

Objectivation stéthacoustique de la toilette bronchique distale par détection et analyse des craquements pulmonaires *

G. POSTIAUX (1), E. LENS (2), J.-M. LAHAYE (3), P. NAPOLEONE (4)

(1) *Kinésithérapeute respiratoire, Clinique Reine Fabiola, Montignies-sur-Sambre, Belgique, chargé de cours Institut d'Enseignement Supérieur Paramédical, Montignies-sur-Sambre (B) ..* (2) *Médecine Interne: Maître de stages à l'Université Catholique de Louvain ..* (3) *Kinésithérapeute respiratoire.. Service de Médecine interne (E. Lens). Clinique Reine Fabiola, Montignies-sur-Sambre. Belgique..* (4) *Kinésithérapeute Institut Supérieur Paramédical.*

Introduction

Le regain d'intérêt qu'a suscité l'auscultation pulmonaire ces dix dernières années a incité notre groupe à poursuivre des travaux portant sur l'analyse acoustique des bruits respiratoires dans *deux directions parallèles:*

- la première qui concerne l'aspect diagnostique et qui a abouti à la mise au point d'un appareil de monitoring en direct d'événements respiratoires liés au bronchospasme chez l'asthmatique et le bronchopulmonaire obstructif chronique (E.L.E.N.S.-D.S.A.I.) ; .

- la seconde qui concerne le suivi de la kinésithérapie respiratoire au 'moyen d'un procédé qui, exploitant pour partie les mêmes algorithmes, affiche, sur la même base de temps, le sonospirogramme et les craquements pulmonaires qui intéressent particulièrement le kinésithérapeute lorsque ces craquements sont en relation avec un encombrement bronchique localisé.

Les résultats rapportés dans cette étude concernent la détection, le dénombrement et l'analyse spectrale de certains craquements pulmonaires.

Les douzième (Paris, 1987) et treizième (Chicago, 1988) conférences internationales sur les bruits respiratoires ont consacré une partie importante de leurs travaux aux craquements pulmonaires en tentant d'apporter quelques précisions sur leurs mécanismes de base. Les

...

. Travail réalisé dans le cadre du Groupe d'Étude Pluridisciplinaire Stéthacoustique, ASBL. 43, rue de Miaucourt, 6180 Courcelles, Belgique.

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

craquements pulmonaires se définissent comme des bruits discontinus, d'une durée inférieure à 25 millisecondes. et dont les caractéristiques fréquentielles sont plus difficiles à définir par l'oreille humaine que celles des sibilances par exemple.

La mise au point de procédés d'analyse acoustique vise à mieux les identifier. Dans ce cadre, les résultats rapportés ici s'inscrivent dans une étude plus large *qui vise:*

1) à aborder une validation stéthacoustique quantifiée des effets de l'Expiration Lente Totale Glotte Ouverte en décubitus Latéral (EL TGOL) ;

2) à valider l'algorithme de détection et d'analyse spectrale des craquements pulmonaires de manière automatique et en direct;

3) à préciser d'une façon objective les paramètres stéthacoustiques des craquements proposés par Lens (4) et plus particulièrement dans cette étude leur spectre acoustique, la kinésidépendance au moyen de l'expiration lente totale glotte ouverte en décubitus latéral ainsi que celui de position-dépendance.

Le présent travail concerne les craquements de moyenne fréquence hertzienne. En effet, notre groupe propose de reconnaître trois catégories de craquements: des craquements de bande passante étroite dits de basse fréquence, des craquements de bande passante moyenne dits de moyenne fréquence et des craquements de bande passante large dits de haute fréquence (7).

Les craquements de moyenne fréquence qui font l'objet de ce travail évoquent les rôles d'encombrement des voies aériennes distales répondant à une kinésithérapie de toilette bronchique spécifique que nous avons proposée et vérifiée par ailleurs au moyen de méthodolo-

gies investigant l'ELTGOL qui s'adresse au traitement de l'encombrement de l'arbre aérien périphérique (5, 6).

Matériel et méthode

SUJETS DE L'ÉTUDE

Dix patients ont été sélectionnés sur le critère de reconnaissance par deux observateurs indépendants de la présence de craquements pulmonaires de moyenne fréquence hertzienne repérés au moyen du stéthoscope et répétitifs de respiration à respiration. Les caractéristiques des patients sont résumées au tableau I. Ils ont été auscultés juste avant l'enregistrement afin de repérer et marquer sur la cage thoracique l'endroit à analyser. Le programme d'enregistrement pour chaque cas se présente comme suit (fig. 1) :

- enregistrement en assis de la zone marquée,
- enregistrement en supralatéral, patient en décubitus latéral du côté opposé,
- enregistrement en infralatéral, patient en décubitus latéral du même côté.

Une fois la zone marquée infralatéralisée, l'ETGOL est réalisée dix fois. L'enregistrement est à nouveau repris dans les trois positions de référence :

TABLEAU I. - Caractéristiques des patients de l'étude.

% VEMS/PRED = pourcentage du volume expiré maximum par seconde par rapport à sa valeur prédite.
SYND SPIR. = syndrome spirométrique : O = obstructif, R = restrictif, M = mixte.

N°	DIAGNOSTIC	AGE	SEXE	% VEMS/PRED	SYND. SPRI.
1	Bronchopneumopathie base droite	48	F	46	O
2	Emphysème + bronchite	75	M	54	O
3	Pneumopathie virale base dte	40	M	80	R
4	Asthme, bronchite chronique fibrose	42	F	42	M-O
5	Atélectasie base dte bronchite chronique	40	F	32	M-O
6	Bronchite + asthme	73	F	23	M-O
7	Bronchite	82	M	93	-
8	Infection T2 bases	52	F	46	O
9	Bronchite	86	F	80	R
10	Bronchite + asthme	63	M	47	O
		M = 60 ± SD 17			

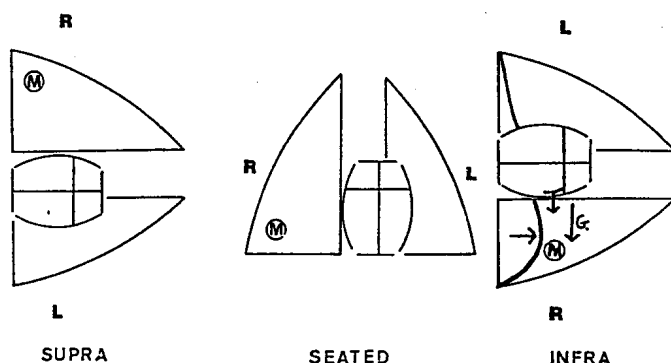


FIG. 1. - Site des enregistrements M dans les positions de référence supralatéral (supra), assis (seated), infralatéral (infra). R = poumon droit, L = poumon gauche, G = gravitation.

1. Microphone B et K 4130.
2. Préamplificateur B et K 2642.
3. Alimentation à gain variable B et K 2810.
4. Interrupteur à relais statique.
5. Filtre passe-bande 200-3000 Hz
6. Adaptateur CINCH-BNC.
7. Enregistreur à cassette Marantz.

- en assis,
- en supralatéral,
- en infralatéral.

Au hasard, chez quelques patients, l'ETGOL est appliquée en supralatéral et la même procédure d'enregistrement est appliquée.

La durée totale du programme est d'environ une heure. L'ordre des manœuvres d'un patient à l'autre est alterné par tirage au sort. Chez certaines personnes, l'ETGOL a été suivie d'une toux spontanée et de quelques expectorations.

Un temps de repos nécessaire est accordé après cinq manœuvres. Vu la fatigabilité de deux patients (patient n° 6 et n° 9, tableau 1), le programme n'a été réalisé que partiellement.

EXPLOITATION DES ENREGISTREMENTS

Captation

Les enregistrements ont été effectués au moyen d'un microphone Brüel et Kjaer (BK 4130), dirigé vers un préamplificateur de même marque (BK 2642) alimenté à gain variable (BK 2810) (fig. 2).

Un filtre passe-bande de 200 à 1000 Hz limite l'acquisition à cette bande passante avant de les fixer sur enregistreur Marantz.

La durée de chaque enregistrement des bruits respiratoires est d'au moins cinq cycles respiratoires à un volume inspiré d'environ deux volumes courants afin de disposer d'échantillons de plus de 12,8 secondes.

Un signal par interrupteur à relais statistique est envoyé aux débits nuls de fins d'inspiration et d'expiration en vue d'un repérage précis des cycles et des phases du cycle respiratoire.

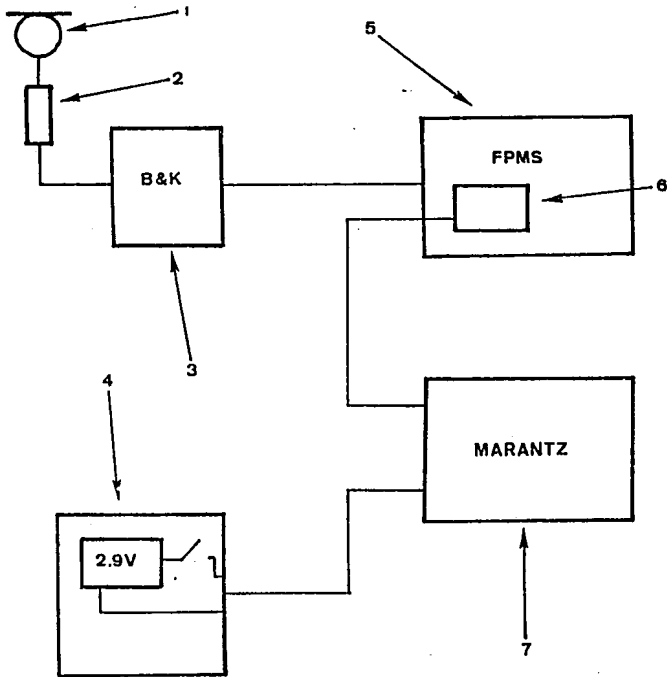


FIG. 2. - Procédure technique d'enregistrement des bruits respiratoires (d'après Dehut, FPMS et GPS) (voir texte).

1. Microphone BK 4130.
2. Préamplificateurs BK 2642.
3. Alimentation BK 2810.
4. Interrupteur à relais.
5. Filtre passe-bande 200-1 000 Hz (FPMS).
6. Connexions vers.
7. Enregistreur magnétique MARANTZ CC8 230.

Traitement des enregistrements

Ils ont été dépouillés de deux manières :

Analyse en mode temporel (fig. 3)

Les enregistrements sur bande magnétique ont été dirigés vers des bancs de filtres du Mingograph 81 de Siemens, appareil initialement destiné à la phonocardiographie et modifié pour la circonstance par l'ajout de filtres passe-bande à fréquence centrale de 400 et 800 Hz.

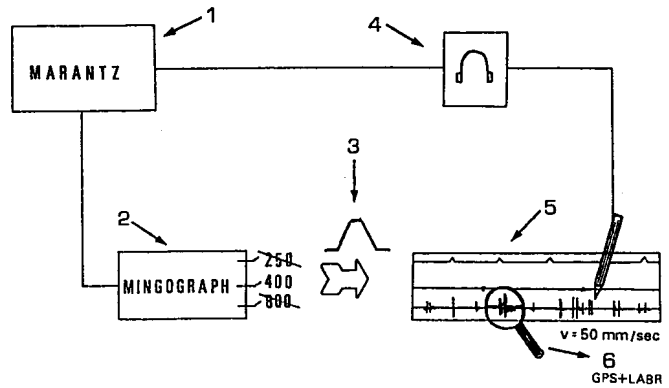


FIG. 3. - Procédure de dépouillement des enregistrements en mode temporel (GPS).

1. Enregistreur à cassette Marantz.
2. Mingograph 81, de Siemens.
3. Filtres passe-bande à 400 Hz
4. Casque d'écoute.
5. Papier millimétré.
6. Grossissement à la loupe.

Afin de permettre l'inscription des craquements sur papier millimétré défilant à une vitesse de 50 mm/s et leur comptage visuel, il est nécessaire d'utiliser le filtre passe-bande à 400 Hz seul, au niveau duquel il est possible d'atténuer les bruits respiratoires normaux jusqu'à ce qu'ils disparaissent du tracé. Les craquements restent alors les seuls bruits respiratoires décelables par leur amplitude.

Cependant, ce procédé empêche le repérage graphique des cycles respiratoires par atténuation du signal généré par l'interrupteur à relais statique. Pour contourner cette difficulté, le contrôle par l'écoute au casque et le repère des différentes phases du cycle respiratoire simultanément à l'inscription graphique, permettaient d'annoter celles-ci par des index repérant les débuts et fins de phases. Restait enfin à examiner le tracé à l'aide d'une loupe et compter les craquements dans chaque phase du cycle respiratoire et sur au moins cinq cycles respiratoires.

Cette phase de l'étude est destinée à la validation du procédé algorithmique de détection et d'analyse automatique actuellement en développement.

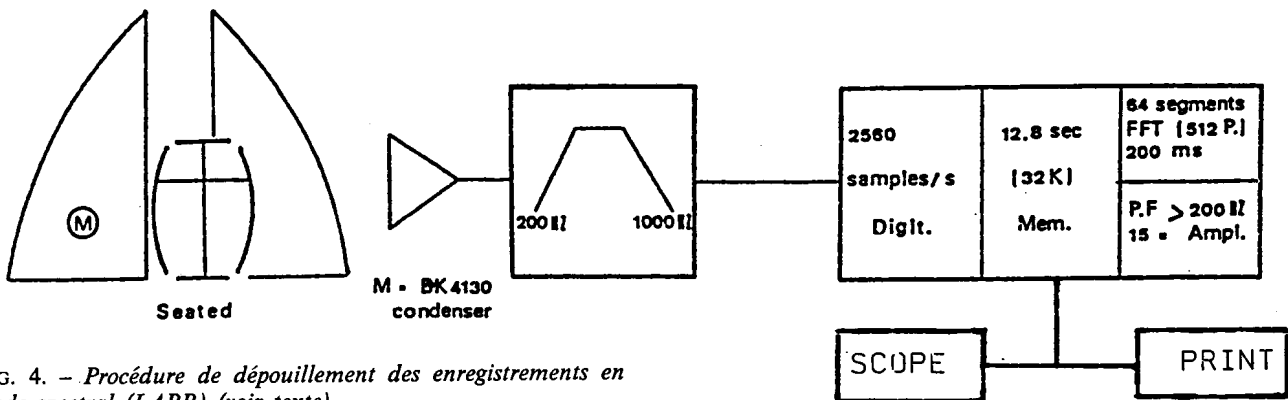


FIG. 4. - Procédure de dépouillement des enregistrements en mode spectral (LABR) (voir texte).

Algorithme de détection et d'analyse en mode spectral (fig. 4)

12,8 secondes du signal temporel sont mémorisés dans l'ordinateur dédié (PCD-2 Siemens) qu'il fait défiler par blocs de 128 points afin de délimiter les zones mémoires correspondant aux inspirations et aux expirations. Par un sous-programme en assembleur, l'ordinateur lit par blocs de 512 points le contenu de la zone mémoire sélectionné.

Sur base de la valeur moyenne du signal temporel, un compteur de craquements est incrémenté. Un autre programme calcule alors la Transformée de Fourier de chacun d'eux.

Résultats

RÉSULTATS CONCERNANT LES EFFETS DE LA MANŒUVRE ELTGOL

Le *tableau II* résume les informations recueillies sur le nombre moyen des craquements

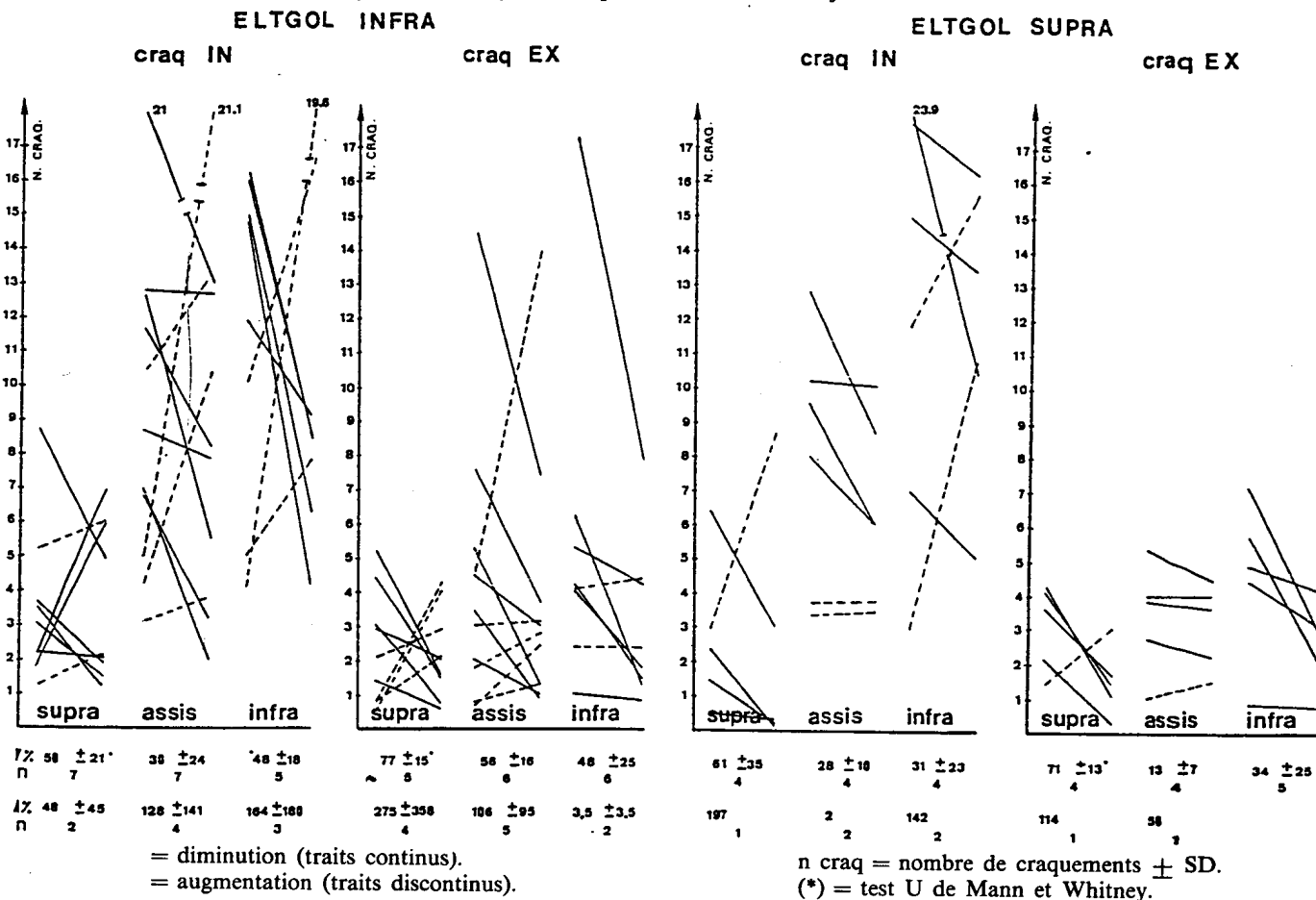
inspiratoires et expiratoires repérés avant et après l'ELTGOL réalisée en supralatéral ou en infralatéral dans trois positions de référence décrites : infralatérale, assise et supralatérale.

Au bas du *tableau II* sont exprimés séparément les pourcentages de diminution et d'augmentation du nombre de craquements pour chaque position de référence. On peut ainsi constater que l'ELTGOL entraîne après chaque application une modification du nombre de craquements, que la diminution est le plus souvent obtenue, que l'ELTGOL appliquée au niveau du poumon infralatéral entraîne proportionnellement des modifications plus importantes que la même manœuvre pratiquée au niveau du poumon supralatéral, aussi bien pour les craquements inspiratoires qu'expiratoires

Ces différences en faveur de l'ELTGOL réalisée en infralatéral vis-à-vis de la manœuvre réalisée en supralatéral sont pour :

– les *craquements inspiratoires* :

TABLEAU II. – Évolution du nombre de craquements inspiratoires et expiratoires avant et après ELTGOL exécutée en infralatéral ou en supralatéral, pour les trois positions de référence supralatérale, assise et infralatérale.



a) de 30 % vs 28 % pour la référence assise, b) de 48 % vs 31 % pour la référence infralatérale;

- les craquements expiratoires:

a) de 77 % vs 71 % pour la référence supralatérale,
 b) de 56 % vs 13 % pour la référence assise,
 c) de 48 % vs 34 % pour la référence infralatérale, avec cependant une grande dispersion des valeurs individuelles par rapport à la moyenne.

Lorsque les augmentations sont observées, celles-ci accusent des différences proportionnellement plus importantes que les diminutions:

- soit pour les craquements inspiratoires:

a) en assis 128 % vs 30 %,
 b) en infralatéral 164 % vs 48 %, - soit pour les craquements expiratoires:
 a) en supralatéral 275 % vs 77 %,
 b) en assis et pour l'EL TGOL réalisée en infralatéral 106 % vs 56 %.

Pour l'EL TGOL réalisée en supralatéral, ces différences sont pour les craquements inspiratoires : en référence supralatérale de 197 % vs 61 %, de 142 % vs 31 % en référence infralatérale et pour les craquements expiratoires: de 114 % vs 71 % en référence supralatérale et 50 % vs 13 % en référence assise. (Le traitement statistique des résultats est effectué au moyen du test U de Mann et Whitney.)

RÉSULTATS CONCERNANT LA POSITION - DÉPENDANCE DES CRAQUEMENTS (tableau III)

Le concept de position-dépendance des craquements se vérifie ainsi: la différence est toujours statistiquement significative entre le nombre de craquements inspiratoires détectés en supralatéral versus la position assise (P < .001). Elle l'est forcément entre le supralatéral et l'infralatéral (P < .001). Ceci est valable avant et après la manœuvre ELTGOL.

Au niveau des craquements expiratoires, cette différence est significative avant l'EL TGOL et il n'y a plus de différence après l'ELTGOL. Le concept de position-dépendance se vérifie toujours pour les craquements inspiratoires. Dans tous les cas, la détection d'un plus grand nombre

TABLEAU III. - Position-dépendance des craquements inspiratoires et expiratoires avant et après l'ELTGOL.

C = craquements, IN = inspiratoire, EX = expiratoire. (*) = p inf. à .05, (**) = p inf. à .02, (***) = p inf. à .001, ns = non significatif (test T de Student valeurs non pairées).

	SUPRA		ASSIS		INFRA
Avant l'EL TGOL					
C IN					
M	3,2	(***)	9	(**)	12
SD	2.2		4.7		5.6
n	(14)		(16)		(15)
			(***)		
C EX					
M	2.7	(ns)	4.08	(ns)	5.1
SD	1.4		3.3		3.9
n	(14)		(16)		(14)
			(***)		
Après l'ELTGOL					
C IN					
M	2.3	(** *)	8.5	(*)	10.8
SD	2.5		4.7		4.6
n	(14)		(16)		(14)
			(***)		
C EX					
M	1.8	(ns)	3.5	(ns)	5.8
SD	1.3		3.2		11
n	14		16		13
			(ns)		

de craquements se fait par ordre croissant de l'auscultation en supralatéral vers l'auscultation en assis et de celle-ci vers l'auscultation en infralatéral. En d'autres termes, l'auscultation en infralatéral permet de détecter le mieux les craquements. (Le traitement statistique des résultats est effectué au moyen du test T de Student pour valeurs non pairées.)

RÉSULTATS PORTANT SUR LA RECONNAISSANCE DES PROPRIÉTÉS PHYSICO-ACOUSTIQUES DES CRAQUEMENTS

Les craquements entendus comme étant de moyenne fréquence hertzienne le sont-ils réellement lors du contrôle phonopneumographique ?

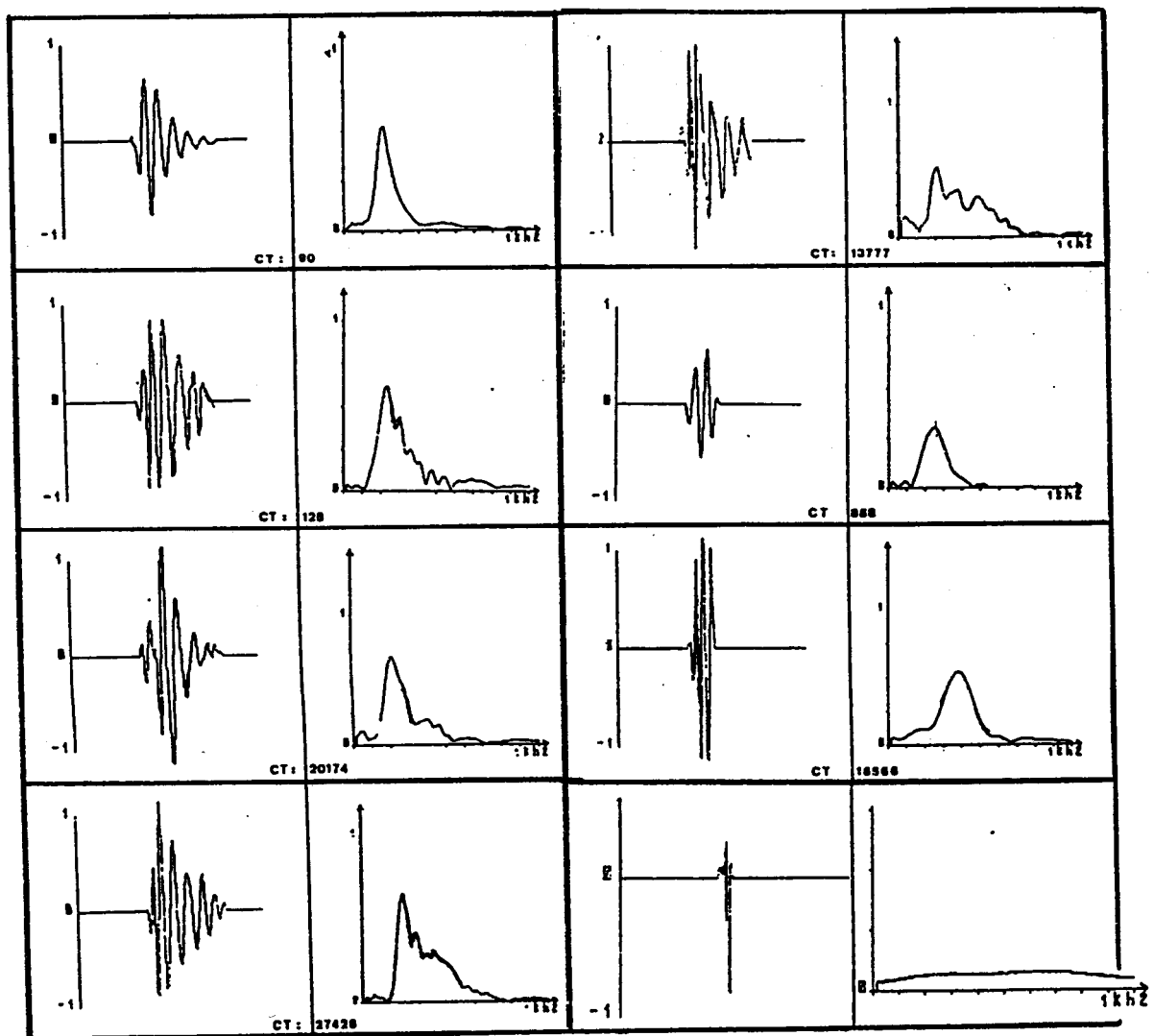


FIG. 5. - Comparaison entre l'analyse acoustique (en mode temporel et spectral) et les signaux craquements entendus au stéthoscope comme étant de moyenne fréquence hertzienne.

Pour répondre à cette question, nous avons choisi au hasard huit d'entre eux chez des patients différents et nous avons étudié leur spectre, c'est-à-dire leur contenu fréquentiel par rapport à l'amplitude relative de ces fréquences (fig. 5).

Excepté dans un cas dont le spectre présente une bande passante large, c'est-à-dire qu'il est de haute fréquence, les sept autres correspondent bien à des spectres de bande passante moyenne ou de moyenne fréquence. Notons au passage qu'il nous est arrivé de trouver un craquement de moyenne fréquence se transformant en haute fréquence après l'ELTGOL (fig. 6).

Discussion

La manœuvre ELTGOL dont nous avons explicité la dynamique (6) et les effets (5) se voit à nouveau confirmée dans sa capacité d'agir sur l'arbre bronchique distal.

Les craquements pulmonaires de bande passante moyenne dont il est question ici constituent en fait des accidents acoustiques régionaux d'où l'intérêt de leur détection et de leur suivi qui apportent une information sur la région pulmonaire immédiatement sous-jacente, conséquence des propriétés hautement directionnelles de la source des craquements (1).

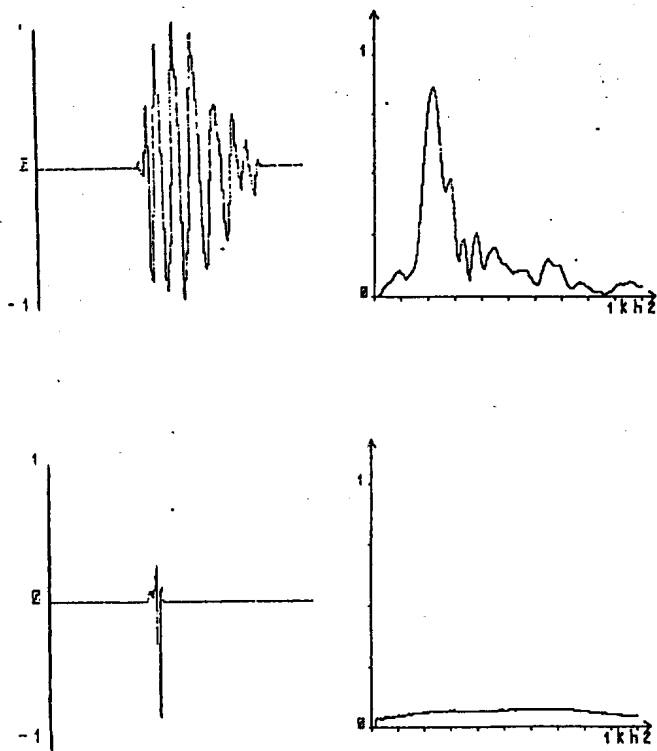


FIG. 6. - Transformation d'un spectre de craquement de moyenne en haute fréquence après ELTGOL.

L'ELTGOL est donc une manœuvre que nous appliquons chronologiquement avant les techniques d'accélération de flux aérien qui conviennent davantage aux troncs proximaux.

Parallèlement aux études isotopiques précédemment rapportées (5), les effets antigravitationnels de l'ELTGOL sont retrouvés ici aussi.

Singulièrement, nos résultats mentionnent des augmentations du nombre de craquements, moins fréquentes que les diminutions, mais proportionnellement plus importantes et survenant le plus souvent dans l'expiration. Cette différence n'infirme en rien l'action de l'ELTGOL en périphérie de l'arbre bronchique.

Selon notre expérience, sans qu'une étude statistique n'ait encore été réalisée, nous savons que l'ELTGOL peut faire apparaître des craquements dont le nombre décroît ensuite sous traitement de kinésithérapie. Ceci fera l'objet d'une étude prospective longitudinale.

L'ELTGOL s'adresse ici à un ensemble d'affections dont le caractère commun est de présenter à un moment de leur évolution le type de craquements de moyenne fréquence hertzien-

ne ayant fait l'objet de cette étude. Parmi elles, figurent quatre décours de pneumopathie à propos desquelles les effets de la kinésithérapie sont pourtant controversés (2, 3, 8, 9). Il apparaît ici qu'à un stade de leur évolution, ces malades pourraient bénéficier de ce type de traitement sans préjuger actuellement de son influence sur le délai de la guérison. A la lumière de ces résultats, nous pensons que le choix de la technique de kinésithérapie devrait se baser davantage sur le caractère propre de l'auscultation et la qualité du signal entendu, plutôt que sur l'étiquette diagnostique proprement dite, le signal entendu jouant le rôle de paramètre révélateur du type d'atteinte locale dans l'arbre bronchique; un même type d'atteinte peut se retrouver dans des maladies pulmonaires différentes.

Il existe une relation significative entre le nombre de craquements détectés et la position du corps, surtout en ce qui concerne les craquements inspiratoires.

C'est en position infralatérale que le nombre de craquements détectés augmente par rapport aux autres positions du corps. Ce paramètre s'avère cliniquement intéressant lorsqu'il s'agit de traiter et de suivre les effets progressifs d'une toilette bronchique localisée. Nous avons, en effet, pu constater en cas d'encombrement important où les craquements sont entendus dans les trois positions du corps pour la région malade considérée, qu'ils disparaissent d'abord en supralatéral, puis en assis, pour ne subsister qu'en infralatéral avant de disparaître (7). L'auscultation en infralatéral s'avère donc plus démonstrative et plus riche d'informations pour le kinésithérapeute; son intérêt diagnostique avait déjà été montré par Lens (4).

Nous avons montré ici l'intérêt du comptage des craquements pulmonaires et la nécessité de l'écoute attentive au stéthoscope à l'aide duquel le nombre de craquements peut être déterminé de manière approximative. Cependant, si l'on veut mener des études statistiques ou faciliter le suivi objectif, nous pensons qu'il serait utile de développer un outil capable de déterminer ce nombre avec précision.

L'oreille humaine est capable de reconnaître les caractéristiques spectrales des craquements avec un bon degré de précision, ce qui n'est pas

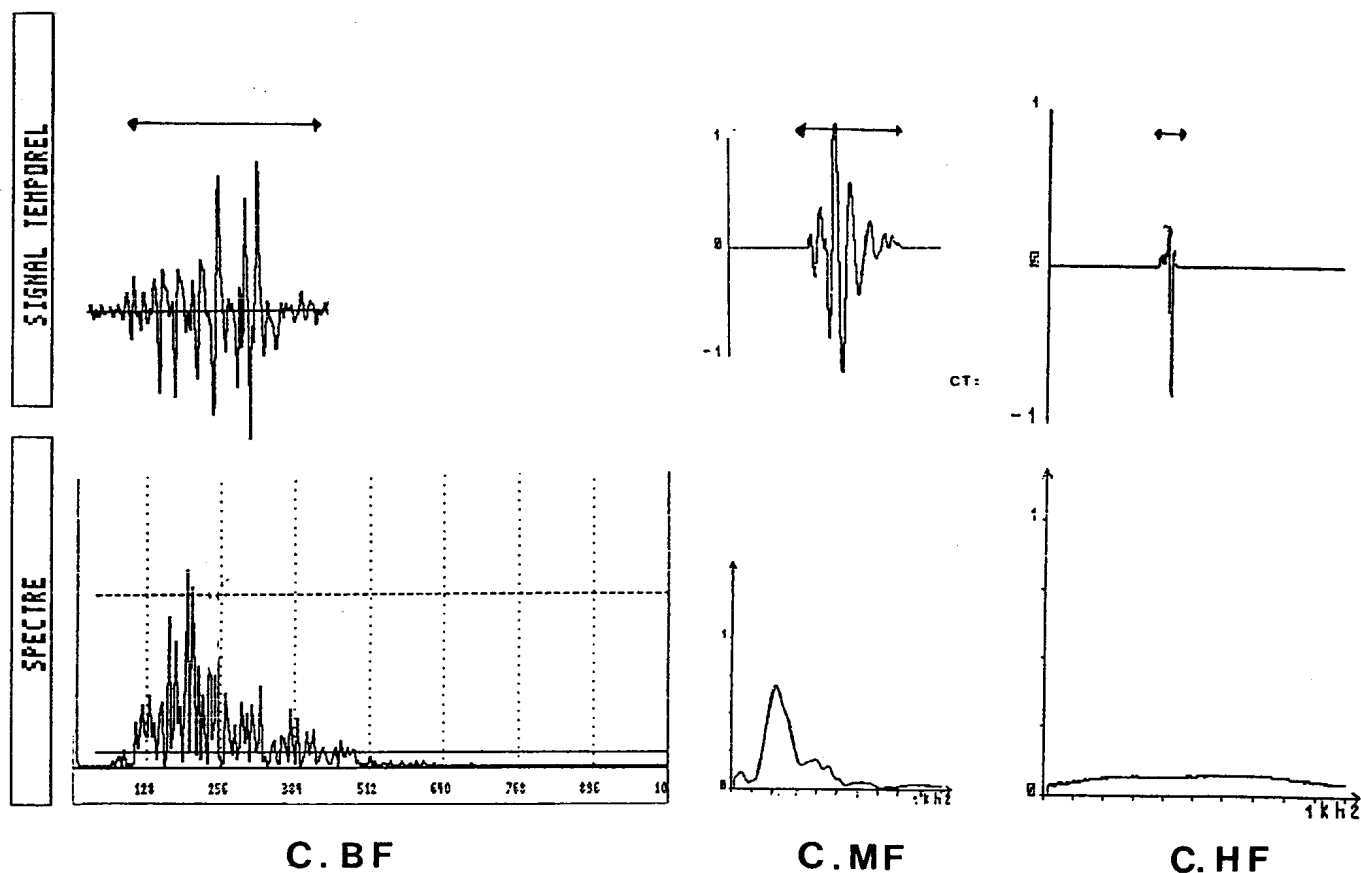


FIG. 7. - Comparaison entre les spectres de craquements de basse, moyenne et haute fréquence. En ordonnée : l'amplitude. En abscisse : la fréquence hertzienne.

sans intérêt en kinésithérapie puisque nous avons montré (7) que la fréquence hertzienne des craquements était en relation avec l'étage de l'arbre bronchique où ils sont générés. Par exemple, sur les mêmes échelles, nous reproduisons ici (fig. 7) trois craquements dont l'origine physiopathologique est différente, ce qui selon nous a des implications sur la technique de kinésithérapie à mettre en œuvre. Les considérations qui précèdent supposent évidemment que le kinésithérapeute est formé à l'auscultation pulmonaire.

Conclusion

Cette étude montre l'intérêt de l'auscultation pulmonaire en kinésithérapie de toilette bronchique et le caractère indispensable de son enseignement.

Elle attire l'attention sur l'utilité d'un outil de contrôle automatique et en direct, capable

de fournir une référence objective d'un travail loco-régional de toilette bronchique.

Bibliographie

1. BENEDETTO G., DALMASSO F., SPAGNOLO R. - Surface distribution of crackling sounds. *I.E.E.E.*, 35, 406-412.
2. GRAHAM W., BRADLEY B. - Efficacy of chest physiotherapy and intermittent positive-pressure breathing in the resolution of pneumonia. *N. Engl. J. Med.*, 1978, 229, 624-627.
3. HOLODY B., GOLDBERG H. - The effect of mechanical vibration physiotherapy on arterial oxygenation in acutely III patients with atelectasis or pneumonia. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 1981, 124, 372-375.
4. LENS E., POSTIAUX G., CHAPPELLE P. - L'auscultation en décubitus latéral des craquements inspiratoires téléphasiques. *Louvain Méd.*, 1985, 104, 85-94.
5. POSTIAUX G. - Possibility of a preferential mucociliary clearance of the infralateral lung, with the total slow expiration glottis opened (ELTGO), carried out in lateral decubitus in order to clean the bronchial tree. *IV^e Journées Européennes de kinésithérapie respiratoire et cardiovasculaire, Stresa (Italie)*, 16-18 octobre 1986.
6. POSTIAUX G., LENS E., ALSTEENS G. - L'expiration Lente Totale Glotte Ouverte (ELTGOL) en décubitus latéral :

- nouvelle manœuvre pour la toilette bronchique objectivée par vidéobronchographie. *Ann. kinésithér.*, 1987, 14. 341-350.
7. 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.
8. REMOLINA C., KHAN A., SANTIAGO T., EDELMAN N. - Positional hypoxemia in unilaterallung disease. *N. Engl. J. Med.*, 1981, 304, 523-525.
9. ZACK M., PONTOPPIDAN H., KAZEMI H. - The effect of lateral positions on gas exchange in pulmonary disease. *Am. Rev. Resp. Dis.*, 1974, 110, 49-55.