

Le périodogramme :

Une représentation tri-dimensionnelle de l'encombrement bronchique à partir de l'analyse fractionnée des bruits respiratoires *

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

(1) Kinésithérapeute respiratoire, service de médecine interne, Clinique Reine Fabiola, B-6061 Montignies-sur-Sambre (Belgique),

Professeur IESCA. (2) Chef du service de médecine interne, Clinique Reine Fabiola, Maître de stage Université Catholique de Louvain,

(Belgique).

A partir de l'analyse informatisée des bruits pulmonaires adventices (craquements), les auteurs décrivent un mode original de représentation tri-dimensionnelle des atteintes de l'arbre aérien: le périodogramme obtenu au moyen de l'analyse de Fourier du cycle respiratoire fractionné.

Introduction

L'objectivation de l'encombrement bronchique et des effets de la kinésithérapie respiratoire au moyen des tests paracliniques classiques est peu démonstrative (1). Les épreuves fonctionnelles respiratoires elles-mêmes sont globales, trop peu sélectives et dès lors n'autorisent ni la détection ni l'évaluation des atteintes locorégionales de l'appareil respiratoire surtout dans sa portion distale.

Faisant suite à des travaux précédents (2, 3, 4) montrant l'intérêt de l'auscultation pulmonaire et de l'analyse des bruits respiratoires en kinésithérapie de toilette bronchopulmonaire et

de traitement du bronchospasme (5), la présente étude fait état d'un mode de représentation des atteintes pulmonaires au moyen d'une analyse fractionnée des bruits respiratoires en vue d'une utilisation systématique ultérieure de ce mode d'objectivation.

Nous décrivons ici une étape de mise au point de la représentation des atteintes structuro-fonctionnelles du poumon distal par la sélection de certains paramètres physico-acoustiques et leur représentation en trois dimensions: le périodogramme pulmonaire.

Méthode

DÉFINITIONS

Nous nous référons ici à la nomenclature internationale d'auscultation pulmonaire recommandée par l'American Thoracic Society (6) qui s'appuie sur les paramètres physico-acoustiques des diverses catégories de bruits et de sons.

Cette nouvelle nomenclature reconnaît deux catégories de bruits: les *bruits respiratoires* et les *bruits adventices*. Parmi ceux-ci, les *craquements* intéressent au premier chef le kinésithérapeute car, dans bon nombre de situations, ils constituent les signes d'une atteinte de l'arbre trachéo-broncho-pulmonaire à différents étages du tube respiratoire axial (5).

D'un point de vue acoustique, les craquements sont des bruits brefs, explosifs, discontinus d'une durée voisine de 10 millisecondes, par opposition aux sibilances qui sont des bruits continus d'une durée supérieure à 150 millisecondes. Les craquements les plus courts peuvent ne durer que 4 ou 5 millisecondes. La reconnaissance du contenu fréquentiel du craquement et du bruit respiratoire qui le

(* Une partie de ce travail a fait l'objet d'une communication à la 15th International Lung Sounds Conference - New-Orleans (USA), 3-5 octobre 1990. Travail réalisé dans le cadre du Groupe d'Étude Pluridisciplinaire Stéthacoustique-ASBL, Courcelles (B 6180).

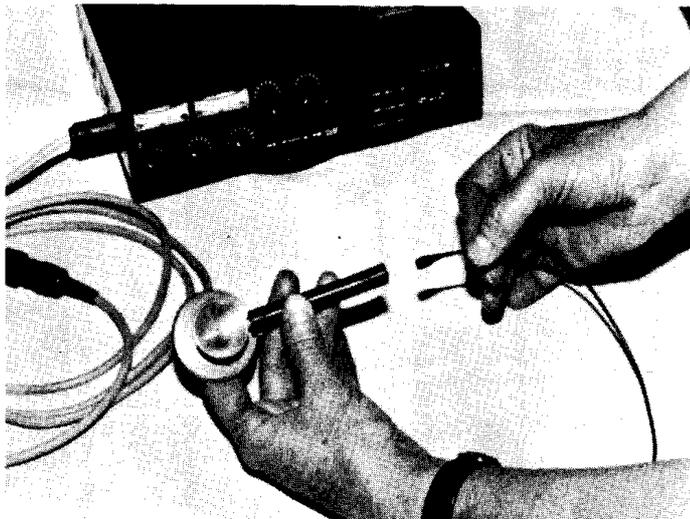


FIG. 1 A

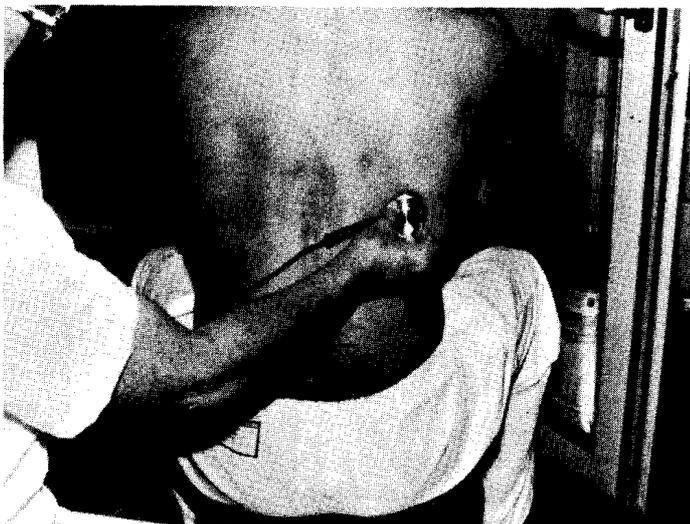


FIG. 1 B

FIG. 1. – A. La captation des bruits respiratoires utilise un microphone de faible dimension inséré dans un conduit de stéthoscope. B. Les bruits sont captés au lieu de la paroi thoracique présentant les bruits adventices remarquables.

suit immédiatement (7) autorise leur localisation à différents étages de l'appareil respiratoire et peut induire une manœuvre kinésithérapeutique précise, méthode que nous avons traitée par ailleurs (5).

Outre le contenu fréquentiel, nous attribuons aux craquements d'autres paramètres dont nous avons montré l'intérêt pour la conduite du traitement : la situation dans les phases du cycle respiratoire (8, 9) et leur nombre notamment qui sont des témoins de l'importance de l'atteinte. Pour être complet il faudrait y ajouter la position-dépendance et la kinésie-dépendance, paramètres qui ne sont pas représentés dans l'analyse décrite ci-après.

MÉTHODES DE CAPTATION ET DE TRANSFORMATION

La première étape consiste à capter à la paroi thoracique (dans cette étude les enregistrements ont été effectués en

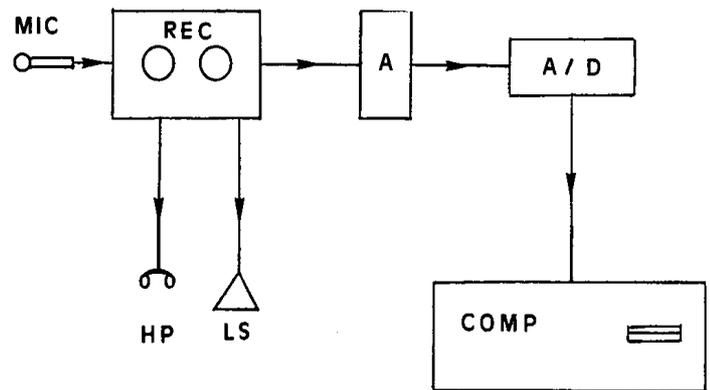


FIG. 2. – Schéma technique du système de captation et d'analyse en différé des bruits respiratoires.

Captés à la paroi thoracique au moyen d'un microphone (MIC) inséré dans l'extrémité d'un stéthoscope, les bruits sont fixés sur bande magnétique (REC). Après amplification (A), ils subissent ensuite une conversion analogique-digitale (A/D) vers le disque dur d'un ordinateur dédié (COMP). Les signaux numériques ainsi mémorisés peuvent alors être traités (filtrage, convolution, lissage, décomposition temporelle, analyse de Fourier...)

regard de la base droite) au moyen d'un microphone inséré dans un stéthoscope (fig. 1 A et B) les bruits respiratoires pathologiques. Plusieurs cycles respiratoires sont enregistrés sur bande magnétique et lorsque les phénomènes sont récurrents, le cycle qui contient le moins d'artefacts (mouvements des doigts, bruits ambiants et de surface...) est retenu. Il est ensuite injecté dans un ordinateur dédié grâce à une conversion analogique-digitale (fréquence d'échantillonnage : 2 KHz) (fig. 2). La mémorisation du signal numérique sur disque dur permet ensuite diverses manipulations mathématiques et informatiques des phénomènes normaux ou anormaux pour analyse ; par exemple divers procédés de filtration permettent d'éliminer les bruits cardiaques et musculaires qui se situent dans une plage fréquentielle différente des bruits respiratoires.

Ces analyses en différé sont la phonopneumographie temporelle et la phonopneumographie spectrale (10, 11) dont nous décrivons ci-après les principes et les résultats.

Résultats

LA PHONOPNEUMOGRAPHIE TEMPORELLE EST LA PREMIÈRE ÉTAPE DE L'ANALYSE

C'est aussi la première référence objective permettant de déceler les craquements, de les dénombrer et d'observer leur situation dans le cycle respiratoire (10) (fig. 3).

Elle peut être affinée et son observation détaillée en agrandissement (zoom) (fig. 4 a, b, c). Il est alors possible d'isoler chaque craque-

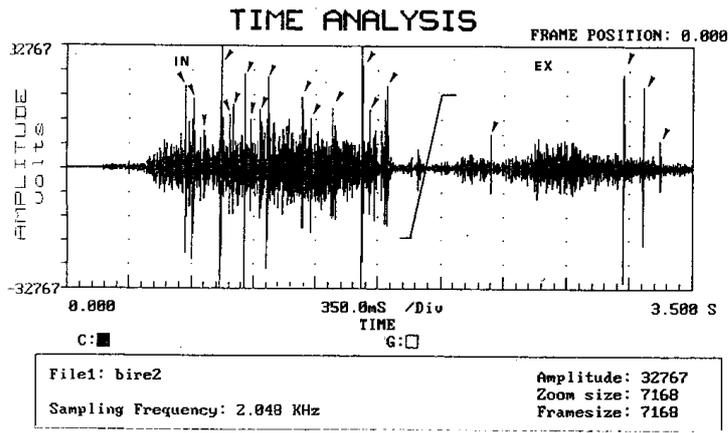


FIG. 3. - Exemple de tracé phonopneumographique temporel d'un cycle ventilatoire complet (IN = inspiration, EX = expiration) montrant de nombreux craquements holophasiques inspiratoires (flèches sur la figure) se démarquant du bruit de fond respiratoire. On note aussi des craquements moins nombreux en phase expiratoire.

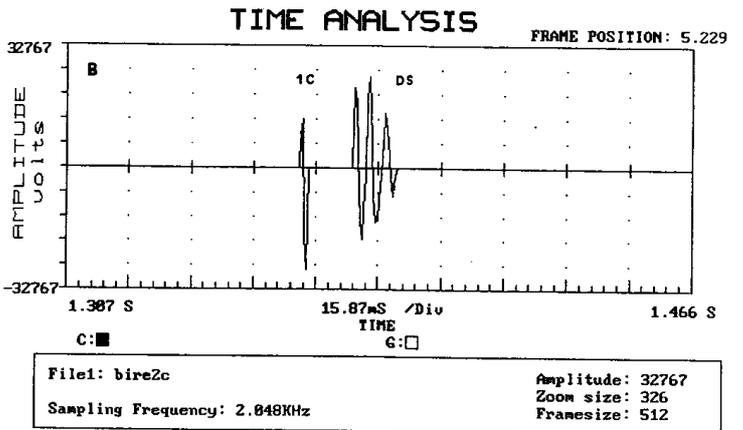
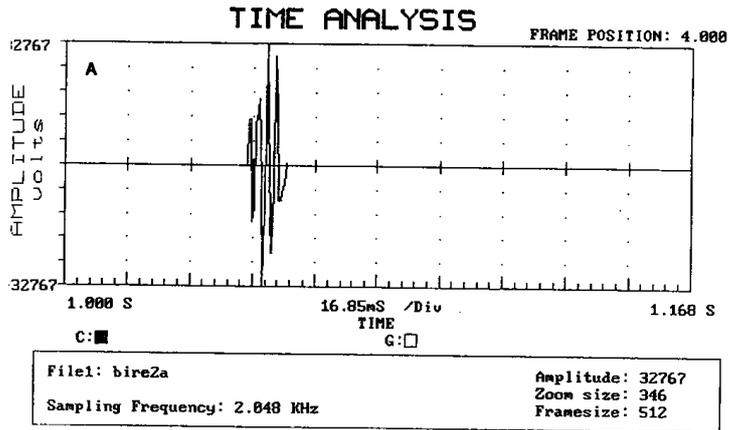


FIG. 5. - A. Isolé du bruit respiratoire, le craquement peut alors subir l'analyse de Fourier (figure 7) ou être décomposé en ses constituants temporels. B. La décomposition temporelle représentée ici individualise le premier cycle du craquement (1C-first cycle), encore appelé élément d'attaque, et la phase d'amortissement (DS-decay segment).

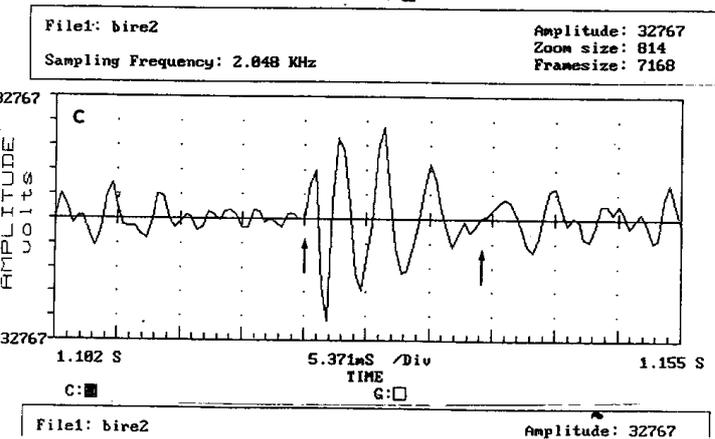
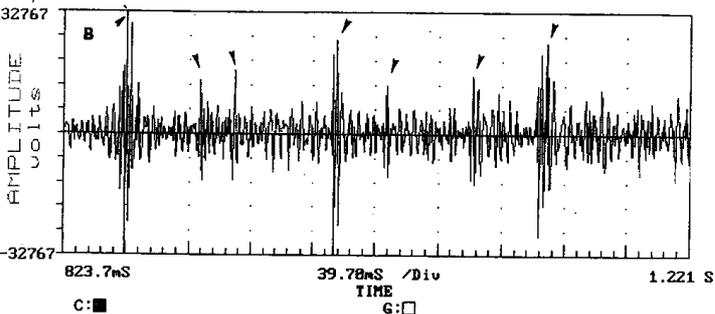
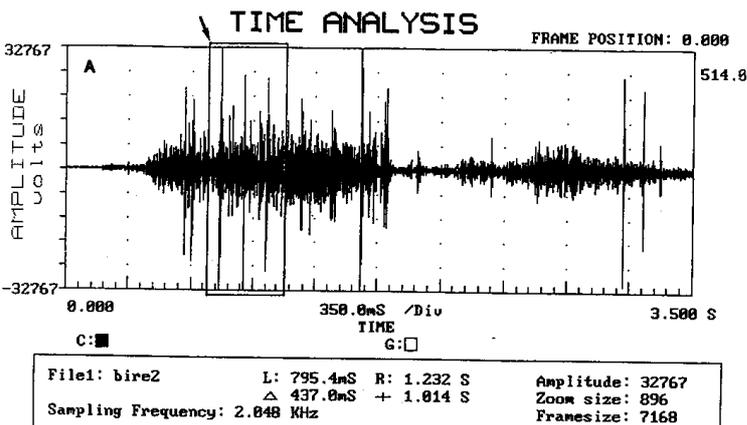


FIG. 4. - A. Un cadre mobile (accentué sur la figure et indiqué par une flèche) permet de délimiter une zone intéressante pour agrandissement (zoom). B. La zone inspiratoire inscrite dans le cadre mobile de A apparaît alors agrandie et les craquements peuvent être mieux identifiés (flèches). C. Chaque craquement peut être individualisé pour la mesure de ses composants temporels (les flèches indiquent le début et la fin du craquement).

ment, d'en mesurer la durée propre et celle de ces composants (fig. 5 a, b).
 Nous avons récemment conduit une étude portant sur les durées moyennes des divers éléments composant le craquement (7). C'est ainsi qu'en isolant IDW (initial deflection width - largeur de la déflexion initiale), 1CD (first cycle duration - largeur du premier cycle complet), 2CD (two cycles duration - largeur des deux premiers cycles), TD (total duration -

FIG. 4. - A. Un cadre mobile (accentué sur la figure et indiqué par une flèche) permet de délimiter une zone intéressante pour agrandissement (zoom). B. La zone inspiratoire inscrite dans le cadre mobile de A apparaît alors agrandie et les craquements peuvent être mieux identifiés (flèches). C. Chaque craquement peut être individualisé pour la mesure de ses composants temporels (les flèches indiquent le début et la fin du craquement).

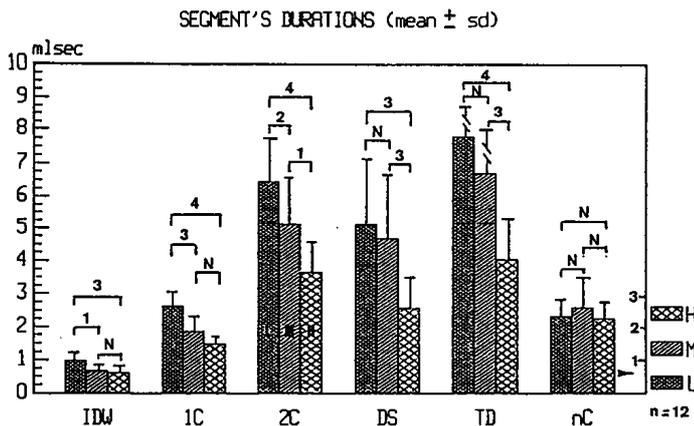


FIG. 6. - Comparaisons statistiques (moyenne + ou - la déviation standard) des durées moyennes ($n = 12$) des différents éléments composant les craquements : IDW, 1CD, 2CD, DS, TD (axe gauche des ordonnées) et nC (axe droit des ordonnées), dans chaque catégorie de basse (L), moyenne (M) et haute (H) fréquences. (1, 2, 3, 4, = $p < .05, .02, .005, .001$, N = non significatif - test T). Pour les abréviations voir texte.

durée totale du craquement) et nC (number of cycles - nombre total de cycles), et en calculant leurs valeurs moyennes, il est possible de distinguer trois catégories de craquements correspondant à des entités pathologiques différentes, ce que d'autres études avaient également montré (fig. 6).

LA PHONOPNEUMOGRAPHIE SPECTRALE, DEUXIÈME MODE D'ANALYSE

La seconde étape consiste en une analyse fréquentielle qui réalise un spectre du craquement, c'est-à-dire une mesure de son contenu énergétique dans une bande passante donnée. C'est l'analyse de Fourier proprement dite, théorème mathématique qui postule que toute onde complexe (les bruits respiratoires sont des ondes vibratoires complexes) peut être décomposée en sinusoides simples.

C'est ce contenu fréquentiel qui détermine en partie le timbre psycho-acoustique des craquements qui n'échappe pas à l'oreille d'un observateur attentif auscultant son malade.

On retrouve ici aussi les mêmes trois catégories fréquentielles utiles sur les plans clinique et physiopathologique : des craquements de basse, moyenne et haute fréquence hertzienne (fig. 7 : A, B, C). On peut extraire de ces spectres un ensemble de paramètres statistiques qui

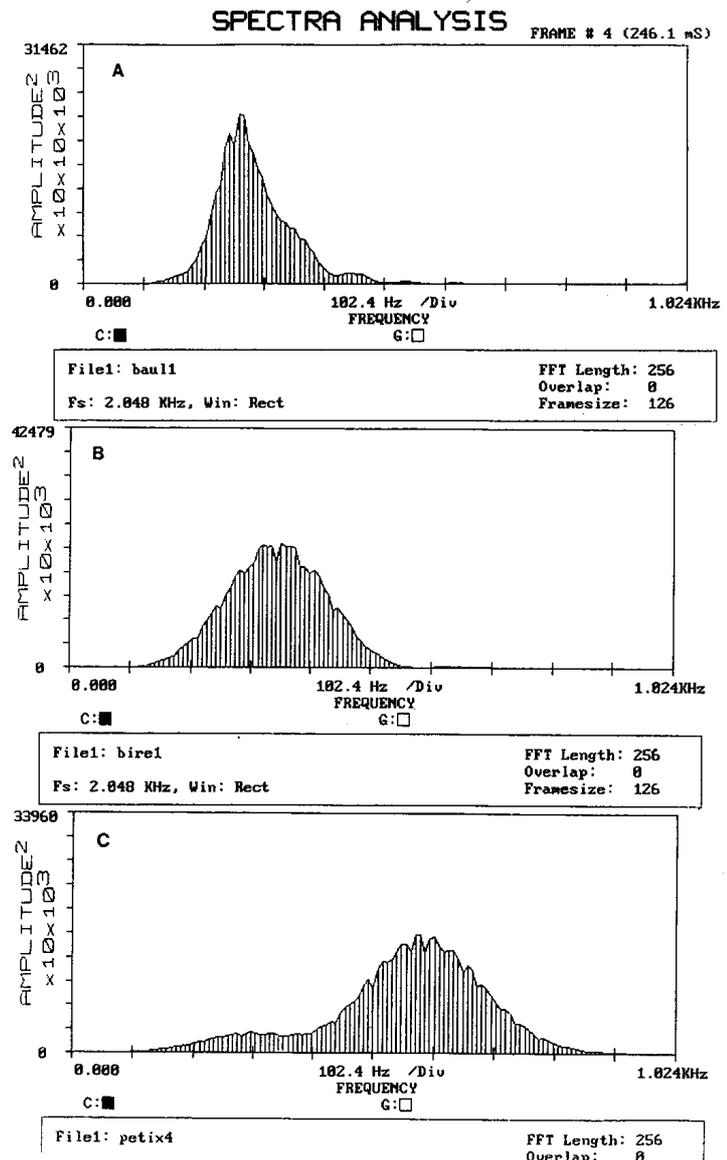


FIG. 7. - Représentations spectrales des trois catégories de craquements. Les craquements peuvent être classés selon leur composition spectrale suivant qu'ils sont de basse-BF (A), de moyenne-MF (B) ou de haute-HF (C) fréquence hertzienne, c'est-à-dire de bande passante de plus en plus large des basses vers les plus hautes fréquences du spectre acoustique dans une plage fréquentielle ne dépassant pas 1 000 Hz.

confirment cette classification. Nous avons ainsi retenu le mode (ou pic de fréquence), la moyenne, la médiane et la bande passante à 10 % du maximum spectral (fig. 8). Ces catégories de craquements correspondent en fait à des entités pathologiques qui ont présidé à leur choix randomisé : pathologies pulmonaires obstructives par encombrement (basses fréquences), infectieuses distales (moyennes fréquences), ou parenchymateuses et restrictives (hautes fréquences).

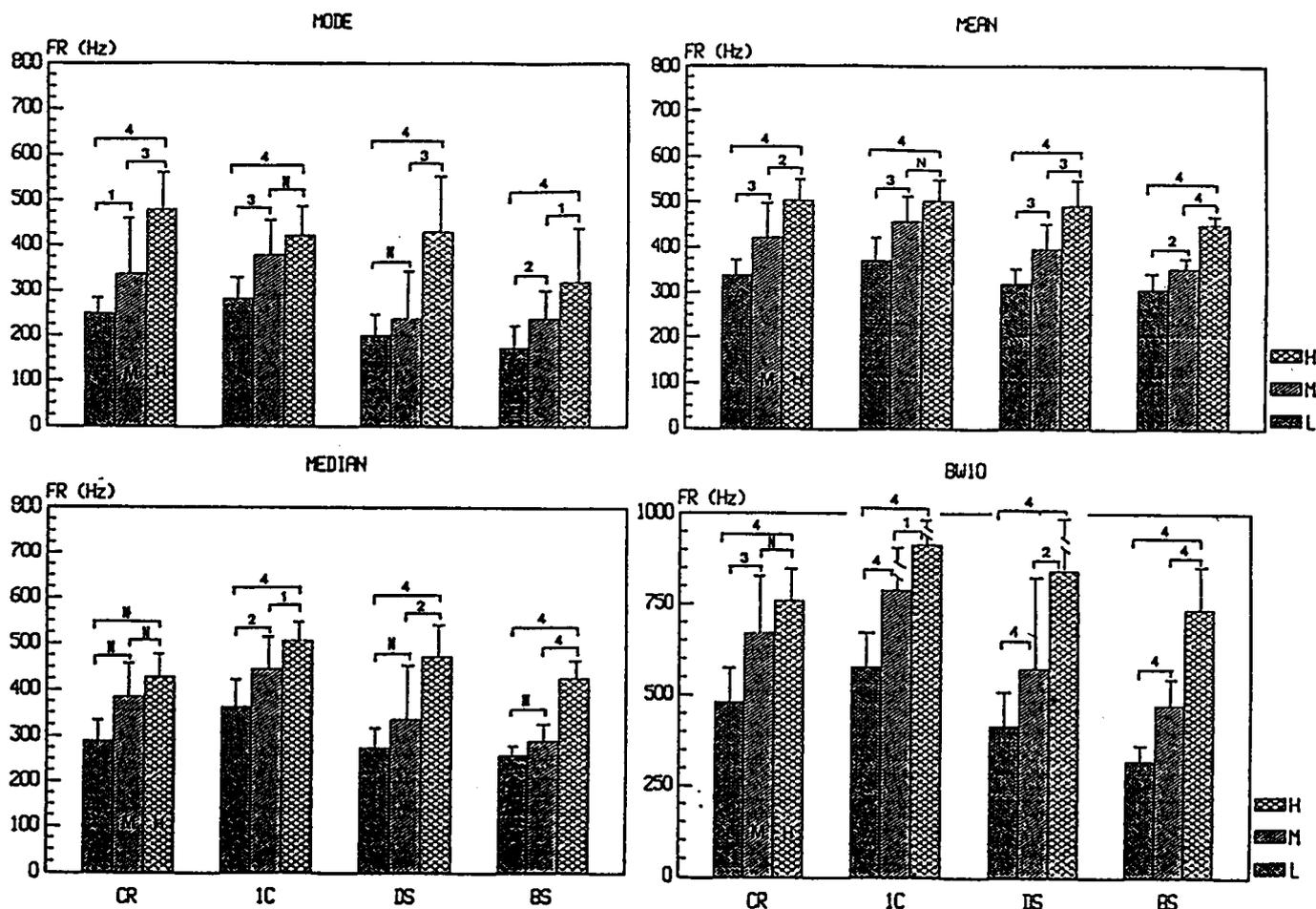


FIG. 8. — Comparaisons statistiques des paramètres fréquentiels des différentes catégories de craquements : le mode (Mode), la médiane (Median), la moyenne (Mean) et la bande passante à 10 % du maximum du spectre (BW10) montrent des différences qui sont le plus souvent statistiquement significatives entre les craquements eux-mêmes (CR), leur premier cycle (IC), leur phase d'amortissement (Ds) et le bruit respiratoire dans lequel le craquement s'inscrit (BS). Ces paramètres fréquentiels individualisent bien les trois catégories de craquement de basse (L), moyenne (M) et haute (H) fréquence. (1, 2, 3, 4 = $P < .05, .02, .005, .001$, N = non significatif, Test t). En ordonnée la fréquence hertzienne (FR en Hertz-Hz), en abscisse les éléments mesurés.

Donc ces analyses temporelles et fréquentielles délimitent nettement trois catégories qui correspondent bien à ce que l'on perçoit lors de l'auscultation et relatives à des atteintes à différents étages de l'appareil respiratoire dont certaines sont susceptibles d'intéresser le kinésithérapeute.

LE PÉRIODOGRAMME AJOUTE A L'ANALYSE DE FOURIER UNE DIMENSION TEMPORELLE

Mais ces spectres pris isolément ne relatent pas la dimension temporelle des événements pouvant témoigner de l'importance et de la précision du type de l'atteinte. Or il est intéressant d'affiner certains paramètres qui, en association, constituent des syndromes stratégi-

ques utiles au kinésithérapeute (5) : à savoir le nombre des craquements, leur contenu spectral et leur situation dans les phases du cycle respiratoire.

Ces trois dernières informations peuvent être groupées dans le *périodogramme*. Celui-ci est obtenu par fragmentation du cycle respiratoire : nous soustrayons d'abord le bruit de fond respiratoire et isolons chaque craquement en lui conservant sa place initiale dans le cycle respiratoire (fig. 9).

L'analyse spectrale de chaque craquement est alors transposée en un mode de représentation chronologique qui tient compte de la dimension temporelle portée sur le vecteur de fuite. On obtient ainsi une représentation tri-dimensionnelle d'un cycle respiratoire complet, inspiration

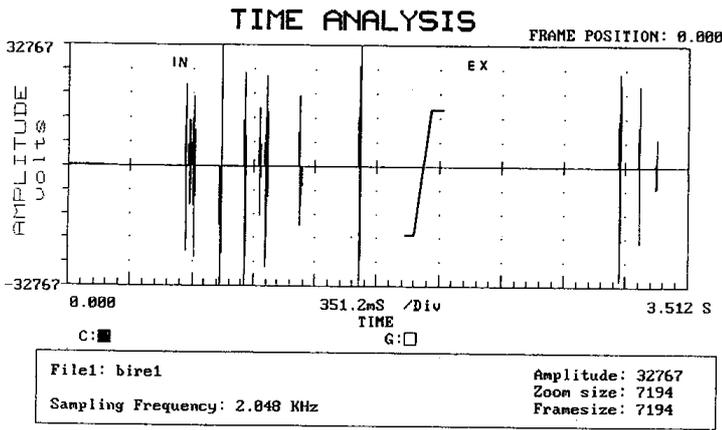


FIG. 9. - Exemple d'un cycle respiratoire complet (IN = inspiration, EX = expiration) dont le bruit de fond respiratoire a été soustrait. Seuls y sont donc représentés les craquements à leur place réelle dans le cycle.

et expiration, « occupé » par des craquements. Quelques exemples de périodogramme aident à mieux les appréhender :

- les craquements protophasiques inspiratoires de basse fréquence peuvent être le signe d'atteintes structuro-fonctionnelles du poumon chez le bronchopneumopathe chronique obstructif (fig. 10 A) ;
- les craquements mésophasiques inspiratoires de moyenne fréquence peuvent témoigner d'une surinfection distale comme dans l'exemple repris ici d'une patiente souffrant de bronchiectasies (fig. 10 B) ;
- les craquements téléphasiques inspiratoires de haute fréquence (fig. 10 C) peuvent accompagner une atteinte périphérique anatomique comme la fibrose pulmonaire, ou une décompensation cardiaque, ou encore des atteintes qui peuvent être adressées au kinésithérapeute telles la pneumonie et l'atélectasie.

Discussion

Nous avons à quelques reprises démontré dans cette revue et d'autres l'intérêt et la nécessité pour le kinésithérapeute d'une auscultation pulmonaire soigneuse. Celle-ci contribue à poser l'indication d'une technique, guide son application et rend compte des résultats obtenus. Cette démarche nous paraît surtout

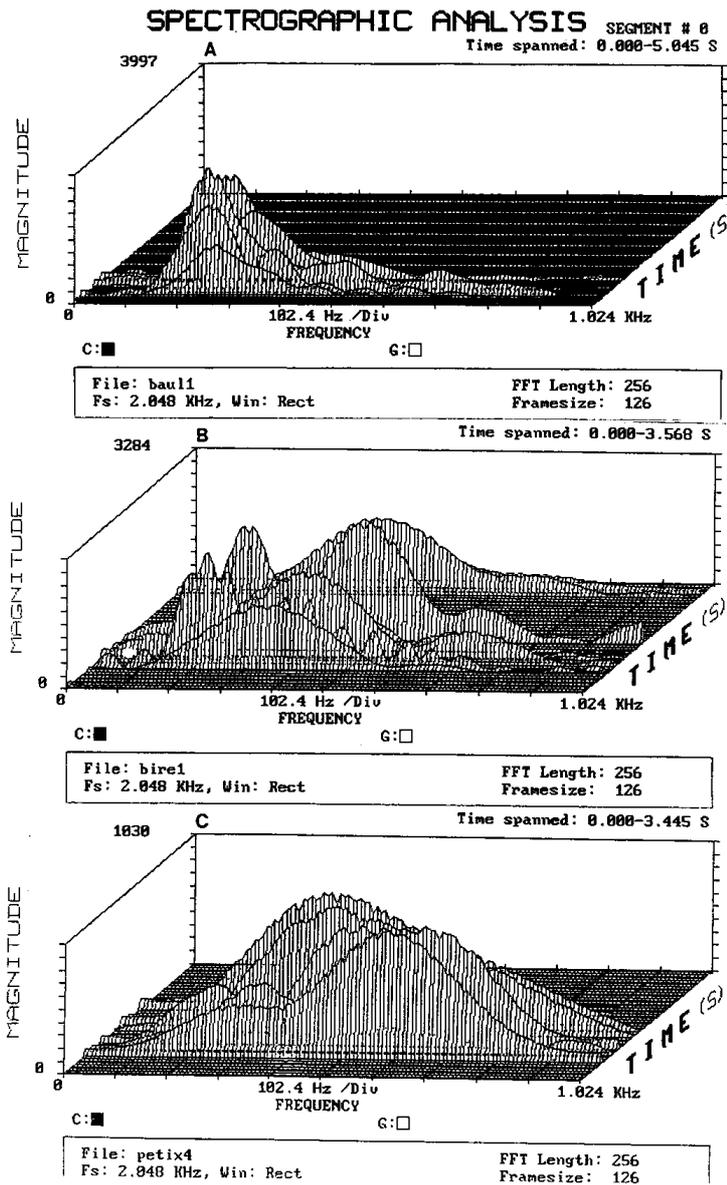


FIG. 10. - Trois exemples de périodogrammes : en ordonnée l'amplitude, en abscisse la fréquence hertzienne (plage fréquentielle de 100 Hz à 1 KHz), sur l'axe de fuite : le temps soit un cycle respiratoire complet (IN + EX). A. Périodogramme du cycle respiratoire d'un bronchopulmonaire chronique obstructif (BPCO) qui présente des craquements protophasiques inspiratoires de basse fréquence. B. Périodogramme du cycle respiratoire d'une patiente souffrant de bronchiectasies en phase de surinfection. Les craquements sont méso- et téléphasiques inspiratoires et de moyenne fréquence. C. Périodogramme d'un cycle respiratoire chez une patiente souffrant d'une fibrose interstitielle. Les craquements sont méso- et téléphasiques inspiratoires et de haute fréquence hertzienne.

intéressante pour mener à bien la kinésithérapie des atteintes loco-régionales périphériques de l'arbre trachéo-broncho-pulmonaire dont ne rendent pas compte les épreuves paracliniques habituelles.

Mais si l'on souhaite dépasser le stade de la simple évaluation clinique c'est-à-dire quantifier les résultats, valider de nouvelles techniques de soins, ou tout simplement conserver des documents pour comparaisons ou études ultérieures, la mise au point et l'exploitation de méthodes instrumentales s'avère nécessaire.

L'encombrement bronchique, motif le plus fréquent de recours à la kinésithérapie respiratoire, devrait bénéficier de ce même souci d'objectivation.

Les moyens scientifiques modernes d'analyses des bruits respiratoires qu'exploitent quelques équipes de chercheurs (États-Unis, Canada, Japon, Grande-Bretagne, Finlande, Belgique et Italie notamment) ne doivent pas laisser les kinésithérapeutes indifférents.

L'analyse dont il est fait état dans ces lignes s'inscrit dans ce souci d'objectivation scientifique. Elle confirme tout d'abord l'existence de différentes catégories de bruits adventices notamment au niveau des craquements. Ceux-ci appartiennent à des entités pathologiques différentes qui font ou ne font pas appel à la kinésithérapie respiratoire. Les craquements de moyenne fréquence constituent vraisemblablement un terrain de choix pour une kinésithérapie de l'appareil respiratoire distal encombré ou surinfecté. La manœuvre ELTGOL (expiration lente totale glotte ouverte en infralatéral) qui nous avons validée de différentes manières (4,

12, 13) constitue un recours possible dans ce type d'atteintes de même que l'EDIC (exercice à débit inspiratoire contrôlé) pour les atteintes plus périphériques (5).

Conclusion

La kinésithérapie respiratoire souhaite se doter des moyens nécessaires à sa propre validation. L'analyse des bruits respiratoires

objectivant l'auscultation pulmonaire s'inscrit dans le cadre de cette démarche.

Références

1. DEMEDTS M. - Assessment of airway secretions by pulmonary function test. *Eur. Respir. J.*, 1987, 71, 330-333.
2. POSTIAUX G., LENS E., CHAPELLE P., BOSSER T. - Intérêt de la phonopneumographie et de l'analyse acoustique spécialisée en kinésithérapie respiratoire. *Ann. Kinésithér.*, 1986, 13, 3-11.
3. POSTIAUX G., LAHAYE J.-M., LENS E., CHAPELLE P. - Conduite à tenir en kinésithérapie respiratoire face à certains craquements protophasiques inspiratoires de basse fréquence. *Ann. Kinésithér.*, 1987, 14, 137-142.
4. POSTIAUX G., LENS E., LAHAYE J.-M. - Objectivation stéthacoustique de la toilette bronchique distale par comptage et analyse des craquements pulmonaires. *Ann. Kinésithér.*, 1989, 16, 377-385.
Proc. 13 th International Lung Sounds Conference, Chicago (USA), 3-7 sept. 1988.
5. POSTIAUX G. - *Kinésithérapie respiratoire et auscultation pulmonaire. Nouvelles approches cliniques, méthodologiques et technologiques chez l'adulte, l'enfant et le nourrisson*. Ed. Deboeck-Université. Bruxelles, déco 1990, 240 p.
6. Report of the ATS/ACCP Ad Hoc Subcommittee on Pulmonary Nomenclature. *ATS News*, 1977, 3, 5-6.
7. POSTIAUX G., LENS E. - *Spectral analysis of crackles and surrounding respiratory sounds*. Proc. 15 th International Lung Sounds Conference. New-Orleans (USA), 3-5 oct. 1990.
8. NATH A. R., CAPEL L. H. - Inspiratory crackles and mechanical events of breathing. *Thorax*, 1981, 36, 99-107.
9. LENS E., POSTIAUX G., CHAPELLE P. - L'auscultation en décubitus latéral des craquements inspiratoires téléphasiques; *Louvain Méd.*, 1985, 104, 85-94.
10. MURPHY R. L., HOLFORD S. K., KNOWLER W. C. - Visually sound characterization by time-expanded wave form analysis. *N. Engl. J. Med.*, 1977, 296, 968-971.
11. MORI M., KINOSHITA K., MORINARI H. et Coll. - Waveform and spectral analysis of crackles. *Thorax*, 1980, 35, 843-850.
12. POSTIAUX G., LENS E., ALSTEENS G. - L'Expiration Lente Totale Glotte Ouverte en décubitus Latéral (ELTGOL) : nouvelle manœuvre pour la toilette bronchique objectivée par vidéobronchographie. *Ann. Kinésithér.*, 1987, 14, 341-350.
13. POSTIAUX G., LENS E., ALSTEENS G., PORTELANGE P. - Efficacité de l'expiration lente totale glotte ouverte en décubitus latéral (ELTGOL) : sur la toilette en périphérie de l'arbre trachéo-bronchique. *Ann. Kinésithér.*, 1990, 17, 87-99.