustique des sibilances.

A. Vibration périodique simple correspondant à une sibilance monophonique dont le spectre est monomodal (A.). Sa forme s'apparente à celle d'une onde sinusoïdale simple.

A. La fréquence de pic (F_p) de cette sibilance est de 543 Hz.

B. Vibration périodique complexe correspondant à des sibilances polyphoniques dont le spectre est plurimodal (B.). Sa forme s'apparente à celle de plusieurs ondes sinusoïdales superposées ou à une onde périodique (répétitive) non sinusoïdale.

B. L'analyse fréquentielle révèle plusieurs pics de fréquences (F_p) à 106, 212, 318, 424 Hz correspondant aux fréquences des ondes sinusoïdales contenues dans la vibration complexe. La fréquence de 106 Hz peut être considérée comme le fondamental, 212, 318 et 446 Hz comme des multiples du fondamental appelés harmoniques : $F_1 = 106$, $F_2 = F_1 \times 2 = 212$, $F_3 = F_1 \times 3 = 318$, $F_4 = F_1 \times 4 = 424$... (D'après G. Postiaux [8].)

sibilances dépasse rarement 1 000 Hz. Elle est le plus souvent comprise entre 100 et 500 Hz.

- Définition psycho-acoustique des sibilances

Les analyses qui précèdent permettent de proposer la définition suivante des sibilances : les sibilances sont des bruits continus (ou sons), de tonalité musicale, dont la durée minimale peut être fixée à 30 msec (l'ATS la fixait à 250 msec). Du point de vue psycho-acoustique, on distingue la sibilance monophonique lorsque le spectre est monomodal, et les sibilances polyphoniques lorsque le spectre est plurimodal.

Une sibilance est dite monophonique lorsqu'elle peut être distinguée et isolée parmi d'autres sibilances en un même point d'écoute. [26]. Les sibilances monophoniques ne se superposent pas dans le temps. Parmi les monophoniques, et en référence à P. Forgacs, on distingue des sibilances fixes inspiratoires et expiratoires, des sibilances dispersées c'est-à-dire distribuées de manière désordonnée donnant le change pour une multiplicité des sibilances, des sibilances séquentielles, c'est-à-dire se suivant l'une l'autre en partant des fréquences basses pour aboutir aux plus hautes fréquences depuis la mésophase jusqu'à la téléphase. Dans ce cas, les sibilances sont souvent brèves (de 30 à 50 ms).

On parle de sibilances polyphoniques lorsque des sibilances de tonalités différentes sont entendues simultanément au même point d'écoute. Les sibilances polyphoniques se superposent dans le temps. D'un point de vue temporel, la vibration périodique complexe est la superposition de plusieurs vibrations périodiques simples (principe de Fourier) (*fig. 5B*) et le spectre est plurimodal (*fig. 5B'*). Au sens strict de l'analyse acoustique et de sa définition même, la notion de polyphonie implique donc celle de simultanéité dans le temps, c'est-à-dire de superposition dans le temps de plusieurs signaux fréquentiels différents.

- Psycho-acoustique et identification des sibilances

Nous croyons qu'en terme de psycho-acoustique pulmonaire, il convient d'élargir la notion de polyphonie à d'autres phénomènes et notamment à la perception d'événements successifs rapprochés non nécessairement simultanés. Ici intervient une autre difficulté d'ordre psycho-acoustique liée à la perception de la hauteur tonale ou de masquage fréquentiel. La hauteur tonale se définit comme le caractère de la sensation auditive lié à la fréquence d'un son périodique, qui fait dire que le son est aigu ou grave selon que cette fréquence est plus ou moins élevée. Il s'agit en fait de rechercher la plus petite différence de fréquence que doivent présenter 2 sons purs, stables et successifs pour que ces sons soient juste discriminés. Il semble que l'intervalle de silence entre les 2 sons n'est pas critique tant qu'il est compris entre 100 et 1 000 ms. Cela s'applique notamment à la perception des fréquences

séquentielles ou simultanées des sibilances qui sont des sons périodiques, ou encore à la différentiation entre sibilances monophoniques et polyphoniques. Cette notion nous amène à distinguer la polyphonie vraie de ce qu'il conviendrait d'appeler de la pseudo-polyphonie, lorsque des sibilances peuvent faussement être perçues comme simultanées. La notion générale de polyphonie peut donc ainsi revêtir plusieurs réalités temporelles et spectrales (*tableau IV*), en relation avec la perception auditive. Selon nos analyses, les phénomènes pseudo-polyphoniques que nous avons observés relèvent de 4 mécanismes :

1) La fusion des stimuli (*tableau IV, 1°*) qui survient lorsque se succèdent de façon très rapprochée de courtes sibilances de même tonalité ou de tonalités différentes ; l'intervalle de temps nécessaire pour que les stimuli soient perçus comme successifs est insuffisant et les stimuli fusionnent. Comme pour les craquements, l'oreille opère une sommation de sibilances monophoniques brèves successives, donnant l'impression de sibilances polyphoniques.

2° La modulation d'amplitude (*tableau IV, 2°*) : plusieurs sibilances courtes de même tonalité mais d'amplitudes différentes se succèdent. Il peut également s'agir d'une seule sibilance variant elle-même en amplitude. Ce phénomène s'ajoute le plus souvent au premier.

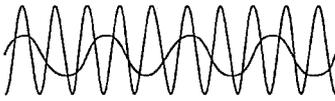
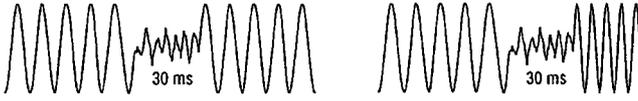
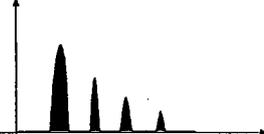
3) La modulation de fréquence (*tableau IV, 3°*) : des sibilances courtes d'une durée voisine de 50 ms, de même amplitude mais cette fois de tonalités différentes, se succèdent. L'oreille perçoit les fréquences comme simultanées par un effet de rémanence, la durée courte de chaque sibilance ne permettant pas la distinction temporelle des événements. Ce phénomène est essentiellement lié à la durée de la sibilance. Au-delà de 50 ms et certainement de 100 ms, les sibilances de fréquences différentes qui se succèdent sont perçues de manière distincte.

4) Les différentes tonalités impliquées dans la sensation de polyphonie pourraient également provenir du caractère plurimodal d'une seule sibilance émise par un seul conduit bronchique et non de plusieurs sibilances au sens strict de la polyphonie (*tableau IV, 4°*). Cette possibilité est démontrée par l'émission d'un tel type de spectre lors du stridor émis par la source unique que constitue le larynx ou encore lors du rhonchus. Il n'est donc pas exclu qu'une seule bronche émette ce type de signal complexe.

Etant donné ce qui précède, nous proposons de faire évoluer la définition des sibilances :

1) La durée minimale de la sibilance fixée par l'ATS à 250 ms ne tient pas compte du petit enfant et est trop élevée ; nous proposons de fixer la durée minimale des sibilances à 30 ms. En effet la fréquence respiratoire du petit enfant, souvent fort rapide ne permet pas toujours l'émission d'une sibilance de 250 ms et au-delà (*tableau III*).

TABLEAU IV. — Diagnostic différentiel entre polyphonie et pseudo-polyphonie.

LORSQUE L'ON AUSCULTE EN UN SEUL POINT D'ÉCOUTE	
Polyphoniques: ^a	lorsque des sibilances de tonalités différentes sont entendues simultanément (issues de plusieurs bronches).
	
Pseudo-polyphoniques:	1° Succession rapprochée de courtes sibilances (pouvoir séparateur temporel de l'oreille).
	
	2° Modulation d'amplitude.
	
	3° Modulation de fréquence.
	
	4° Caractère plurimodal d'une seule sibilance (issue d'une seule bronche) (cfr. stridor).
	

Nos analyses révèlent au contraire des durées de sibilances très souvent inférieures à cette limite même chez l'adulte.

2) Diverses nomenclatures conservent dans la catégorie des bruits continus l'appellation de rhonchus. Cette liberté sémantique contrevient au but que doit s'assigner la nomenclature moderne qui se veut simplificatrice et strictement fondée sur la physique acoustique. Il convient dès lors de définir le rhonchus des points de vue physico-acoustique et psycho-acoustique (voir *infra*).

3) Pour la même raison nous considérons comme inopportuns les nouveaux termes anglo-saxons de *squeaks* et *squawks* qui ont été proposés pour certaines catégories de sibilances.

• Paramètres des sibilances

Comme pour les craquements, il convient d'attribuer cinq paramètres aux sibilances : le taux de sibilances déduit de leur situation dans le cycle respiratoire, la complexité-monophonique ou polyphonique, la fréquence hertzienne, la position-dépendance et l'intensité.

1) Le taux de sibilances est déduit de leur situation dans le cycle respiratoire. Le taux de sibilances est défini comme la durée des sibilances par rapport à la durée du cycle respiratoire total ou autrement dit le temps respiratoire « occupé » par des sibilances. Il existe une relation significative entre le taux de sibilances ($TW/TOTT\%$ - *time of wheezing/total time*, ou Wh%-pourcentage de sibilances) et le degré d'obstruction bronchique mesuré au moyen de divers paramètres fonctionnels. [27, 28].

2) La complexité, c'est-à-dire le caractère mono- ou polyphonique des sibilances.

3) La fréquence hertzienne des sibilances ou composition fréquentielle qui leur confère leur timbre, leur caractère aigu ou grave. Les analyses spectrales montrent que la plupart des sibilances sont comprises entre 100 et 500 Hz. La sibilance polyphonique expiratoire de basse fréquence (rhonchus) contient les fréquences les plus basses.

4) La position-dépendance des sibilances monophoniques fixes et séquentielles : le décubitus latéral fait apparaître davantage de sibilances au niveau du poumon infra-latéral que la position érigée.

5) L'intensité est un paramètre qui peut s'avérer d'importance lorsque le degré de bronchospasme est tel que l'amplitude des sibilances elles-mêmes ainsi que du bruit respiratoire normal diminue, témoignant de la sévérité de l'obstruction. La diminution d'intensité peut aboutir au silence thoracique complet (*silent chest* des Anglo-Saxons) signe d'obstruction ventilatoire majeure.

Discussion

Au moment où l'on tente de rendre l'auscultation pulmonaire la plus quantifiable possible en rendant ses résultats mesurables et comparables, il nous faut éviter des confusions terminologiques et nous en tenir à une distinction claire et simple entre les termes génériques des bruits adventices « sibilance » (*wheeze*) pour tous les bruits continus et « craquement » (*crackle*) pour tous les bruits discontinus. Ainsi « *crackle* » terme générique anglais des bruits discontinus ne devrait pas être traduit en français « crépitation » ou « crépitement » ou encore « crépitants » qui sont en fait des termes ayant reçu antérieurement des acceptions spécifiques. Dans ces cas, la définition psycho-acoustique a précédé la définition physico-acoustique objective (on peut le comprendre en raison de l'évolution plus tardive des technologies de mesure). D'ailleurs Forgas lui-même insiste pour que l'on ne confonde plus les terminologies générique et spécifique : « *crepitations meaning high-pitched crackling is also superfluous* ». Or les crépitements et les crépitations correspondent en fait à des craquements spécifiquement « fins » (mais que signifie « fins » et « gros » crépitants?). L'erreur de traduction en anglais par Forbes en 1823 du « râle », bruits adventices continus et discontinus de Laennec, par « rhonchus », bruit continu pour les Anglo-Saxons, se répéterait cette fois dans le sens inverse ! Revanche de l'histoire ! Les termes « craquement » et « sibilance » traduits des appellations anglaises *crackle* et *wheeze* sont déjà heureusement repris aujourd'hui dans certains pays francophones (Canada, Belgique) [29]. Si l'usage du mot « sibilance » ne paraît pas poser de problème aux francophones, il existe par contre une certaine réticence à employer le mot « craquement » au profit de crépitation ou sous-crépitation, râles... Avec d'autres, nous pouvons espérer que l'usage du mot craquement s'imposera car il s'agit d'un terme générique qui d'une part n'inclut aucune connotation psycho-acoustique et d'autre part est objectivé par l'analyse temporelle du phénomène. Il suffit dès lors d'en préciser les paramètres pour les caractériser. Il faudra sans doute un certain temps pour que l'usage du mot craquement se généralise, mais cette évolution semble inéluctable en raison du caractère scientifiquement « neutre » de cette appellation générique.

Le rhonchus est classé à juste titre par l'ATS dans la catégorie des bruits continus de basse fréquence. L'appel-

lation rhonchus figure donc en tant que telle dans la plupart des nomenclatures. Ce terme est utilisé pour désigner les bruits les plus variés et confondus avec les craquements de basse fréquence, les craquements pleuraux, les bruits continus contenant une composante « ronflante », le plus souvent une situation clinique en rapport avec des sécrétions, ou des sibilances de basse fréquence. L'analyse acoustique peut résoudre cette imprécision et classer ce bruit à sa juste place. La phonopneumographie temporelle du rhonchus met en évidence une vibration périodique complexe d'une durée relativement longue, pouvant atteindre la seconde (*fig. 6A*). Lors de l'analyse spectrale, le rhonchus se présente sur la plus grande partie de son tracé comme une vibration périodique complexe, son spectre est donc plurimodal (*fig. 6a'*). Il s'agit donc bien d'une sibilance. Les analyses temporelles et spectrales révèlent donc un phénomène périodique complexe de basse fréquence. Il convient à nouveau de s'en tenir ici aux paramètres de l'analyse acoustique et définir le rhonchus comme une longue sibilance polyphonique expiratoire (le plus souvent) de basse fréquence.

Les termes *squeak* et *squawk* sont proposés par les Anglo-Saxons pour désigner les sibilances courtes de haute et basse fréquences relatives de durée inférieure à 125 ou 200 ms selon les auteurs. [30] Les *squeaks* et *squawks* se présentent en mode temporel comme des vibrations périodiques simples, de durée brève voisine de 50 ms ou inférieure (*fig. 71a1*). Leur brièveté rend leur identification difficile à l'oreille au point qu'elles sont parfois confondues avec des craquements, notamment lorsque leur durée avoisine les 30 ms (*fig. 71a1*). La morphologie de l'analyse temporelle correspond indiscutablement à celle des sibilances. La phonopneumographie spectrale des courtes sibilances révèle un spectre acéré, correspondant bien à la forme périodique du signal temporel. Leur pic de fréquence est souvent supérieur à 300 Hz (*fig. 71a1*). Etant donné les analyses qui précèdent, il faut s'en tenir aux paramètres décrits et considérer les *squeaks* et les *squawks* comme de courtes sibilances monophoniques télé-inspiratoires, plus rarement expiratoires, de haute fréquence relative.

La conclusion terminologique qui s'impose est que les termes « murmure vésiculaire, souffle tubaire, crépitements, crépitants, rhonchus, *squeak*, *squawk*, etc. » sont inopportuns et ne devraient plus figurer en tant que tels dans la nomenclature stéthacoustique actuelle.

Conclusion

Les phonopneumographies temporelles et spectrales établissent la systématique de l'auscultation pulmonaire en référence à la classification physico-acoustique des phénomènes vibratoires qui doit précéder la définition psycho-

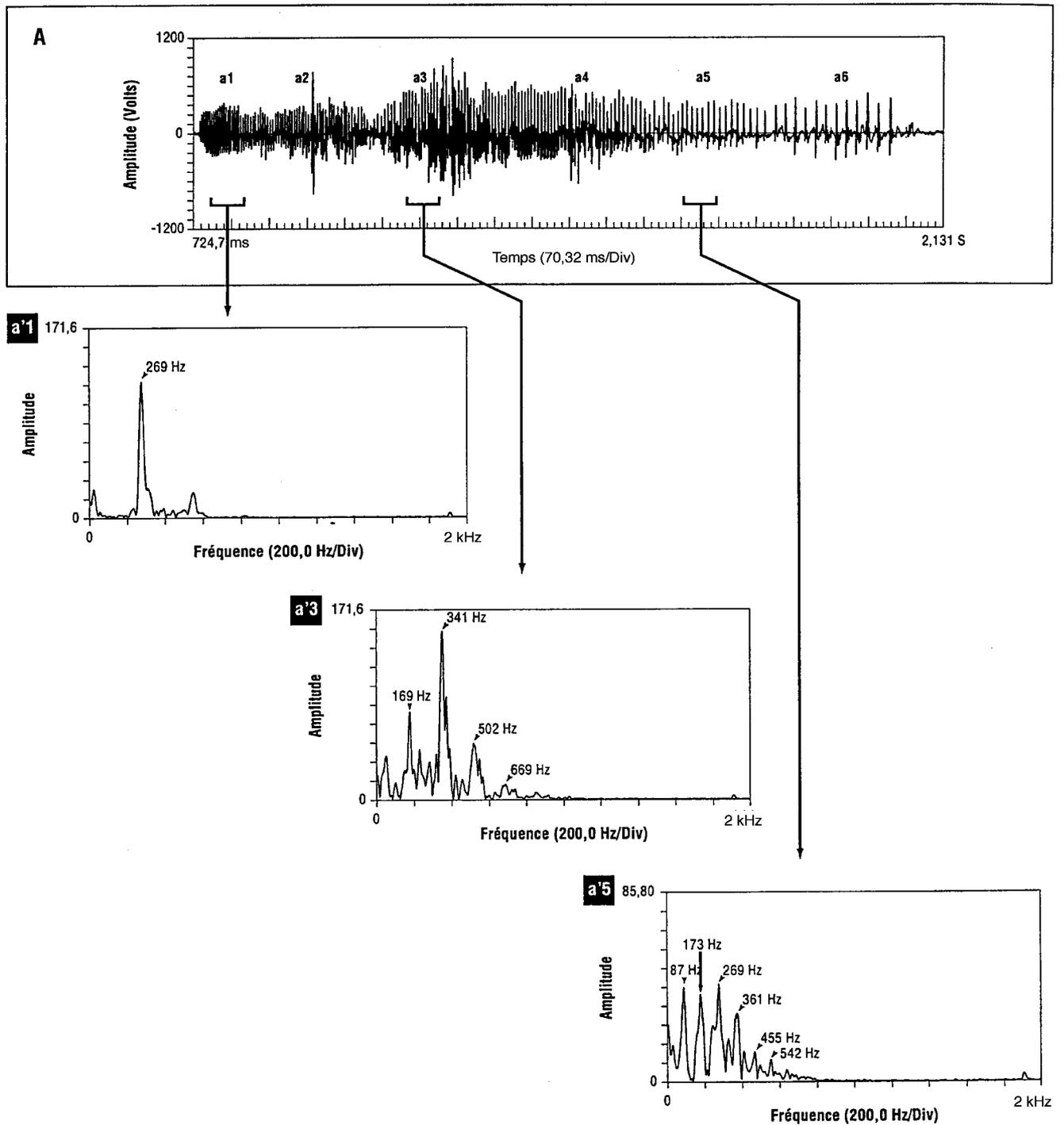


FIG. 6. — Analyse acoustique du rhonchus. La phonopneumographie temporelle (A.) du rhonchus révèle une vibration périodique complexe d'une durée relativement longue, d'1 s 1/2 dans l'exemple. La vibration périodique complexe domine, mais on peut y trouver une portion initiale périodique simple (a1.).

La phonopneumographie spectrale (a.) révèle un spectre acéré, semblable à une sibilance, dont le contenu fréquentiel des composants (a1., a2., a3., a4., a5., a6.) est de plus en plus grave et plurimodal du début vers la fin du phénomène. Dans l'exemple, F_p évolue de 269 Hz (a1.), à 216 (a2. non représenté), 169 (a'3.), 125 (a4. non représenté), 87 (a5.), 54 (a6. non représenté) et 48 (a7. non représenté) Hz.

La phonopneumographie spectrale de l'ensemble du phénomène vibratoire révèle un spectre plurimodal (polyphonique) de basse fréquence ($F_p = 349$ Hz non représenté) (D'après E. Lens *et coll.* [21]).

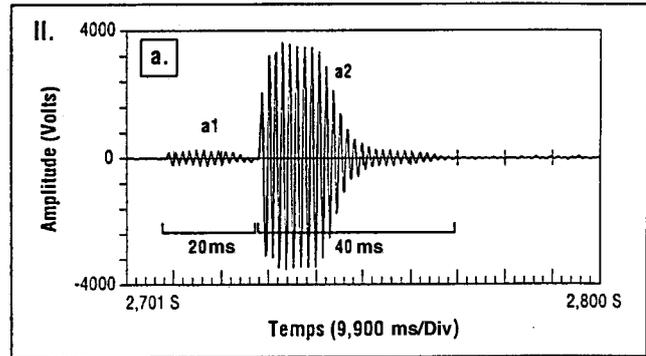
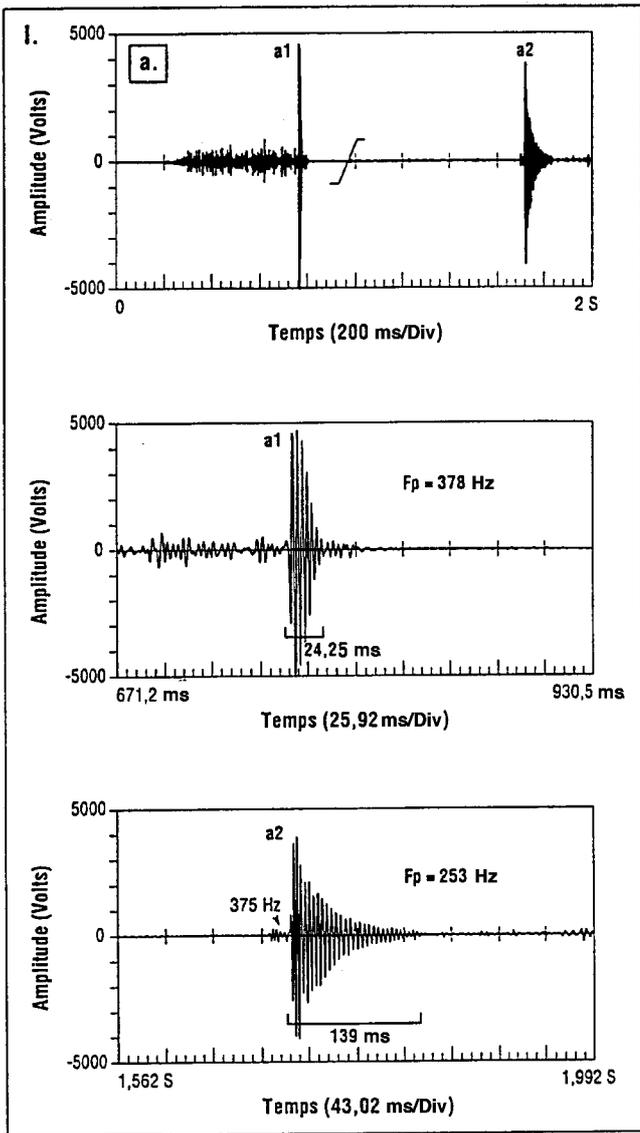


FIG. 7. — Phonopneumographie temporelle des courtes sibilances-*squeaks*, et onde d'attaque

I. a. Cycle respiratoire complet révélant une courte sibilance inspiratoire (*squeak*-a1.), et une sibilance expiratoire (a2.).
 a1. Courte sibilance inspiratoire d'une durée de 24,25 ms (*squeak*), dont F_p est de 378 Hz.
 a2. Sibilance expiratoire d'une durée de 139 ms, de $F_p = 253$ Hz, l'attaque possède une $F_p = 375$ Hz.
 II. Exemple d'une courte sibilance (a.) présentant une attaque (a1.), phénomène vibratoire d'amplitude inférieure à la vibration principale (a2.).
 Durée totale de a. = 60 msec, durée de l'excitateur a1. = 20 msec, durée du résonateur a2. = 40.
 (D'après G.Postiaux [8].)

acoustique des bruits respiratoires. La proposition d'une nouvelle nomenclature est justifiée parce qu'elle se fonde sur des phénomènes physiques mesurables. Des paramètres objectifs permettent actuellement l'emploi de termes universels. En nous fondant sur l'analyse physico-acoustique des phénomènes vibratoires de la ventilation, nous montrons qu'il est possible d'établir une corrélation précise entre le langage physique et la nomenclature stéthacoustique numérisable. Nous proposons de faire progresser la sémiologie, en se basant sur les phonopneumographies temporelles et spectrales des bruits respiratoires et des bruits adventices. On aboutit ainsi à une classification et une simplification objectives des bruits respiratoires et des bruits adventices qui s'affranchit des appellations allégoriques voire des confusions terminologiques dont font

encore état les diverses nomenclatures. La proposition découlant de nos analyses (*tableau II*) pourrait contribuer à l'aboutissement d'un consensus dépassant les particularismes linguistiques sur la systématique de l'auscultation pulmonaire.

Références

1. ROBERTSON AJ : Rales, ronchi, and Laennec. *Lancet* 1957;1:417-23.
2. MARQUET P : Les bruits d'origine ventilatoire. *Rev Mal Resp* 1995;12:87-101.
3. LAENNEC RTH : De l'auscultation médiate ou traité du diagnostic des maladies des poumons et du coeur. *Rep. Culture et Civilisation*. 2 vol., Bruxelles : Ed Brosson et Chaudé, 1968;927.

4. FORGACS P : Crackles and Wheezes. *Lancet* 1967 ;2 :203-5.
5. FORGACS P : Lung sounds. London *Baillière Tindall*,1978,p72.
6. AMERICAN THORACIC SOCIETY AD HOC COMMITTEE ON PULMONARY NOMENCLATURE : Updated nomenclature for membership reaction. *ATS News Fall* 1977;3:5-6.
7. PASTERKAMP H, KRAMAN SS, WODICKA GR : Respiratory sounds. Advances beyond the stethoscope. *Am J Respir Crit Care Med* 1997;156:974-87.
8. POSTIAUX G : Auscultation pulmonaire de l'enfant. In : Postiaux G. *La kinésithérapie respiratoire de l'enfant. Les techniques de soins guidées par l'auscultation pulmonaire*. Bruxelles, Ed De Boeck Université,1998;3:55-106.
9. LANDERCY A, RENARD R : Eléments de phonétique. Mons, Centre international de phonétique appliquée (CIPA-ASBL), 1977;214.
10. DESSART A, JODOGNE J-C, JODOGNE J : Phénomènes périodiques. Cours de physique 5.A. Bruxelles, De Boeck, 4^e ed., 1978:179.
11. BOSSER T, CHAPPELLE P, LENS E, POSTIAUX G : L'analyse acoustique des bruits respiratoires. *Rev d'acoustique* 1985;75:494-502.
12. BOTTE MC, CANEVET G, DEMANY L, SORIN C : Psycho-acoustique et perception auditive. INSERM/SFA/CNET 1989:144.
13. LENS E, POSTIAUX G, CHAPPELLE P : L'auscultation en décubitus latéral des craquements inspiratoires téléphasiques. *Louvain Méd.* 1985;104:85-94.
14. SLAVINSKY EB, McMILLAN DD : Relationship between the character of lung sounds, gestational age, and the weight of newborn children. *Proc. 13th International Lung Sounds Conference* Chicago sept. 1988.
15. KRAMAN SS : Determination of the site of production of respiratory sounds by subtraction phonopneumography. *Am Rev Respir Dis* 1980;22:300-9.
16. FORGACS P : The functional basis of pulmonary sounds. *Chest* 1978;3:379-405.
17. HOEVERS J, LOUDON RG : Measuring crackles. *Chest* 1990;98:1240-3.
18. POSTIAUX G, LENS E : Spectral analysis of crackles and surrounding respiratory sounds. *Proc. 15th International Lung Sounds Conference*. New Orleans, 3-5 oct. 1990.
19. LEIPP E : Le pouvoir séparateur temporel : paramètre informationnel capital du système auditif. *Revue d'Acoustique* 1979;50:197-201.
20. GODIN A, PIERART B : Perception de la durée séparant deux stimuli acoustiques – apport des techniques programmables sur micro-ordinateur. *Revue d'acoustique* 1985;75:503-10.
21. LENS E, POSTIAUX G, TRAN T : When is a snore a wheeze ? *Eur Respir J* 1989;2:693.
22. NATH AR, CAPEL LH : Inspiratory crackles-early and late. *Thorax* 1974;29:223-7.
23. FORGACS P : Gravitational stress in lung disease *Chest* 1974;68:1-10.
24. POSTIAUX G, LENS E : Preferential detection of high pitched crackles in the dependent lung in lateral decubitus in congestive heart failure. Prospective study of 38 patients. *Proc. 16th International Lung Sounds Conference*. Stresa sept 30th, oct 1,2/1991.
25. GAVRIELY N, PALTI G, ALROY G, GROTBORG JB : Measurement and theory of wheezing breath sounds. *J Appl Physiol* 1984 ; 57 : 481-92.
26. LENS E, POSTIAUX G, CHAPPELLE P : Application in bedside medicine of automated spectral analysis of breath sounds, wheezes and crackles. *Proc. 12th International Lung Sounds Conference*. CNRS, Paris 1987 ;sept.16-18.
27. BAUGHMAN RP, LOUDON RG : Lung Sound analysis for continuous evaluation of airflow obstruction in asthma. *Chest* 1985;88,3:364-8.
28. POSTIAUX G, LADHA K, GILLARD C, CHARLIER JL, LENS E : La kinésithérapie respiratoire du tout petit (< 24 mois) guidée par l'auscultation pulmonaire. *Rev Fr Allergol* 1997;37:206-22.
29. BATES B : Guide d'examen clinique. 3^e éd. Paris, Arnette, 1992:322.
30. EARIS JE, MARSH K, PEARSON MG, OGILVIE CM : The inspiratory «squawk» in extrinsic allergic alveolitis and other pulmonary fibroses. *Thorax* 1982;37:923-6.